



Unione di Comuni Valdarno Valdisieve
Comuni di Pontassieve Londa Pelago Rufina e San Godenzo



Piano Strutturale Intercomunale

Sindaco del Comune di Pontassieve: **Monica Marini**
Sindaco del Comune di Londa: **Tommaso Cuoretti**
Sindaco del Comune di Pelago: **Nicola Povoleri**
Sindaco del Comune di Rufina: **Vito Maida**
Sindaco del Comune di San Godenzo: **Emanuele Piani**

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
E COORDINATORE UFFICIO DI PIANO: **Fabio Carli**

GARANTE INFORMAZIONE
E PARTECIPAZIONE: **Maddalena Rossi**

UFFICIO UNICO DI PIANO:

Sonia Carletti (Collaborazione al coordinamento dell'attività di pianificazione)
Francesca Procacci (Aspetti ambientali ed idrogeologici)
Giorgio Volpi (Progettazione db geografico del piano - elaborazioni GIS)
Elisa Iannotta (Analisi urbanistiche e territoriali - elaborazioni GIS)
Caterina Fusi (Editing ed elaborati grafici di sintesi - aspetti paesaggistici)
Martina Angeletti (Firenze Smart, aspetti urbanistici e paesaggistici - elaborazioni GIS)
Paolo Biagiotti (Firenze Smart, SIT)

TECNICI REFERENTI COMUNI ASSOCIATI:

Silvia Rogai (Comune di Pontassieve)
Franco Pretolani (Comuni di Londa e San Godenzo)
Alessandro Pratesi (Comune di Pelago)
Pilade Pinzani (Comune di Rufina)

CONSULENTI ESTERNI:

Aspetti geologici: **Geo Eco Progetti**
Aspetti idraulici: **Hydrogeo Ingegneria Srl**
Aspetti agroforestali: **Ilaria Scatarzi**
Aspetti faunistici: **Carlo Scoccianti**
Revisione vincoli paesaggistici: **Francesca Furter**
Aspetti socio economici: **PIN Srl**
Processo partecipativo: **Maddalena Rossi**
Valutazione Ambientale Strategica: **Ambiente Spa**
Pubblicazione SIT: **Firenze Smart**

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
(Dott. Fabio Carli)

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA

ADOZIONE

APPROVAZIONE

IDR_GEN_00



RELAZIONE GENERALE

INDICE

1.	Premessa	5
2.	Area D'indagine e Quadro Conoscitivo	8
2.1	Reticolo idrografico e di gestione L.R. 79/2012	8
2.2	Corsi D'acqua Oggetto Di Studio.....	10
2.3	Dati del quadro conoscitivo	14
3.	Approccio Metodologico.....	15
4.	Implementazione del Modello Idrologico	17
4.1	Codifica dei bacini.....	19
4.2	Parametri idrologici	20
4.3	Eventi meteorici e Risultati della modellistica idrologica	22
5.	Implementazione Modello Idraulico	32
5.1	Condizioni Al Contorno	34
5.2	Modello Idrologico Idraulico 01 - Arno	34
5.2.1	Caratterizzazione Dei Corsi D'acqua E Delle Aree Di Interesse	35
5.2.2	Condizioni Al Contorno E Parametri Del Modello Idraulico.....	35
5.2.3	Verifiche Idrauliche Implementate	38
5.2.4	Risultati	38
5.3	Modello Idrologico Idraulico 02 - Sieci	40
5.3.1	Caratterizzazione Dei Corsi D'acqua E Delle Aree Di Interesse	40
5.3.2	Condizioni Al Contorno E Parametri Del Modello Idraulico.....	40
5.3.3	Verifiche Idrauliche implementate	42
5.3.4	Risultati	42
5.4	Modello Idrologico Idraulico 03 – Santa Brigida	43
5.4.1	Caratterizzazione Dei Corsi D'acqua E Delle Aree Di Interesse	43
5.4.2	Condizioni Al Contorno E Parametri Del Modello Idraulico.....	44
5.4.3	Verifiche Idrauliche implementate	44
5.4.4	Risultati	45
5.5	Modello Idrologico Idraulico 04 – Massolina Carbonile	45
5.5.1	Caratterizzazione Dei Corsi D'acqua E Delle Aree Di Interesse	45
5.5.2	Condizioni Al Contorno E Parametri Del Modello Idraulico.....	46

5.5.3	Verifiche Idrauliche implementate	47
5.5.4	Risultati.....	47
5.6	Modello Idrologico Idraulico 05 - Stentatoio	48
5.6.1	Caratterizzazione Dei Corsi D'acqua E Delle Aree Di Interesse	49
5.6.2	Condizioni Al Contorno E Parametri Del Modello Idraulico.....	49
5.6.3	Verifiche Idrauliche Implementate.....	50
5.6.4	Risultati.....	50
5.7	Modello Idrologico Idraulico 06 – Rufina Montebonello	51
5.7.1	Caratterizzazione Dei Corsi D'acqua E Delle Aree Di Interesse	51
5.7.2	Condizioni al contorno e parametri del modello idraulico.....	52
5.7.3	Verifiche Idrauliche Implementate.....	53
5.7.4	Risultati.....	53
5.8	Modello Idrologico Idraulico 07 – Scopeti	55
5.8.1	Caratterizzazione Dei Corsi D'acqua E Delle Aree Di Interesse	55
5.8.2	Condizioni Al Contorno E Parametri Del Modello Idraulico.....	55
5.8.3	Verifiche Idrauliche Implementate.....	57
5.8.4	Risultati.....	57
5.9	Modello Idrologico Idraulico 08 – Casini	58
5.9.1	Caratterizzazione Dei Corsi D'acqua E Delle Aree Di Interesse	58
5.9.2	Condizioni Al Contorno E Parametri Del Modello Idraulico.....	59
5.9.3	Verifiche Idrauliche implementate	60
5.9.4	Risultati.....	60
5.10	Modello Idrologico Idraulico 09 - Contea	60
5.10.1	Caratterizzazione Dei Corsi D'acqua E Delle Aree Di Interesse.....	61
5.10.2	Condizioni al contorno e parametri del modello idraulico.....	61
5.10.3	Verifiche Idrauliche implementate.....	62
5.10.4	Risultati.....	62
5.11	Modello Idrologico Idraulico 10 - Moscia.....	63
5.11.1	Caratterizzazione Dei Corsi D'acqua E Delle Aree Di Interesse.....	63
5.11.2	Condizioni al contorno e parametri del modello idraulico.....	64
5.11.3	Verifiche Idrauliche Implementate	66
5.11.4	Risultati.....	66
5.12	modello idrologico idraulico 11 - rimaggio	67
5.12.1	Caratterizzazione dei corsi d'acqua e delle aree di interesse.....	68
5.12.2	Condizioni al contorno e parametri del modello idraulico.....	68
5.12.3	Verifiche Idrauliche implementate.....	69

5.12.4	Risultati.....	69
5.13	Modello Idrologico Idraulico 12 - Pomino	69
5.13.1	Caratterizzazione Dei Corsi D’acqua E Delle Aree Di Interesse	69
5.13.2	Condizioni al contorno e parametri del modello idraulico.....	70
5.13.3	Verifiche Idrauliche implementate	71
5.13.4	Risultati.....	71
5.14	Modello Idrologico Idraulico 13 – San Bavello	71
5.14.1	Caratterizzazione Dei Corsi D’acqua E Delle Aree Di Interesse	71
5.14.2	Condizioni al contorno e parametri del modello idraulico.....	72
5.14.3	Verifiche Idrauliche implementate	73
5.14.4	Risultati.....	73
5.15	Modello Idrologico Idraulico 14 – Castagno.....	74
5.15.1	Caratterizzazione dei corsi d’acqua e delle aree di interesse	74
5.15.2	Condizioni al contorno e parametri del modello idraulico.....	75
5.15.3	Verifiche Idrauliche implementate	76
5.15.4	Risultati.....	76
5.16	Modello Idrologico Idraulico 15 – Colatori Pontassieve	77
5.16.1	Caratterizzazione dei corsi d’acqua e delle aree di interesse	77
5.16.2	Condizioni al contorno e parametri del modello idraulico.....	78
5.16.3	Verifiche Idrauliche implementate	79
5.16.4	Risultati.....	80
6.	Determinazione Delle Aree A Pericolosità Idraulica Analitica.....	82
7.	DETERMINAZIONE DELLA MAGNITUDO IDRAULICA AI SENSI DELLA L.R. 41/2018.....	84
	Appendice A: Modellistica idrologico-idraulica	85
A.1	Modellistica idrologica	85
A.1.1	Regime pluviometrico – Studio Regionale LSPP	85
A.1.2	Calcolo della pioggia di progetto su un bacino idrografico.....	86
A.1.3	Calcolo degli idrogrammi di progetto	86
A.2	Modellistica idraulica HEC-RAS	90
A.2.1	Modellistica Idraulica Monodimensionale.....	90
A.2.2	Modellistica Idraulica Bidimensionale.....	91

Indice delle figure

Figura 2.1 – Comuni oggetto di indagine e corsi d’acqua afferenti classificati ai sensi della Disciplina di Piano del PGR.....	9
Figura 2.2 - Reticolo oggetto di richiesta di derubricazione Comune di Pontassieve	10
Figura 2.3 – Reticolo oggetto di richiesta di derubricazione Comuni di Pontassieve, Rufina, Pelago	11
Figura 2.4 - Reticolo oggetto di richiesta di modifica tracciato/derubricazione Comune di San Godenzo	11
Figura 2.5 Corsi d’acqua oggetto di studio classificati in reticolo principale e secondario ai sensi della Disciplina di Piano del PGR dell’Autorità di bacino distrettuale dell’Appennino Settentrionale	12
Figura 4.1 Schema logico della modellistica idrologica	18
Figura 5.1 Scala di deflusso alla sezione 653A del Fiume Arno	37
Figura 5.2 – Curva d’invaso del Lago di Londa.....	64

Indice delle tabelle

Tabella 2.1 Elenco dei corsi d’acqua oggetto di studio	13
Tabella 4.1 Codifiche dei bacini studiati idrologicamente.....	19
Tabella 4.2 Tabella di riepilogo dei parametri idrologici	22
Tabella 4.3: Altezze di pioggia (mm), portate massime (m ³ /s) e volumi di piena (1000 m ³) per eventi con tempo di ritorno TR 30 anni e TR 200 anni.....	31
Tabella 5.1 Caratterizzazione geometrica dei corsi d’acqua oggetto di studio	34
Tabella 5.2 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M01-Arno.....	36
Tabella 5.3 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M01-Arno	37
Tabella 5.4 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M02-Sieci	41
Tabella 5.5 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M02-Sieci	41
Tabella 5.6 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M03-Santa Brigida.....	44
Tabella 5.7 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M03-Santa Brigida... ..	44
Tabella 5.8 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M04-Massolina carbonile.....	46
Tabella 5.9 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M04-Massolina Carbonile	46
Tabella 5.10 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M05-Stentatoio	49
Tabella 5.11 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M05-Stentatoio	50
Tabella 5.12 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M06-Rufina Montebonello	52

Tabella 5.13 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M06-Rufina Montebonello	53
Tabella 5.14 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M07-Scopeti	56
Tabella 5.15 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M07-Scopeti	56
Tabella 5.16 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M08-Casini	59
Tabella 5.17 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M09-Contea	59
Tabella 5.18 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M09-Contea	61
Tabella 5.19 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M09-Scopeti	62
Tabella 5.20 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M10-Moscia	65
Tabella 5.21 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M10-Moscia	65
Tabella 5.22 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M11-Rimaggio	68
Tabella 5.23 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M11-Rimaggio	68
Tabella 5.24 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M12-Pomino	70
Tabella 5.25 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M12-Pomino	70
Tabella 5.26 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M13-San Bavello	72
Tabella 5.27 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M13-San Bavello	72
Tabella 5.28 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M14-Castagno	75
Tabella 5.29 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M14-Castagno	75
Tabella 5.30 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M15-Colatori Pontassieve	78
Tabella 5.31 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M15-Colatori Pontassieve	79

1. Premessa

Il presente lavoro costituisce lo studio idrologico idraulico di supporto al Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Pelago, Pontassieve, Rufina, Londa e San Godenzo, facenti parte dell'Unione di Comuni Valdarno e Valdisieve (FI), ed è finalizzato alla verifica e all'aggiornamento delle mappe di pericolosità idraulica sul territorio dei cinque Comuni Associati.

All'interno dell'ambito di indagine, determinato dai limiti dei suddetti comuni, sono stati individuati i corsi d'acqua che concorrono a determinare il livello di pericolosità idraulica dei territori oggetto di studio. Tali corsi d'acqua sono classificati in reticolo principale e secondario del bacino dell'Arno ai sensi della Disciplina di Piano del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni redatto ai sensi della Direttiva Europea 2007/60/CE e del D.L. 49/2010. Il Fiume Arno e il Fiume Sieve sono identificati come reticolo principale come stabilito nell'Allegato 4 della Disciplina di Piano, il restante reticolo oggetto del presente studio è classificato come reticolo secondario.

Il reticolo principale è di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, il secondario è di competenza del Genio Civile.

Mediante una serie di colloqui e incontri intercorsi con i tecnici dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, sono state condivise le decisioni in merito a quanto necessario per l'implementazione degli studi sul reticolo principale, di seguito riportate.

Per quanto riguarda il fiume Sieve, l'Autorità di Bacino Distretto Appennino Settentrionale, (di seguito AdB) ha fornito i dati idrologici del bacino (area, parametri idrologici e idrogrammi per ogni sottobacino per le combinazioni $Tr=[30 ; 200]$ e durate= $[9h ; 12h]$) da utilizzare per la costruzione di un modello idraulico del fiume Sieve (strutturato a partire dalla geometria del modello sviluppato per la progettazione delle casse d'espansione di Rufina e della variante alla SS 67) al solo fine di determinare le condizioni al contorno sul reticolo minore e ottenere i livelli per le condizioni al contorno di valle degli affluenti studiati. Sul reticolo principale dovranno essere recepite le attuali perimetrazioni contenute nel PGRA, mentre saranno aggiornate le perimetrazioni sul reticolo minore.

Per quanto riguarda gli studi sul fiume Arno e nel tratto terminale del fiume Sieve (Comuni di Pelago e Pontassieve), tratto da monte del Comune di Pelago fino a valle della località Le Sieci, lo studio potrà prevedere l'implementazione di un modello bidimensionale a partire dai modelli già sviluppati per la redazione del PGRA e sarà finalizzato, prioritariamente, a determinare i battenti, le velocità e la magnitudo per i territori nel tratto di interesse (in particolare negli abitati di Pontassieve, San Francesco e Le Sieci) ed eventualmente a modificare le perimetrazioni delle aree a pericolosità da alluvione del PGRA, qualora emergessero significative differenze con le attuali mappe.

A valle di ulteriori colloqui durante i quali sono state illustrate le risultanze degli studi idraulici così implementati, è stato deciso di non utilizzare la modellistica 2D sviluppata su Arno e Sieve ai fini della modifica del PGRA vigente sui due reticoli principali, che viene mantenuta integralmente, ma limitarsi all'aggiornamento dei battenti idraulici sui limiti di tali perimetri. Le modifiche delle perimetrazioni del PGRA riguarderanno pertanto soltanto il reticolo secondario.

Tutto ciò premesso, per la redazione del presente studio si è fatto riferimento 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.

Ai fini dell'indagine, sono stati considerati gli elementi idrologico-idraulici necessari a caratterizzare la probabilità di esondazione dei corsi d'acqua in riferimento al reticolo di interesse, definendo le pericolosità da alluvione 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, 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.

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, rivedendo gli input idrologici e modellando i corsi d'acqua costituenti la rete idraulica superficiale nello scenario caratterizzante lo stato attuale del territorio, che ricomprenda sia il reticolo principale che il reticolo secondario.

Il lavoro 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.

2. Area D'indagine e Quadro Conoscitivo

2.1 Reticolo idrografico e di gestione L.R. 79/2012

In *PS_QC_C01_Inquadramento reticolo di Studio* è evidenziato il reticolo idrografico e di gestione individuato dalla Regione Toscana ai sensi della L.R.79/2012, aggiornato con Delibera di Consiglio 28/2020, sui territori comunali. Su tale reticolo si applicano le disposizioni della normativa idraulica vigente, ed in particolare i disposti di cui al R.D. 523/04, Regolamento di Attuazione 5R/2020, L.R. 41/2018.

Come anticipato in premessa, l'area di indagine si estende all'interno dei territori comunali dei Comuni di Pelago, Pontassieve, Rufina, Londa e San Godenzo, facenti parte dell'Unione di Comuni Valdarno e Valdisieve. Tale area si sviluppa tra il versante toscano della dorsale appenninica tosco-emiliana a nord, in corrispondenza del Comune di San Godenzo, e i limiti dei comuni di Pontassieve e Pelago sulla sponda destra dell'Arno a sud. La zona è delimitata a Sud-Est dal Casentino e a Nord-ovest dal Mugello.

Il territorio della Valdisieve è costituito da un paesaggio medio collinare di transizione alla zona montana al cui interno si possono distinguere paesaggi molto variabili: i Comuni di Rufina, Pontassieve e parzialmente Pelago occupano la valle principale, lungo il corso del Fiume Sieve; i Comuni di Londa e Pelago sono caratterizzati da versanti montuosi che risalgono verso il Falterona e la Consuma; il Comune di san Godenzo, infine, occupa la zona montana vera e propria.

L'ambito di indagine, che copre una superficie di 373 kmq con circa 39.000 abitanti e una densità di 103,5 abitanti per chilometro quadrato, è ricompreso interamente all'interno del bacino del Fiume Arno, in particolare si divide tra la parte sud-orientale del bacino della Sieve e il Valdarno Superiore.

L'area è caratterizzata, come già anticipato, dalla presenza di due fiumi classificati come reticolo principale, il Fiume Arno e il Fiume Sieve, e da reticoli classificati come secondari ai sensi della Disciplina di Piano del PGR.

In Figura 2.1 sono rappresentati i Comuni oggetto di indagine e i corsi d'acqua afferenti classificati in reticolo principale e secondario ai sensi della Disciplina di Piano del PGR dell'Autorità di Bacino.

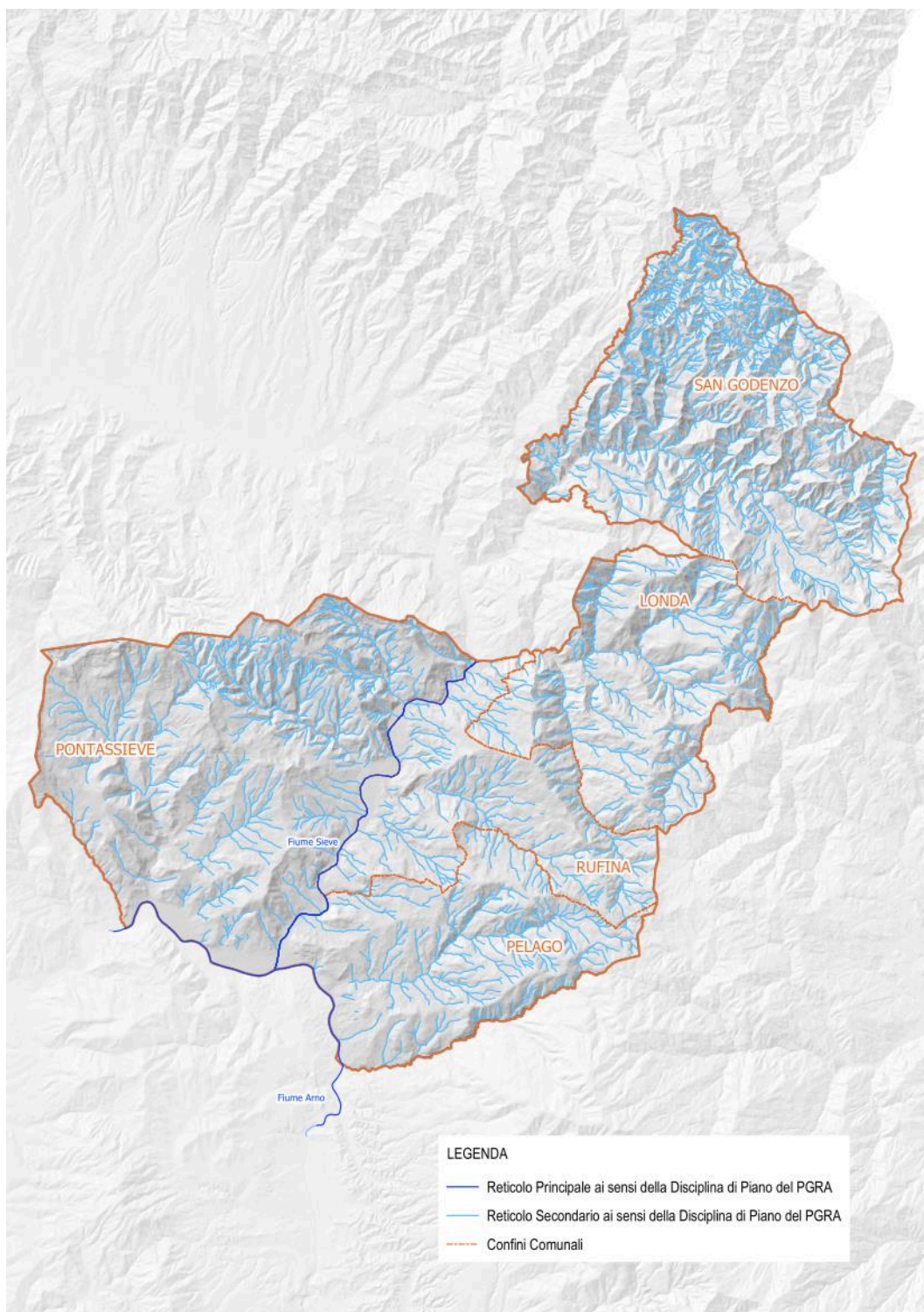


Figura 2.1 – Comuni oggetto di indagine e corsi d'acqua afferenti classificati ai sensi della Disciplina di Piano del PGRA.

2.2 Corsi D'acqua Oggetto Di Studio

L'ambito d'indagine comprende i principali corsi d'acqua che concorrono a definire il livello di pericolosità del territorio oggetto di studio.

A partire dal reticolo idrografico individuato dalla Regione Toscana ai sensi della L.R.79/2012 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 è stato scelto di analizzare le aste fluviali che interessano il territorio urbanizzato ai sensi della L.R.T. n.65/2014.

Tra i suddetti reticoli sono state individuate delle aste per le quali è stato avviato un procedimento di richiesta di derubricazione da parte dei Comuni interessati, per cui sono state momentaneamente escluse dall'analisi idrologico-idraulica in attesa di risposta da parte dell'Autorità competente.

I reticoli oggetto di tale richiesta di derubricazione sono elencati di seguito e riportati nelle seguenti figure.

- AREA 1 – Zona industriale Molino Del Piano, Pontassieve
In sinistra idraulica del Torrente Sieci
- AREA 2 – Località Mezzana, Pontassieve
In destra idraulica del Fiume Arno

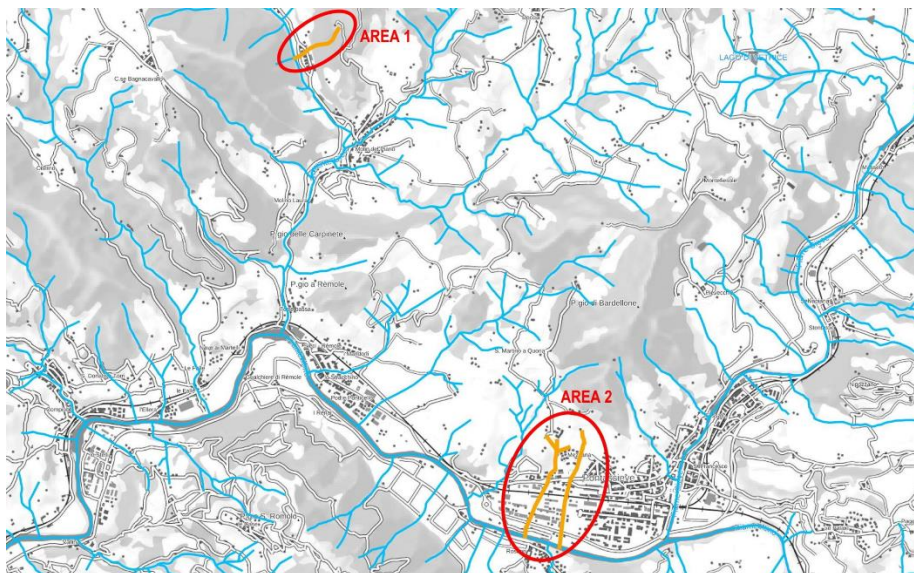


Figura 2.2 - Reticolo oggetto di richiesta di derubricazione Comune di Pontassieve

- AREA 1 - Pontassieve
In destra idraulica del Fiume Sieve davanti all'abitato di Contea
- AREA 1 – Rufina
In sinistra idraulica del Fiume Sieve nell'abitato di Scopeti
- AREA 2 – Rufina
In sinistra idraulica del Fiume Sieve nell'abitato di Rufina
- AREA 1 – Pelago
In destra idraulica del Torrente Vicano di Pelago ad ovest dell'abitato di Pelago
- AREA 2 – Pelago
In destra idraulica del Torrente Vicano di Sant'Ellero nell'abitato di Raggioli

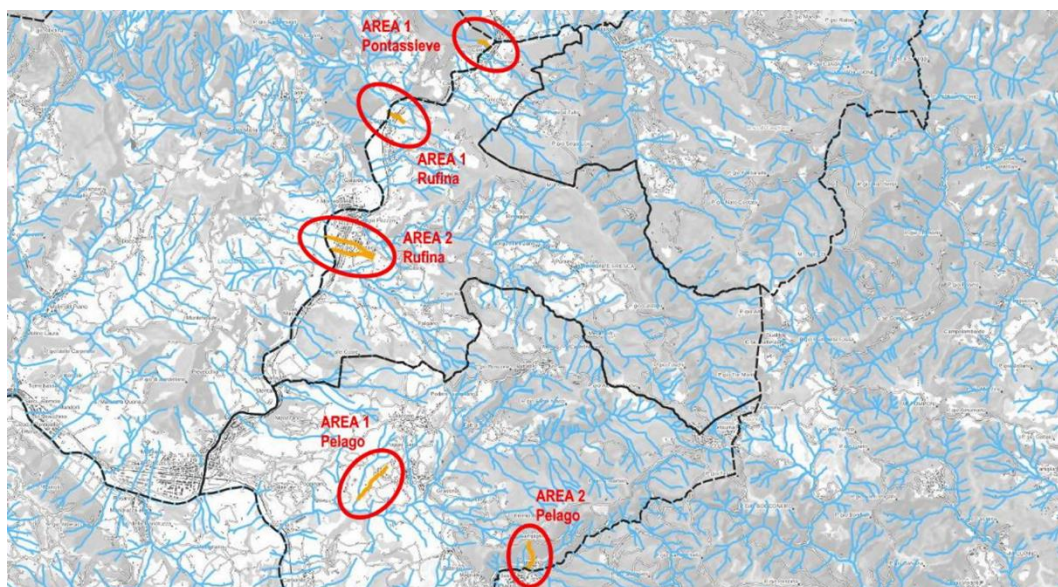


Figura 2.3 – Reticolo oggetto di richiesta di derubricazione Comuni di Pontassieve, Rufina, Pelago

- Comune di San Godenzo, località Castagno D'Andrea
Affluente in sinistra del Fosso dell'Acquatorta, quattro affluenti del Fosso del Falterona

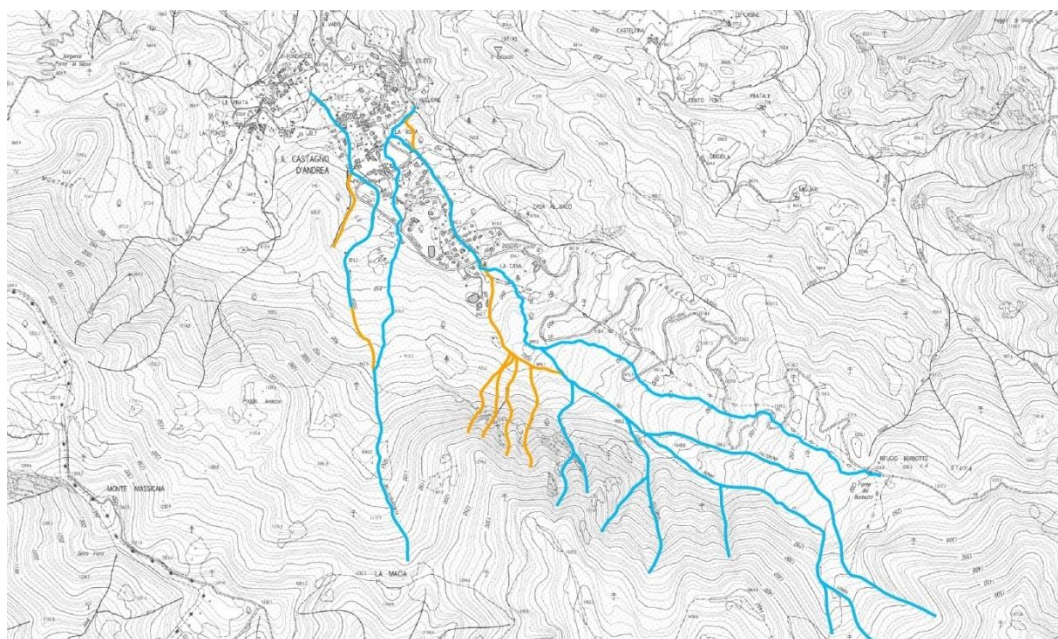


Figura 2.4 - Reticolo oggetto di richiesta di modifica tracciato/derubricazione Comune di San Godenzo

Alla luce delle considerazioni di cui sopra i corsi d'acqua oggetto di studio sono identificati in Figura 2.5, classificati in reticolo principale e secondario ai sensi della Disciplina di Piano del PGR.

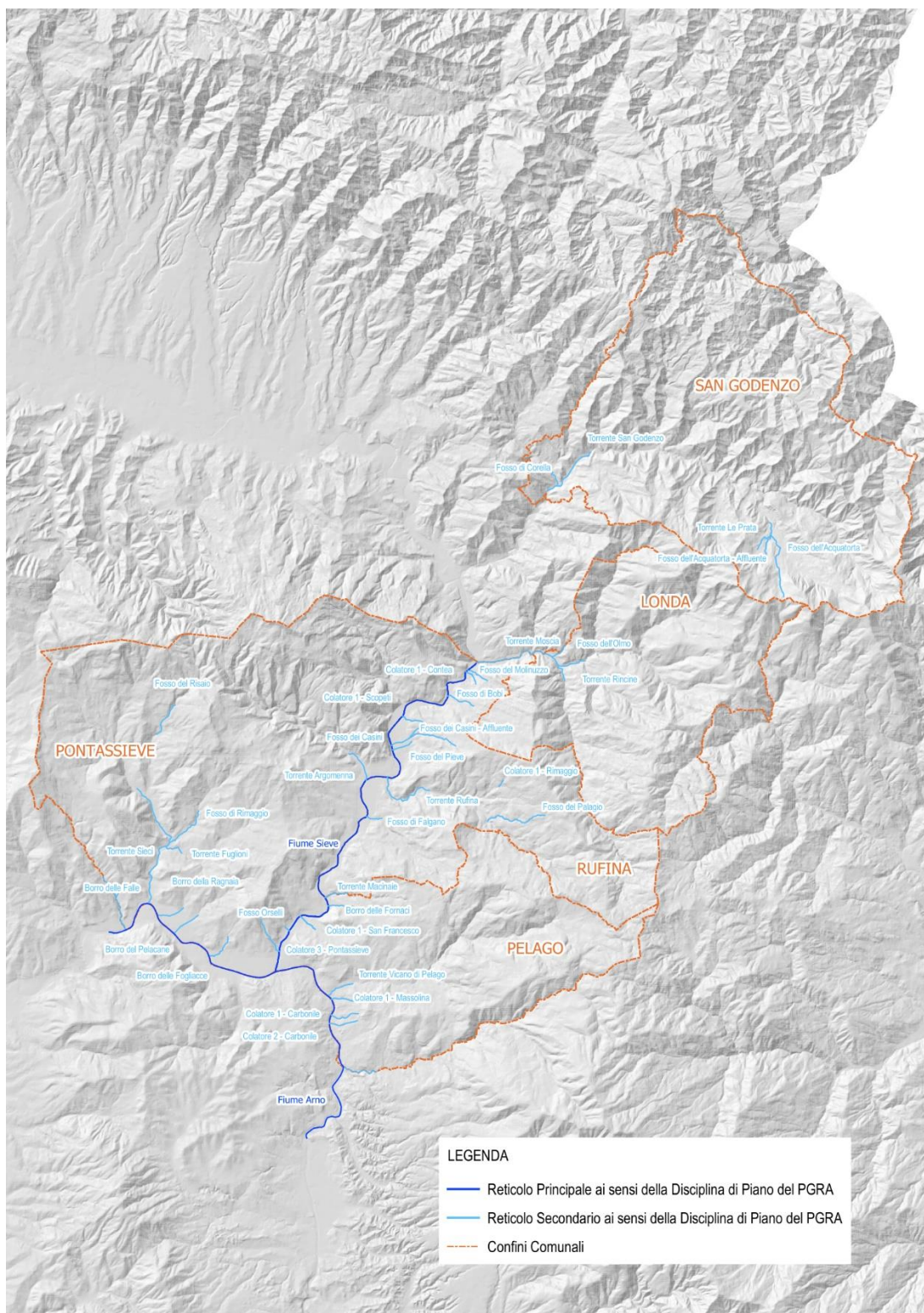


Figura 2.5 Corsi d'acqua oggetto di studio classificati in reticolo principale e secondario ai sensi della Disciplina di Piano del PGRA dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale

Nella Tabella 2.1 sono riportati, per ogni corso d'acqua studiato, la lunghezza del tratto oggetto di analisi e i Comuni interessati da tale tratto.

Gli areali indagati sono quelli riportati in *IDR_GEN_01_Inquadramento Generale*, in cui sono evidenziate le aree di studio ed il reticolo analizzato.

Corso d'acqua	Lunghezza tratto di studio [m]	Comuni afferenti
Fiume Arno	15035	Parte nel Comune di Pelago, parte nel Comune di Pontassieve
Colatore 2 - Carbonile	917	Interamente nel Comune di Pelago
Colatore 1 - Carbonile	946	Interamente nel Comune di Pelago
Colatore 1 - Massolina	436	Interamente nel Comune di Pelago
Torrente Vicano di Pelago	886	Interamente nel Comune di Pelago
Fiume Sieve	3073	Parte nel Comune di Pelago, parte nel Comune di Pontassieve
Borro delle Fornaci	143	Interamente nel Comune di Pelago
Colatore 1 - San Francesco	690	Interamente nel Comune di Pelago
Fosso Orselli	146	Interamente nel Comune di Pontassieve
Colatore 3 - Pontassieve	401	Interamente nel Comune di Pontassieve
Borro delle Fogliacce	991	Interamente nel Comune di Pontassieve
Borro del Pelacane	1047	Interamente nel Comune di Pontassieve
Borro della Ragnaia	984	Interamente nel Comune di Pontassieve
Torrente Sieci	4473	Interamente nel Comune di Pontassieve
Torrente Fuglioni	729	Interamente nel Comune di Pontassieve
Fosso di Rimaggio	1290	Interamente nel Comune di Pontassieve
Borro delle Falle	1306	Interamente nel Comune di Pontassieve
Fosso del Risaio	292	Interamente nel Comune di Pontassieve
Torrente Argomena	1046	Interamente nel Comune di Pontassieve
Torrente Macinaie	387	Parte nel Comune di Pontassieve, parte nel Comune di Rufina
Fosso di Falgano	488	Interamente nel Comune di Rufina
Colatore 1 - Rimaggio	205	Interamente nel Comune di Rufina
Fosso del Palagio	356	Interamente nel Comune di Rufina
Torrente Rufina	2373	Interamente nel Comune di Rufina
Fosso del Pieve	730	Interamente nel Comune di Rufina
Fosso dei Casini	720	Interamente nel Comune di Rufina
Fosso dei Casini - Affluente	51	Interamente nel Comune di Rufina
Colatore 1 - Scopeti	401	Interamente nel Comune di Rufina
Fosso di Bobi	186	Interamente nel Comune di Rufina
Colatore 1 - Contea	264	Interamente nel Comune di Rufina
Fosso del Molinuzzo	371	Interamente nel Comune di Rufina
Torrente Moscia	3766	Parte nel Comune di Rufina, parte nel Comune di Londa
Fosso dell'Olmo	167	Interamente nel Comune di Londa
Torrente Rincine	990	Interamente nel Comune di Londa
Fosso dell'Acquatorta - Affluente	257	Interamente nel Comune di San Godenzo
Fosso dell'Acquatorta	748	Interamente nel Comune di San Godenzo
Torrente Le Prata	434	Interamente nel Comune di San Godenzo
Torrente San Godenzo	1879	Interamente nel Comune di San Godenzo
Fosso di Corella	153	Interamente nel Comune di San Godenzo

Tabella 2.1 Elenco dei corsi d'acqua oggetto di studio

2.3 Dati del quadro conoscitivo

Oltre ai dati necessari alla caratterizzazione geometrica dei corsi d'acqua, 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. In particolare, sono stati utilizzati i seguenti dati:

- Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10000 e 1:2000 ove presente. Fonte: Regione Toscana - Carta Tecnica Regionale;
- LIDAR 1x1m del Ministero dell'Ambiente, Fonte dei dati: Regione Toscana – Morfologia - Lidar;
- Shapefile del Reticolo Idrografico, approvato da Regione Toscana con Legge Regionale 27 dicembre 2012, n. 79 - Aggiornamento 28/2020; Fonte dei dati: 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;
- Dati planoaltimetrici della rete fognaria e acquedottistica dei Comuni di Pontassieve, Pelago, Rufina, Londa, San Godenzo forniti dall'Ente Gestore Publiacqua.

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 in ogni sezione 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.

La tipologia di modello idraulico adottata è di tipo integrato e permette di combinare l'approccio monodimensionale, per la modellazione idraulica in alveo, e quello bidimensionale per la modellazione idraulica delle aree inondabili. L'integrazione tra i modelli avviene in modo dinamico, garantendo la conservazione di massa e quantità di moto tra i vari sistemi. Gli alvei dei corsi d'acqua vengono modellati attraverso l'inserimento di sezioni trasversali, ricostruite a partire dai rilievi topografici e comprensive di tutte quelle strutture che interferiscono con il deflusso di piena, mentre le aree inondabili sono caratterizzate da un modello digitale del terreno. L'accoppiamento dei due modelli avviene attraverso degli appositi elementi che definiscono in ogni sezione fluviale la quota di sfioro in destra e sinistra idraulica e che quindi collegano il modello monodimensionale a quello bidimensionale.

L'approccio modellistico per la caratterizzazione della pericolosità idraulica è di tipo analitico e prevede una modellazione idraulica accoppiata 1D-2D con input idrologici derivanti dall'analisi idrologica e dati geometrici derivanti da rilievo topografico e/o dal modello digitale del terreno. 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 **15 modelli idraulici** distinti che verranno 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.

I bacini idrografici afferenti all'area di indagine presentano delle caratteristiche idrologiche e morfologiche diverse tra loro, sono presenti corsi d'acqua che presentano tratti di monte collinari con

alveo confinato e tempi di corrivazione dell'ordine di qualche ora, bacini che sono dei veri e propri colatori pedecollinari il cui reticolo è di modestissima entità, aventi quindi tempi di corrivazione molto brevi, e reticoli con bacini molto più estesi e quindi tempi di corrivazione ben più lunghi. A valle di queste considerazioni è seguita un'impostazione del presente studio su due scenari idrologici diversi:

- **Scenario globale:** scenario in cui si vanno a massimizzare gli effetti complessivi dell'intero sistema fluviale associato considerando piogge ragguagliate sull'estensione totale dei bacini idrografici oggetto di studio;
- **Scenario singolo bacino:** scenario in cui si massimizzano i contributi dei singoli bacini, considerando delle piogge ragguagliate sull'area di ogni singolo bacino.

Per quanto riguarda l'analisi del reticolo principale sono stati sviluppati due modelli idraulici distinti, ma tra loro correlati, come da accordi con l'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale:

Modello idraulico sul F. Arno dal Comune di Pelago a loc. Le Sieci – modello 2D implementato a partire dai modelli già sviluppati per la redazione del PGRA (modello Arno Valdarno Superiore, utilizzato per la progettazione delle casse di espansione di Prulli, e modello Arno Fiorentino) forniti dall'Autorità di Distretto, che ricomprende la geometria del fiume Arno, dalla sez. 724 alla sez. 653A, il tratto terminale del F. Sieve in loc. San Francesco ed alcuni reticoli minori affluenti dell'Arno (Vicano di Pelago, Borro delle Fogliacce, Borro del Pelacane, Borro della Ragnaia, Torrente Sieci, Borro delle Falle), con input idrologici aggiornati.

I dati forniti dall'autorità competente sono i seguenti:

- shapefile dei sottobacini;
- parametri idrologici per ogni sottobacino (Area, Ia, ks, n, k);
- piogge lorde;
- Kr calcolato sull'area del bacino totale dell'Arno (A=2683 kmq).

Modello idraulico sul F. Sieve da Bilancino a San Francesco – modello quasi 2D sviluppato a partire dal modello idraulico ad oggi disponibile (implementato sulla base della geometria utilizzata per la progettazione delle casse d'espansione di Rufina e della SS67) con input idrologici aggiornati calcolati a partire dai dati forniti dall'Autorità di bacino Distrettuale Appennino Settentrionale.

Tale analisi è finalizzata alla definizione delle condizioni al contorno sul reticolo secondario oggetto di studio e alla stima dell'idrogramma di piena atteso a San Francesco da inserire come sollecitazione idrologica sul tratto terminale del Fiume Sieve (modello M01-Arno)

I dati forniti dall'autorità competente sono i seguenti:

- shapefile dei sottobacini,
- parametri idrologici per ogni sottobacino,
- idrogrammi per ogni sottobacino per gli eventi con tempo di ritorno pari a 30 e 200 anni e durati di 9-12 ore.

Gli algoritmi applicati per la modellistica idrologica sono quelli della "Regionalizzazione delle portate di piena in Toscana", ovvero ietogrammi costanti (con ragguaglio nella modalità "globale" riferito alla porzione di bacino sottesa all'asta principale in corrispondenza delle confluenze tra Sieve ed affluenti), metodo di infiltrazione a soglia, e trasformazione secondo Nash.

4. Implementazione del Modello Idrologico

Come anticipato nel paragrafo precedente al fine di individuare le aree allagabili, e quindi le modalità di propagazione e laminazione dell'onda di piena, è necessario stimare i dati di input al sistema tramite un modello idrologico.

Il modello numerico utilizzato consente la determinazione dei contributi idrologici al reticolo idraulico oggetto di studio ed è composto da un modello per il calcolo delle perdite del bacino idrografico (modello di infiltrazione) e da un modello afflussi-deflussi per la trasformazione degli input pluviometrici, depurati dalle perdite succitate, 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:

- I_a (mm), volume unitario di perdita iniziale che il terreno assorbe durante i primi istanti di precipitazione;
- K_s (mm/h), coefficiente di infiltrazione a saturazione.

Tali parametri derivano dall'analisi delle carte e dell'uso del suolo.

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.

Tali parametri sono ottenuti dalla gerarchizzazione del reticolo idrografico secondo il criterio di Horton e Strahler.

I parametri sopra elencati sono stati forniti dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale per ogni sottobacino dei bacini dell'Arno e della Sieve considerati ai fini dell'analisi idrologica.

Per i dettagli sulla modellistica idrologica si rimanda all' Appendice A: Modellistica idrologico-idraulica

A valle della parametrizzazione idrologica sono state determinate le piogge insistenti su ogni bacino considerato (piogge lorde, non depurate dalle perdite), come riportato al Paragrafo 4.3.

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 ragguglio 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:

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

dove t è la durata dell'evento, A è l'area del bacino sotteso e α , β , γ sono parametri dipendenti dal bacino considerato.

Il coefficiente di ragguglio dipende quindi dallo scenario idrologico considerato.

In particolare:

- per lo **Scenario globale**, volendo massimizzare gli effetti complessivi dell'intero sistema fluviale associato, si è determinato un K_r associato all'estensione areale totale dei bacini considerati.
- per lo **Scenario singolo bacino**, volendo massimizzare i contributi dei singoli bacini, il K_r è stato calcolato tenendo conto dell'area di ogni singolo bacino.

In Figura 4.1 è riportato lo schema logico della modellistica idrologica.

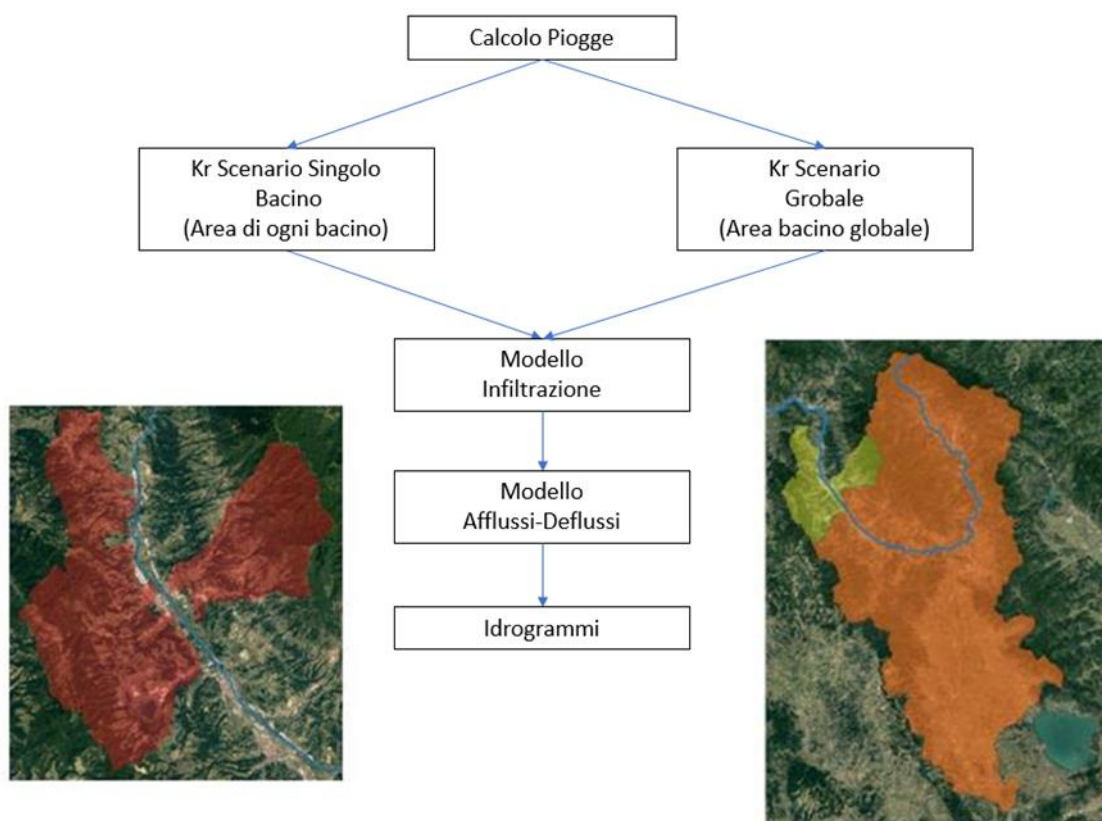


Figura 4.1 Schema logico della modellistica idrologica

4.1 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 (Tabella 4.1) si riporta l'elenco dei bacini studiati idrologicamente (riportati nell'allegato IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica).

Nome	Codice
MARNIA	6800
BONA	6900
RICCIOFANI	7000
CILIANA	7100
VICANO DI SANTELLERO	7200
BAC24	7300
VICANO DI PELAGO	7400
BAC25	7500
BACS17	7600
BAC26	7700
CASTIGLIONCHIO	7800
BAC27	7900
FOGLIACCE	8001
BAC28-INTERBACINO	8002
PELACANE	8100
BAC28-INTERBACINO	8151
RAGNAIA	8152
SIECI	8200
BAC30	8250
FALLE	8300
SIECI MONTE	8201
RISAI0	8202
SIECI INTERBACINO 1	8203
RIMAGGIO	8204
FUGLIONI	8205
SIECI INTERBACINO 2	8206
RISAI0 MONTE	8202M
COLATORE 2 - CARBONILE	7302
COLATORE 1 - CARBONILE	7303

Nome	Codice
COLATORE 1 - MASSOLINA	7304
FORNACI	7602
MACINAIE TOTALE	7698
RUFINA	7688
ARGOMENNA	7689
FALGANO	7693
COLATORE 1 - SCOPETI	7686A
FOSSO DI CASINI	7686B
FOSSO DEL PIEVE	7686C
BOBI	7678D
COLATORE 1 - CONTEA	7678C
MOLINUZZO	7678B
MOSCIA MONTE	7671
RINCINE	7672
MOSCIA INTERBACINO 1	7673
OLMO	7674
SESSOLE	7675
MOSCIA INTERBACINO 2	7676
COLATORE 1 RIMAGGIO	7688A
RUFINA PALAGIO	7688B
SAN GODENZO MONTE	7671
CORELLA	7672
ACQUATORTA	7673
ACQUATORTA-AFFLUENTE	7674
LE PRATA	7675
COLATORE 1 - SAN FRANCESCO	7603
FOSSO ORSELLI	7604
COLATORE 3 - PONTASSIEVE	7605

Tabella 4.1 Codifiche dei bacini studiati idrologicamente.

4.2 Parametri idrologici

Come anticipato nell'introduzione al Capitolo 4, i parametri idrologici sono stati forniti dall'Autorità di Distretto dell'Appennino settentrionale per ogni sottobacino considerato dell'Arno e della Sieve. Laddove è stato necessario suddividere ulteriormente i sottobacini è stata adottata la stessa metodologia usata dall'Autorità di Distretto e di seguito descritta.

In generale l'analisi idrologica è stata condotta a valle di un'analisi geomorfologica e idrografica del reticolo e dei relativi sottobacini, le grandezze ricavate sono state utilizzate nel modello di Nash i cui parametri sono stati stimati tramite metodi di regionalizzazione.

Per il reticolo idrografico non sufficientemente sviluppato da poter definire parametri geomorfologici attendibili (ordine di Horton-Strahler inferiore a 3), è stata adottata la seguente metodologia:

- il parametro n [-] di Nash è stato posto pari al valore medio dei bacini di ordine ≥ 3 e area ≤ 6 Km² per i quali è stato possibile calcolare tale parametro secondo la formulazione classica.
- per il tempo di ritardo caratteristico TI [ore] è stata ipotizzata la seguente formulazione:
- $TI = a \cdot A^b$
con A area del bacino [Km²] ed a e b parametri da tarare.
- a e b sono stati stimati attraverso la regressione di potenza delle coppie ($A; TI$) relative ai bacini di ordine ≥ 3 e area ≤ 6 Km² per i quali è stato possibile calcolare tale parametro
- il parametro k [h] è stato determinato dal rapporto TI/n .

Nei casi di bacini estremamente piccoli o impluvi la stima dei parametri di calcolo è stata eseguita secondo la seguente metodologia:

- è stata stimata l'area media dei bacini o impluvi con reticolo cartografato (0.41 Km²);
- per tener conto del reticolo non cartografato è stata definita l'area caratteristica di tali bacini pari al 50% dell'area media di cui al punto 1 (0.2 Km²);
- i bacini limitrofi sono stati accorpati in un unico interbacino a cui è stato assegnato il codice BAC seguito da un numero progressivo da monte verso valle;
- il parametro n [-] di Nash è stato posto uguale al valore medio relativo ai bacini di ordine ≥ 3 e area ≤ 6 Km² per i quali è stato possibile calcolare detto parametro secondo la formulazione sopra riportata;
- per il tempo di ritardo caratteristico TI [ore] è stata ipotizzata la seguente formulazione:
- $TI = a \cdot A^b$
con A area del bacino [Km²] ed a e b parametri da tarare.
- a e b sono stati stimati attraverso la regressione di potenza delle coppie ($A; TI$) relative ai bacini di ordine ≥ 3 e area ≤ 6 Km² per i quali è stato possibile calcolare detto parametro secondo la formulazione sopra riportata;
- il parametro k [sec] è stato determinato dal rapporto TI/n .
- la portata di ciascun bacino BAC è stata calcolata con riferimento alla somma delle aree dei bacini che lo compongono.

In particolare, sono stati utilizzati i seguenti parametri:

a) Sottobacini Arno (da Modello Valdarno):

- I reticoli di ordine ≥ 3 sono stati gerarchizzati secondo Horton-Strahler
- Per i reticoli di ordine < 3 :
 - $n = 2.636$ (n medio dei bacini di ordine ≥ 3 e $A \leq 6$ km²)
 - $TI = 0.479 \cdot A^{0.4656}$ (da regressione A, TI su bacini di ordine ≥ 3 e $A \leq 6$ km²)
 - $k = TI/n$
- Per gli interbacini:
 - $n = 2.636$ (n medio dei bacini di ordine ≥ 3 e $A \leq 6$ km²)
 - $TI = 0.479 \cdot 0.2^{0.4656} = 0.226$
 - $k = 0.086$

b) Sottobacini Arno (da Modello Arno Fiorentino):

- I reticoli di ordine ≥ 3 sono stati gerarchizzati secondo Horton-Strahler
- Per i reticoli di ordine < 3 :
 - n = 2.825 (n medio dei bacini di ordine ≥ 3 e $A \leq 6$ kmq)
 - TI = $0.426 \cdot A^{0.4988}$ (da regressione A, TI su bacini di ordine ≥ 3 e $A \leq 6$ kmq)
 - k = TI/n
- Per gli interbacini:
 - n= 2.789
 - TI = $0.426 \cdot 0.2^{0.4988} = 0.313$
 - k = 0.110

c) Sottobacini Sieve:

- I reticoli di ordine ≥ 3 sono stati gerarchizzati secondo Horton-Strahler
- Per i reticoli di ordine < 3 :
 - n = 2.789 (n medio dei bacini di ordine ≥ 3 e $A \leq 6$ kmq)
 - TI = $0.494 \cdot A^{0.5314}$ (da regressione A, TI su bacini di ordine ≥ 3 e $A \leq 6$ kmq)
 - k = TI/n
- Per gli interbacini:
 - n= 2.789
 - TI = $0.494 \cdot 0.2^{0.5314} = 0.304$
 - k = 0.109

I parametri utilizzati per la stima delle perdite, Ia e Ks, sono stati ricalcolati laddove si sia reso necessario suddividere ulteriormente i sottobacini rispetto agli areali forniti dall'autorità di Distretto. A partire dai dati messi a disposizione dall'autorità di Distretto, i parametri sono stati ricavati sull'areale effettivo del sottobacino di interesse esclusivamente nei casi di bacini molto estesi, in caso di bacini con estensione limitata i parametri sono stati mantenuti invariati rispetto a quelli forniti.

I risultati delle parametrizzazioni appena descritte sono riportati di seguito in Tabella 4.2

Modello	Nome	Codice	Area [km ²]	Modello di Infiltrazione		Trasformazione Afflussi - Deflussi		
				Ia [mm]	Ks [mm/h]	n [-]	k [h]	TI [h]
MODELLO 01 - ARNO	MARNIA	6800	16,12	17,14	1,24	0,56	0,56	0,32
	BONA	6900	2,22	16,16	0,95	0,23	0,23	0,05
	RICCIOFANI	7000	4,90	12,01	3,78	0,38	0,38	0,15
	CILIANA	7100	3,92	16,47	1,60	0,53	0,53	0,28
	VICANO DI SANT'ELLERO	7200	29,61	20,06	1,74	0,81	0,81	0,65
	BAC24	7300	6,25	12,15	0,82	0,09	0,09	0,01
	VICANO DI PELAGO	7400	27,56	16,64	1,69	0,88	0,88	0,78
	BAC25	7500	3,67	7,89	2,10	0,09	0,09	0,01
	BACS17	7600	7,37	10,06	4,25	0,11	0,11	0,01
	BAC26	7700	2,37	8,24	2,27	0,09	0,09	0,01
	CASTIGLIONCHIO	7800	11,96	14,98	4,11	0,41	0,41	0,17
	BAC27	7900	3,20	13,58	3,34	0,09	0,09	0,01
	FOGLIACCE	8001	1,30	12,62	2,52	0,21	0,21	0,04
	BAC28-INTERBACINO	8002	3,10	12,62	2,52	0,11	0,11	0,01
	PELACANE	8100	3,12	14,16	2,82	0,25	0,25	0,06
	BAC29-INTERBACINO	8151	1,03	8,62	1,22	0,11	0,11	0,01
	RAGNAIA	8152	1,61	8,62	1,22	0,19	0,19	0,04
SIECI	8200	49,19	16,23	2,94	0,78	0,78	0,62	
BAC30	8250	1,41	10,48	2,11	0,11	0,11	0,01	

Modello	Nome	Codice	Area [km ²]	Modello di Infiltrazione		Trasformazione Afflussi - Deflussi		
				Ia [mm]	Ks [mm/h]	n [-]	k [h]	TI [h]
	FALLE	8300	8,02	16,01	3,50	0,40	0,40	0,16
MODELLO 02 - SIECI	SIECI MONTE	8201	17,15	17,80	2,99	3,06	0,57	1,73
	RISAIO	8202	11,05	19,87	2,08	3,10	0,55	1,70
	SIECI INTERBACINO 1	8203	1,79	19,27	3,89	2,85	0,11	0,31
	RIMAGGIO	8204	5,60	12,87	3,45	2,80	0,35	0,97
	FUGLIONI	8205	9,03	10,22	2,95	2,82	0,46	1,31
	SIECI INTERBACINO 2	8206	4,57	16,56	3,82	2,85	0,11	0,31
MODELLO 03 - SANTA BRIGIDA	RISAIO MONTE	8202M	4,38	19,87	2,08	2,99	0,40	1,19
MODELLO 04 - MASSOLINA CARBONILE	COLATORE 2 - CARBONILE	7302	0,17	12,15	0,82	2,64	0,08	0,21
	COLATORE 1 - CARBONILE	7303	0,27	12,15	0,82	2,64	0,10	0,26
	COLATORE 1 - MASSOLINA	7304	0,28	12,15	0,82	2,64	0,10	0,27
MODELLO 05 - STENTATOIO	FORNACI	7602	4,50	13,07	1,01	2,80	0,35	0,97
	MACINAIE TOTALE	7698	0,58	10,06	4,25	2,79	0,13	0,37
MODELLO 06 - RUFINA MONTEBONELLO	RUFINA	7688	21,22	18,87	0,00	3,07	0,73	2,24
	ARGOMENNA	7689	20,17	18,50	0,22	3,48	0,56	1,95
	FALGANO	7693	5,62	15,69	0,04	3,15	0,36	1,13
MODELLO 07 - SCOPETI	COLATORE 1 - SCOPETI	7686A	0,13	13,66	0,00	2,79	0,06	0,17
	FOSSO DI CASINI	7686B	1,32	13,66	0,00	2,79	0,21	0,57
	FOSSO DEL PIEVE	7686C	0,84	13,66	0,00	2,79	0,16	0,45
MODELLO 08 - CASINI	BOBI	7678D	1,36	18,39	0,00	2,79	0,21	0,58
MODELLO 09 - CONTEA	COLATORE 1 - CONTEA	7678C	0,21	18,39	0,00	2,79	0,08	0,22
	MOLINUZZO	7678B	1,32	18,39	0,00	2,79	0,21	0,57
MODELLO 10 - MOSCIA	MOSCIA MONTE	7671	21,56	23,36	0,46	2,85	0,78	2,23
	RINCINE	7672	33,32	22,92	0,46	3,27	0,71	2,34
	MOSCIA INTERBACINO 1	7673	1,24	17,06	0,46	2,79	0,11	0,30
	OLMO	7674	0,75	17,21	0,46	2,32	0,18	0,41
	SESSOLE	7675	4,02	22,04	0,46	2,80	0,32	0,91
	MOSCIA INTERBACINO 2	7676	2,72	15,10	0,46	2,79	0,11	0,30
MODELLO 11 - RIMAGGIO	COLATORE 1 RIMAGGIO	7688A	0,35	18,87	0,00	2,79	0,10	0,28
MODELLO 12 - POMINO	RUFINA PALAGIO	7688B	0,55	18,87	0,00	2,79	0,13	0,36
MODELLO 13 - SAN BAVELLO	SAN GODENZO MONTE	7671	57,33	22,47	1,44	3,06	0,88	2,68
	CORELLA	7672	17,91	20,88	1,33	3,32	0,61	2,02
MODELLO 14 - CASTAGNO	ACQUATORTA	7673	1,62	24,16	1,55	2,79	0,23	0,64
	ACQUATORTA-AFFLUENTE	7674	0,85	24,29	1,41	2,79	0,16	0,45
	LE PRATA	7675	0,87	23,36	1,27	2,79	0,16	0,46
MODELLO 15 - COLATORI PONTASSIEVE	COLATORE 1 - SAN FRANCESCO	7603	0,53	10,06	4,25	2,64	0,14	0,36
	FOSSO ORSELLI	7604	0,48	10,06	4,25	2,64	0,13	0,34
	COLATORE 3 - PONTASSIEVE	7605	0,45	10,06	4,25	2,64	0,13	0,33

Tabella 4.2 Tabella di riepilogo dei parametri idrologici

4.3 Eventi meteorici e Risultati della modellistica idrologica

Gli eventi meteorici studiati fanno riferimento a tempi di ritorno di 30, 200. Per ognuno dei 2 scenari idrologici (Scenario Globale e Scenario singolo bacino) 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). 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, di recente pubblicazione da parte della Regione Toscana costituisce la nuova base dati su cui implementare le analisi idrologiche. (elaborati nell'ambito dell'Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012 al fine di procedere ad un'implementazione e un aggiornamento del quadro conoscitivo idrologico del territorio toscano).

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:

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

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

La nuova pubblicazione dei dati ha imposto un sostanziale superamento di AITo, modello idrologico comunemente utilizzato e riferimento per il territorio Toscano negli ultimi dieci anni. Rimane invece valido il metodo di calcolo, trattandosi di un modello cosiddetto "lamped" di trasformazione afflussi deflussi, solido e collaudato. Per ognuno degli eventi meteorici, in relazione allo scenario idrologico considerato, si sono determinati i rispettivi idrogrammi di piena.

In Tabella 4.3 sono riportate le altezze di pioggia (in mm) calcolate secondo la metodologia individuata dalla Regione Toscana e i risultati della modellazione idrologica in termini di portata massima, Q_{max} (m^3/s) e Volume (1000 mc) (e Livelli massimi nel caso dell'idrogramma in testa al Fiume Arno nel Modello 01). Per ogni tempo di ritorno considerato sono riportate le altezze di pioggia, le portate massime e i volumi associati ai rispettivi idrogrammi di piena, determinati al variare della durata dell'evento meteorico e dello scenario considerati, su ogni bacino oggetto di studio individuato dalla codifica descritta nei paragrafi precedenti.

La dicitura S o G presente nelle tabelle seguenti indica lo scenario di riferimento, in particolare la codifica S indica lo Scenario Singolo Bacino e la codifica G indica lo Scenario Globale.

Si rimanda all' Appendice A: Modellistica Idrologica- Idraulica per maggiori dettagli sulla procedura di regionalizzazione.

Modello	Codice	Nome	TR [anni]	d [h]	Scenario	Q _{max} [m3/s]	Vol [1000 m3]	H _{max} [m s.l.m.]	
MODELLO 01 - ARNO	0000A	ARNO VALDARNO SUPERIORE	30	9.0	G	41.25	3069.00	1820.04	
				12.0	G	1902.38	118003.20	107.39	
				18.0	G	1905.30	140811.53	107.40	
				24.0	G	1796.28	149556.32	107.14	
				36.0	G	1409.29	175345.49	106.12	
			200	9.0	G	2451.94	147022.82	108.54	
				12.0	G	2623.40	178286.83	108.87	
				18.0	G	1796.28	219264.33	109.10	
				24.0	G	2701.00	243279.34	109.01	
				36.0	G	2327.98	302674.83	108.33	
		Codice	Nome	TR [anni]	d [h]	Scenario	h _{loda} [mm]	Q _{max} [m3/s]	Vol [1000 m3]
	6800	MARNIA	30	9.0	G	104.7	33.31	803.35	
				12.0	G	112.1	26.70	877.40	
				18.0	G	123.5	19.16	965.32	
				24.0	G	132.3	14.85	1006.85	
				36.0	G	145.7	9.97	1015.66	
			200	9.0	G	166.9	56.45	1552.97	
				12.0	G	182.1	46.84	1747.38	
				18.0	G	205.8	35.63	2032.39	
				24.0	G	224.4	29.07	2235.30	
				36.0	G	253.6	21.46	2504.99	
	6900	BONA	30	9.0	G	99.0	4.38	106.00	
				12.0	G	105.7	3.52	116.33	
				18.0	G	116.0	2.55	129.54	
				24.0	G	123.8	2.00	137.06	
				36.0	G	135.9	1.38	142.99	
			200	9.0	G	158.3	7.35	202.27	
				12.0	G	172.1	6.11	228.07	
18.0				G	193.8	4.66	266.18		
24.0				G	210.7	3.82	294.22		
36.0				G	237.2	2.84	332.32		
7000	RICCIOFANI	30	9.0	G	94.9	5.42	116.81		
			12.0	G	102.2	3.68	100.29		
			18.0	G	113.6	1.69	50.55		
			24.0	G	122.4	0.00	0.00		
			36.0	G	135.9	0.00	0.00		
		200	9.0	G	139.7	10.40	278.27		
			12.0	G	151.6	7.94	284.34		
			18.0	G	170.2	5.09	271.00		
			24.0	G	184.8	3.43	237.49		
			36.0	G	207.4	1.51	136.93		

Modello	Codice	Nome	TR [anni]	d [h]	Scenario	h _{lorda} [mm]	Q _{max} [m ³ /s]	Vol [1000 m ³]
MODELLO 01 - ARNO	7100	CILIANA	30	9.0	G	102.1	7.45	176.92
				12.0	G	109.2	5.88	189.35
				18.0	G	120.0	4.08	199.90
				24.0	G	128.3	3.06	199.78
				36.0	G	141.0	1.90	181.75
			200	9.0	G	162.7	12.90	353.48
				12.0	G	177.1	10.61	393.85
				18.0	G	199.6	7.94	450.09
				24.0	G	217.3	6.39	487.49
				36.0	G	244.9	4.59	530.22
	7200	VICANO SANT'ELLERO	30	9.0	G	99.7	57.53	1316.25
				12.0	G	108.1	46.77	1432.63
				18.0	G	121.1	33.05	1547.90
				24.0	G	131.3	25.07	1572.18
				36.0	G	147.2	15.95	1472.90
			200	9.0	G	136.0	84.60	2178.30
				12.0	G	148.8	69.88	2427.83
				18.0	G	169.0	51.77	2760.43
				24.0	G	185.0	41.16	2962.19
				36.0	G	210.1	28.89	3149.91
	7300	BAC24	30	9.0	G	93.7	12.19	320.09
				12.0	G	100.8	9.91	353.24
				18.0	G	111.7	7.30	398.16
				24.0	G	120.2	5.80	426.28
				36.0	G	133.3	4.10	456.49
			200	9.0	G	134.5	18.11	511.87
				12.0	G	146.0	14.98	572.30
				18.0	G	163.9	11.36	661.32
				24.0	G	178.0	9.27	726.04
				36.0	G	199.8	6.85	812.93
	7400	VICANO DI PELAGO	30	1.0	S	51.6	71.98	779.52
				3.0	S	69.3	95.28	1173.64
				6.0	S	83.5	81.32	1430.09
				9.0	G	93.1	49.35	1163.00
				12.0	G	100.6	39.50	1250.45
				18.0	G	112.2	27.53	1325.44
				24.0	G	121.2	20.62	1323.08
				36.0	G	135.2	12.75	1193.46
				200	1.0	S	64.9	102.15
			3.0		S	90.2	135.03	1707.74
			6.0		S	111.0	114.44	2146.08
			9.0		G	125.4	71.44	1871.99
			12.0		G	136.8	58.42	2066.36
			18.0		G	154.5	42.80	2314.89
			24.0		G	168.5	33.71	2453.84
			36.0		G	190.3	23.22	2550.94

Modello	Codice	Nome	TR [anni]	d [h]	Scenario	h _{lorda} [mm]	Q _{max} [m ³ /s]	Vol [1000 m ³]
MODELLO 01 - ARNO	7500	BAC25	30	9.0	G	90.5	5.66	154.82
				12.0	G	97.3	4.34	158.99
				18.0	G	107.6	2.84	155.54
				24.0	G	115.6	1.99	143.32
				36.0	G	127.9	1.01	102.43
			200	9.0	G	127.4	8.81	256.94
				12.0	G	138.0	7.04	275.63
				18.0	G	154.5	5.00	295.48
				24.0	G	167.4	3.82	301.50
				36.0	G	187.5	2.46	290.33
	7600	BAC217	30	9.0	G	86.3	6.81	146.86
				12.0	G	92.5	4.13	104.51
				18.0	G	101.8	0.00	0.00
				24.0	G	109.1	0.00	0.00
				36.0	G	120.1	0.00	0.00
			200	9.0	G	116.5	12.23	322.41
				12.0	G	125.9	8.76	304.60
				18.0	G	140.5	4.78	235.86
				24.0	G	151.8	2.49	141.24
				36.0	G	169.4	0.00	0.00
	7700	BAC26	30	9.0	G	91.9	3.52	94.80
				12.0	G	99.0	2.69	96.97
				18.0	G	109.9	1.74	93.51
				24.0	G	118.4	1.19	83.62
				36.0	G	131.4	0.57	54.59
			200	9.0	G	131.2	5.66	164.11
				12.0	G	142.4	4.52	176.03
				18.0	G	160.0	3.21	188.72
				24.0	G	173.8	2.44	191.59
				36.0	G	195.3	1.56	182.95
	7800	CASTIGLIONCHIO	30	9.0	G	93.9	11.61	197.57
				12.0	G	101.4	7.51	145.30
				18.0	G	112.8	0.00	0.00
				24.0	G	121.7	0.00	0.00
				36.0	G	135.5	0.00	0.00
			200	9.0	G	138.3	23.57	584.45
				12.0	G	150.3	17.74	587.14
				18.0	G	169.1	10.95	530.48
				24.0	G	183.8	6.99	425.03
				36.0	G	206.8	2.42	134.22
	7900	BAC27	30	9.0	G	95.5	11.61	197.57
				12.0	G	103.4	7.51	145.30
				18.0	G	115.7	0.00	0.00
				24.0	G	125.2	0.00	0.00
				36.0	G	140.1	0.00	0.00
			200	9.0	G	140.6	23.57	584.45
				12.0	G	153.4	17.74	587.14
				18.0	G	173.4	10.95	530.48
24.0				G	189.1	6.99	425.03	
36.0				G	213.7	2.42	134.22	

Modello	Codice	Nome	TR [anni]	d [h]	Scenario	h _{orda} [mm]	Q _{max} [m ³ /s]	Vol [1000 m ³]
MODELLO 01 - ARNO	8001	FOGLIACCE	30	1.0	S	51.3	13.83	46.66
				3.0	S	69.5	7.41	63.67
				6.0	S	84.1	4.13	72.83
				9.0	G	94.0	1.82	42.51
				12.0	G	101.8	1.38	43.24
				18.0	G	113.8	0.88	40.54
				24.0	G	123.2	0.58	33.85
				36.0	G	137.8	0.25	15.78
			200	1.0	S	71.3	20.44	72.44
				3.0	S	99.2	10.98	102.18
				6.0	S	122.3	6.42	122.29
				9.0	G	138.2	3.10	84.00
				12.0	G	150.7	2.48	90.76
				18.0	G	170.3	1.76	97.70
				24.0	G	185.7	1.34	99.41
				36.0	G	209.9	0.85	93.81
	8002	BAC28-INTERBACINO	30	9.0	G	94.0	4.32	100.93
				12.0	G	101.8	3.28	102.74
				18.0	G	113.8	2.08	95.87
				24.0	G	123.2	1.39	81.04
				36.0	G	137.8	0.59	37.27
				9.0	G	138.2	7.36	199.46
			200	12.0	G	150.7	5.90	215.86
				18.0	G	170.3	4.19	232.52
				24.0	G	185.7	3.19	236.62
				36.0	G	209.9	2.02	222.92
				1.0	S	51.0	27.04	103.85
				3.0	S	68.8	17.13	141.76
	8100	PELACANE	30	6.0	S	83.2	9.46	160.11
				9.0	G	92.9	4.06	87.29
				12.0	G	100.5	3.01	85.93
				18.0	G	112.3	1.80	72.63
				24.0	G	121.5	1.10	51.12
				36.0	G	135.7	0.00	0.00
				1.0	S	70.3	40.93	163.06
				3.0	S	97.6	25.38	230.53
				6.0	S	120.2	14.74	274.30
			200	9.0	G	135.7	7.05	184.14
				12.0	G	147.9	5.58	196.94
				18.0	G	167.0	3.87	206.70
				24.0	G	182.0	2.87	203.89
				36.0	G	205.5	1.71	177.50
				9.0	G	92.2	1.73	47.22
				12.0	G	99.8	1.40	51.65
				18.0	G	111.6	1.02	57.23
				24.0	G	120.8	0.79	59.49
	8151	BAC29-INTERBACINO	30	36.0	G	135.1	0.54	61.12
				9.0	G	135.7	2.71	78.98
12.0				G	148.0	2.24	87.97	
18.0				G	167.3	1.70	101.30	
200			24.0	G	182.4	1.38	110.36	
			36.0	G	206.2	1.00	120.82	

Modello	Codice	Nome	TR [anni]	d [h]	Scenario	h _{lorda} [mm]	Q _{max} [m ³ /s]	Vol [1000 m ³]
MODELLO 02 - SIECI	8201	SIECI MONTE	30	2.0	S	60.5	61.14	512.48
				2.0	G	60.5	56.04	467.30
				3.0	G	68.3	57.98	544.79
			200	2.0	S	85.6	102.94	895.58
				2.0	G	85.6	95.97	831.56
				3.0	G	97.7	96.62	977.58
	8202	RISAIO	30	2.0	S	60.0	39.77	323.92
				2.0	G	60.0	36.45	295.11
				3.0	G	67.6	38.71	352.95
			200	2.0	S	84.8	66.92	566.69
				2.0	G	84.8	62.41	526.01
				3.0	G	96.5	63.63	626.72
	8203	SIECI INTERBACINO 1	30	2.0	S	60.0	11.23	46.60
				2.0	G	60.0	10.57	41.92
				3.0	G	67.6	7.63	48.05
			200	2.0	S	84.9	16.72	86.09
				2.0	G	84.9	15.80	79.46
				3.0	G	96.7	11.75	92.56
	8204	RIMAGGIO	30	1.0	S	49.4	36.70	177.89
				2.0	G	60.4	28.82	175.14
				3.0	G	67.9	23.98	196.54
			200	1.0	S	68.7	57.33	283.34
				2.0	G	85.5	45.11	294.22
				3.0	G	97.2	37.18	337.43
8205	FUGLIONI	30	2.0	S	60.9	51.08	384.55	
			2.0	G	60.9	43.32	321.08	
			3.0	G	68.3	38.33	358.81	
		200	2.0	S	86.0	77.40	602.49	
			2.0	G	86.0	66.62	512.96	
			3.0	G	97.4	58.91	585.07	
8206	SIECI INTERBACINO 2	30	2.0	G	60.3	27.47	122.36	
			3.0	G	67.7	19.71	137.37	
		200	2.0	G	85.5	40.94	219.29	
			3.0	G	96.9	30.30	251.74	
MODELLO 03 - SANTA BRIGIDA	8202M	RISAIO MONTE	30	2.0	S	60.0	23.86	152.67
				3.0	S	67.6	22.01	176.66
			200	2.0	S	84.8	37.95	258.85
				3.0	S	96.5	33.83	300.78
MODELLO 04 - MASSOLINA CARBONILE	7302	COLATORE 2 - CARBONILE	30	0.5	S	45.17	3.82	5.48
				1.0	S	53.79	2.47	6.86
			200	0.5	S	59.08	5.13	7.82
				1.0	S	71.94	3.32	9.91
	7303	COLATORE 1 - CARBONILE	30	0.5	S	45.17	5.59	8.86
				1.0	S	53.79	3.97	11.09
			200	0.5	S	59.08	7.63	12.64
				1.0	S	71.94	5.34	16.02
	7304	COLATORE 1 - MASSOLINA	30	0.5	S	45.17	5.73	9.174
				1.0	S	53.79	4.11	11.496
			200	0.5	S	59.08	7.85	13.089
				1.0	S	71.94	5.53	16.599

Modello	Codice	Nome	TR [anni]	d [h]	Scenario	h _{lorda} [mm]	Q _{max} [m ³ /s]	Vol [1000 m ³]	
MODELLO 05 - STENTATOIO	7602	FORNACI	30	0.5	S	43.4	9.00	18.08	
				1.0	S	51.2	7.24	21.37	
				2.0	S	60.4	4.18	24.23	
			200	0.5	S	53.5	11.65	23.93	
				1.0	S	64.5	9.39	29.07	
				2.0	S	77.7	5.58	34.30	
	7698	MACINAIE TOTALE	30	0.5	S	42.6	27.92	126.51	
				1.0	S	50.7	32.77	160.57	
				2.0	S	60.3	31.2	199.36	
			200	0.5	S	52.4	37.27	169.64	
				1.0	S	63.7	43.98	218.12	
				2.0	S	77.5	41.47	275.50	
MODELLO 06 - RUFINA MONTEBONELLO	7688	RUFINA	30	2.0	S	58.8	72.41	760.58	
				3.0	S	65.7	79.11	907.62	
				4.0	S	71.1	79.17	1023.02	
			200	2.0	S	75.5	102.33	1091.18	
				3.0	S	85.5	110.13	1301.72	
				4.0	S	93.4	108.82	1468.75	
	7689	ARGOMENNA	30	2.0	S	57.1	76.99	691.28	
				3.0	S	63.8	81.32	821.33	
				4.0	S	69.0	78.41	922.36	
			200	2.0	S	74.3	110.57	1014.06	
				3.0	S	84.0	114.38	1204.41	
				4.0	S	91.7	108.52	1354.36	
	7693	FALGANO	30	2.0	S	59.4	36.46	237.75	
				3.0	S	66.0	31.94	274.69	
				4.0	S	71.1	26.91	303.36	
			200	2.0	S	76.3	48.78	330.63	
				3.0	S	85.9	42.15	384.16	
				4.0	S	93.4	35.49	426.19	
	MODELLO 07 - SCOPETI	7686A	COLATORE 1 - SCOPETI	30	0.5	S	40.4	2.79	3.468
					1.0	S	48.1	1.74	4.48
					2.0	S	57.4	1.04	5.70
				200	0.5	S	49.6	3.47	4.68
					1.0	S	60.5	2.19	6.09
					2.0	S	73.8	1.33	7.82
7686B		FOSSO DI CASINI	30	0.5	S	40.4	12.70	34.85	
				1.0	S	48.1	13.61	45.09	
				2.0	S	57.4	10.32	57.34	
			200	0.5	S	49.6	16.92	47.00	
				1.0	S	60.5	17.84	61.31	
				2.0	S	73.8	13.32	78.80	
7686C		FOSSO DEL PIEVE	30	0.5	S	40.4	9.92	22.24	
				1.0	S	48.1	9.74	28.75	
				2.0	S	57.4	6.65	50.21	
			200	0.5	S	49.6	13.15	29.99	
				1.0	S	60.5	12.65	39.10	
				2.0	S	73.8	8.55	50.21	

Modello	Codice	Nome	TR [anni]	d [h]	Scenario	h _{onda} [mm]	Q _{max} [m ³ /s]	Vol [1000 m ³]		
MODELLO 08 - CASINI	8202M	BOBI	30	1.0	S	46.6	12.05	37.93		
				2.0	S	55.9	10.16	50.51		
			200	1.0	S	58.6	16.48	54.10		
				2.0	S	71.8	13.23	72.02		
MODELLO 09 - CONTEA	7678B	COLATORE 1 CONTEA	30	0.5	S	38.9	9.83	26.70		
				1.0	S	46.6	11.85	36.87		
				2.0	S	55.9	9.90	49.09		
			200	0.5	S	47.8	14.03	38.40		
				1.0	S	58.6	16.17	52.58		
				2.0	S	71.8	12.88	69.98		
	7678C	MOLINUZZO	30	0.5	S	38.9	3.55	4.29		
				1.0	S	46.6	2.70	5.92		
				2.0	S	55.9	1.63	7.87		
			200	0.5	S	47.8	4.73	6.17		
1.0				S	58.6	3.40	8.44			
2.0				S	71.8	2.09	11.20			
MODELLO 10 - MOSCIA	7671	MOSCIA MONTE	30	4.0	S	70.4	71.23	884.97		
				4.0	G	70.4	62.31	757.80		
				6.0	G	79.0	59.93	925.69		
			200	4.0	S	92.5	101.59	1332.40		
				4.0	G	92.5	90.39	1165.38		
				6.0	G	105.1	83.65	1417.25		
	7672	RINCINE	30	4.0	S	53.9	95.64	1164.98		
				4.0	G	65.9	85.93	1029.63		
				6.0	G	74.0	84.40	1271.70		
			200	4.0	S	69.3	138.58	1788.36		
				4.0	G	86.5	126.55	1610.66		
				6.0	G	98.5	118.71	1974.15		
	7673	MOSCIA INTERBACINO 1	30	4.0	G	65.7	4.61	45.37		
				6.0	G	73.2	3.45	53.59		
			200	4.0	G	86.2	6.10	66.85		
				6.0	G	97.4	4.65	79.44		
			7674	OLMO	30	1.0	S	45.0	7.70	20.23
						4.0	G	65.5	2.78	27.18
	6.0	G				73.2	2.08	32.18		
	200	1.0			S	56.6	10.23	28.81		
		4.0			G	86.1	3.68	40.14		
		6.0			G	97.3	2.80	47.73		
	7675	SESSOLE	30	4.0	G	65.2	14.60	125.45		
				6.0	G	72.9	11.18	153.12		
200			4.0	G	85.6	19.55	194.79			
			6.0	G	97.0	15.05	236.55			
7676			MOSCIA INTERBACINO 2	30	4.0	G	66.0	10.22	106.29	
					6.0	G	73.5	7.66	124.49	
	200	4.0		G	86.7	13.53	153.95			
		6.0		G	97.7	10.30	181.54			

Modello	Codice	Nome	TR [anni]	d [h]	Scenario	h _{lorda} [mm]	Q _{max} [m ³ /s]	Vol [1000 m ³]
MODELLO 11 - RIMAGGIO	7688A	COLATORE 1 RIMAGGIO	30	0.5	S	40.1	4.87	7.43
				1.0	S	48.6	4.55	10.38
			200	0.5	S	49.3	6.79	10.65
				1.0	S	61.0	5.81	14.74
MODELLO 12 - POMINO	7688B	RUFINA PALAGIO	30	1.0	S	48.6	6.62	16.12
				2.0	S	58.8	4.44	21.68
			200	1.0	S	61.0	8.64	22.91
				2.0	S	75.5	5.70	30.78
MODELLO 13 - SAN BAVELLO	7671	SAN GODENZO MONTE	30	5.0	S	70.6	124.65	1799.90
				5.0	G	70.6	117.76	1683.92
				6.0	G	74.5	116.76	1824.44
			200	5.0	S	93.4	188.58	2928.69
				5.0	G	93.4	180.14	2775.31
				6.0	G	99.1	175.28	3015.22
	7672	CORELLA	30	3.0	S	62.8	60.77	616.36
				5.0	G	72.6	47.91	604.61
				6.0	G	76.4	44.71	650.94
			200	3.0	S	81.7	88.30	936.31
				5.0	G	96.0	68.69	958.54
				6.0	G	101.6	63.33	1036.37
M14 - CASTAGNO	7673	ACQUATORTA	30	1.0	S	42.3	8.46	26.37
				1.0	G	42.3	8.30	25.83
				2.0	G	52.5	9.53	39.77
			200	1.0	S	53.1	13.50	43.88
				1.0	G	53.1	13.31	43.21
				2.0	G	67.4	13.34	63.72
	7674	ACQUATORTA-AFFLUENTE	30	1.0	S	43.0	6.18	14.50
				1.0	G	43.0	6.02	14.08
				2.0	G	52.8	5.59	21.12
			200	1.0	S	54.1	9.25	23.79
				1.0	G	54.1	9.09	23.28
				2.0	G	67.8	7.44	33.65
	7675	LE PRATA	30	1.0	S	43.0	6.55	15.83
				1.0	G	43.0	6.41	15.40
				2.0	G	52.8	5.81	22.81
			200	1.0	S	54.0	9.65	25.40
				1.0	G	54.0	9.48	24.87
				2.0	G	67.8	7.71	35.73
M15 - COLATORI PONTASSIEVE	7603	COLATORE 1 - SAN FRANCESCO	30	0.5	S	43.39	8.19	16.37
				1.0	S	51.17	6.58	19.35
			200	0.5	S	53.48	10.70	21.66
				1.0	S	64.45	8.53	26.32
	7604	FOSSO ORSELLI	30	0.5	S	43.39	7.72	14.88
				1.0	S	51.17	6.03	17.58
			200	0.5	S	53.48	10.07	19.68
				1.0	S	64.45	7.80	23.91
	7605	COLATORE 3 - PONTASSIEVE	30	0.5	S	43.39	7.43	14.00
				1.0	S	51.17	5.70	16.54
			200	0.5	S	53.48	9.68	18.53
				1.0	S	64.45	7.37	22.51

Tabella 4.3: Altezze di pioggia (mm), portate massime (m³/s) e volumi di piena (1000 m³) per eventi con tempo di ritorno TR 30 anni e TR 200 anni.

5. Implementazione Modello Idraulico

Come anticipato nel Capitolo 3, la propagazione dei deflussi di piena generati dalla modellazione idrologica viene analizzata tramite modellazione idraulica accoppiata mono/bi-dimensionale in grado di simulare la propagazione dell'onda di piena in alveo per mezzo della modellazione monodimensionale e le aree allagabili attraverso quella bidimensionale.

I modelli idraulici possono simulare la risposta ad un evento pluviometrico di un singolo corso d'acqua o di più reticoli contemporaneamente. Nel presente studio si è scelto di analizzare più reticoli simultaneamente nel caso di aste fluviali le cui singole dinamiche di esondazione risultassero interagenti tra di loro come nel caso di reticoli confluenti o corsi d'acqua geograficamente vicini.

A partire dal reticolo idrografico individuato dalla Regione Toscana ai sensi della L.R.79/2012 sono stati individuati i principali corsi d'acqua che concorrono a definire le condizioni di allagabilità dei suoli comunali ed analizzati i tratti che interessano il territorio urbanizzato e/o che concorrono a determinarne la pericolosità idraulica.

Sono stati quindi implementati 15 modelli idraulici che verranno descritti di seguito.

Nella Tavola *IDR_GEN_01-Inquadramento Generale* si riporta il reticolo idraulico e la suddivisione areale dei vari modelli idraulici implementati.

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.

Gli alvei dei corsi d'acqua vengono modellati attraverso l'inserimento di sezioni ottenute da rilievi topografici mentre le aree inondabili sono caratterizzate da un modello digitale del terreno

Le sezioni fluviali utilizzate nella modellazione monodimensionale sono individuate attraverso un codice alfanumerico che contiene al proprio interno le seguenti informazioni:

(Esempio: sezione 01542PB03)

- 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:21) 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

La dinamica bidimensionale viene modellata sulla base di modelli digitali del terreno per mezzo di una mesh di calcolo a celle quadrate che viene infittita tramite breaklines qualora sia necessario dettagliarla ulteriormente, ad esempio in corrispondenza di limiti significativi aventi funzionalità idraulica (es: viabilità).

In Tabella 5.1 sono elencati, per ogni modello idraulico implementato, i corsi d'acqua e le relative lunghezze oggetto di studio, il numero di sezioni utilizzate per modellare l'alveo e i rilievi topografici da cui derivano.

Modello 01 - ARNO			
Corso d'acqua	Lunghezza tratto di studio [m]	N. sezioni	Provenienza dato topografico
Fiume Arno	15035	54	Modello Valdarno Superiore Autorità di Distretto Appennino Settentrionale
		27	Modello Arno Fiorentino Autorità di Distretto Appennino Settentrionale
Fiume Sieve	3073	37	Rilievo 2006
Torrente Vicano di Pelago	886	14	Rilievo 2021
Borro delle Fogliacce	991	51	Rilievo 2021
Borro del Pelacane	1047	39	Rilievo 2017
Borro della Ragnaia	984	46	Rilievo 2016
Torrente Sieci	4473	21	Rilievo 2021, Rilievo 2008
Borro delle Falle	1306	36	Rilievo 2021, Rilievo 2019
Modello 02 - SIECI			
Corso d'acqua	Lunghezza tratto di studio [m]	N. sezioni	Provenienza dato topografico
Torrente Sieci	3550	48	Rilievo 2021, Rilievo 2008
Fosso di Rimaggio	1290	43	Rilievo 2021, Rilievo 2009, Rilievo 2006, Rilievo 2005
Torrente Fuglioni	729	16	Rilievo 2021
Modello 03 - SANTA BRIGIDA			
Corso d'acqua	Lunghezza tratto di studio [m]	N. sezioni	Provenienza dato topografico
Fosso del Risaio	292	17	Rilievo 2021
Modello 04 - MASSOLINA CARBONILE			
Corso d'acqua	Lunghezza tratto di studio [m]	N. sezioni	Provenienza dato topografico
Colatore 2 - Carbonile	917	35	Rilievo 2021
Colatore 1 - Carbonile	946	26	Rilievo 2021
Colatore 1 - Massolina	436	13	Rilievo 2021
Modello 05 - STENTATOIO			
Corso d'acqua	Lunghezza tratto di studio [m]	N. sezioni	Provenienza dato topografico
Torrente Macinaie	387	13	Rilievo 2005
Borro delle Fornaci	143	9	Rilievo 2021
Modello 06 - RUFINA MONTEBONELLO			
Corso d'acqua	Lunghezza tratto di studio [m]	N. sezioni	Provenienza dato topografico
Torrente Rufina	2373	60	Rilievo 2021
Torrente Argomena	1046	13	Rilievo 2020
Fosso di Falgano	488	33	Rilievo 2003
Modello 07 - SCOPETI			
Corso d'acqua	Lunghezza tratto di studio [m]	N. sezioni	Provenienza dato topografico
Colatore 1 - Scopeti	401	5	Rilievo 2021
Fosso di Casini	720	33	Rilievo 2021, Rilievo 2007
Affluente Fosso dei Casini	51	5	Rilievo 2021
Fosso del Pieve	730	29	Rilievo 2021, Rilievo 2007
Modello 08 - CASINI			
Corso d'acqua	Lunghezza tratto di studio [m]	N. sezioni	Provenienza dato topografico
Fosso di Bobi	118	9	Rilievo 2021
Modello 09 - CONTEA			
Corso d'acqua	Lunghezza tratto di studio [m]	N. sezioni	Provenienza dato topografico
Colatore 1 - Contea	264	8	Rilievo 2021
Fosso del Molinuzzo	371	15	Rilievo 2021
Modello 10 - MOSCIA			
Corso d'acqua	Lunghezza tratto di studio [m]	N. sezioni	Provenienza dato topografico
Torrente Moscia	3731	57	Rilievo 2021
Torrente Rincine	930	23	Rilievo 2021, Rilievo 2016
Fosso dell'Olmo	157	Modellazione 2D	

Modello 11 - RIMAGGIO			
Corso d'acqua	Lunghezza tratto di studio [m]	N. sezioni	Provenienza dato topografico
Colatore 1 - Rimaggio	135	21	Rilievo 2021
Modello 12 - POMINO			
Corso d'acqua	Lunghezza tratto di studio [m]	N. sezioni	Provenienza dato topografico
Fosso del Palagio	355	17	Rilievo 2021
Modello 13 - SAN BAVELLO			
Corso d'acqua	Lunghezza tratto di studio [m]	N. sezioni	Provenienza dato topografico
Torrente San Godenzo	1879	19	Rilievo 2021
Fosso di Corella	77	4	Rilievo 2021
Modello 14 - CASTAGNO			
Corso d'acqua	Lunghezza tratto di studio [m]	N. sezioni	Provenienza dato topografico
Fosso dell'Acquatorta	748	21	Rilievo 2021
Fosso dell'Acquatorta - Affluente	257	3	Rilievo 2021
Torrente Le Prata	434	14	Rilievo 2021
Modello 15 - COLATORI PONTASSIEVE			
Corso d'acqua	Lunghezza tratto di studio [m]	N. sezioni	Provenienza dato topografico
Colatore 3 - Pontassieve	401	Modellazione 2D	Rilievo 2021
Fosso Orselli	146	Modellazione 2D	Rilievo 2021
Colatore 1 - San Francesco	664	12	Rilievo 2021

Tabella 5.1 Caratterizzazione geometrica dei corsi d'acqua oggetto di studio

5.1 Condizioni Al Contorno

Come anticipato nel Capitolo 3, in accordo con l'autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, è stato implementato un **Modello idraulico sul F. Sieve da Bilancino a San Francesco – modello quasi 2D** finalizzato a fornire le condizioni al contorno sul reticolo secondario studiato e a stimare l'idrogramma di piena da inserire come sollecitazione in testa al tratto di Fiume Sieve oggetto di modellazione.

Per l'implementazione del suddetto modello è stato simulato il funzionamento dell'invaso di bilancino tramite la stima degli idrogrammi laminati dall'invaso secondo il Protocollo Operativo 2018 (Decreto_n.14777_del_20-09-2018) fornito dal Genio Civile.

Tali idrogrammi sono stati stimati ipotizzando come condizione iniziale una quota di invaso pari a 250 m s.l.m che è la quota del livello di invaso prevista dalla gestione statica nel periodo Ottobre-Gennaio.

5.2 Modello Idrologico Idraulico 01 - Arno

Il modello idrologico idraulico implementato è un modello accoppiato mono-bidimensionale che comprende i seguenti reticoli.

- Fiume Arno,
- Fiume Sieve,
- Torrente Vicano di Pelago,
- Borro delle Fogliacce,
- Borro del Pelacane,
- Borro della Ragnaia,
- Torrente Sieci

e si estende da monte del Comune di Pelago sul Fiume Sieve fino a poco più a valle della località le Sieci nel Comune di Pontassieve.

Nella Tavola *IDR_GEN_01-Inquadramento Generale* si riporta il reticolo idraulico preso a riferimento nelle verifiche idrauliche del Modello 01– Arno.

5.2.1 Caratterizzazione Dei Corsi D'acqua E Delle Aree Di Interesse

Per quanto riguarda la caratterizzazione geometrica e topografica dei reticoli (numero di sezioni, lunghezza del tratto analizzato e provenienza del dato topografico) si faccia riferimento alla Tabella 4.1 Codifiche dei bacini studiati idrologicamente. Tabella 5.1.

Per la modellazione dei territori limitrofi è stato costruito un modello digitale del terreno con i voli Lidar disponibili.

Nel modello la risoluzione generale della cella di calcolo della mesh è stata assegnata pari a 5 x 5 m su un areale di circa 5.34 km².

All'interno dell'area di modellazione bidimensionale sono state inserite delle connessioni idrauliche atte a simulare la presenza dei sottopassi presenti in corrispondenza della ferrovia e della SS67. Sono stati geometrizzati nel seguente modo:

- Il sottopasso sotto la ferrovia in sinistra idraulica del Fiume Sieve (rappresentato con il codice C_1.1 in *Tav. IDR_M01_01.1_Planimetria_Quadro_2*) è stato modellato tramite scatolare con altezza H = 3.50 m e larghezza L = 6.00 m.
- Il sottopasso sotto la SS67 in destra idraulica del Fiume Sieve (rappresentato con il codice C_1.2 in *Tav. IDR_M01_01.1_Planimetria_Quadro_2*) è stato modellato tramite scatolare con altezza H = 2.50 m e larghezza L = 2.00 m.
- Il sottopasso sotto la ferrovia in sinistra idraulica del Borro della Ragnaia (rappresentato con il codice C_1.5 in *Tav. IDR_M01_01.1_Planimetria_Quadro_3*) è stato modellato tramite scatolare con altezza H = 4.00 m e larghezza L = 10.00 m.
- Il sottopasso sotto la ferrovia in destra idraulica del Borro della Ragnaia (rappresentato con il codice C_1.3 in *Tav. IDR_M01_01.1_Planimetria_Quadro_3*) è stato modellato tramite scatolare con altezza H = 2.00 m e larghezza L = 3.00 m.
- Il sottopasso sotto la ferrovia in destra idraulica del Borro della Falle (rappresentato con il codice C_1.4 in *Tav. IDR_M01_01.1_Planimetria_Quadro_3*) è stato modellato tramite sezione semicircolare con raggio R= 1.5 m.
- Il sottopasso sotto la ferrovia su via Ellera (rappresentato con il codice C_1.6 in *Tav. IDR_M01_01.1_Planimetria_Quadro_3*) è stato modellato tramite sezione semicircolare con raggio R= 2.0 m.

I tratti dei corsi d'acqua oggetto di studio, le sezioni fluviali, il dominio dell'area 2D e le connessioni idrauliche sono riportati nelle *Tavole IDR_M01_01.1_Planimetria_Quadro_1, IDR_M01_01.1_Planimetria_Quadro_2, IDR_M01_01.1_Planimetria_Quadro_3*. In tali planimetrie sono rappresentate anche le condizioni al contorno implementate e descritte nel seguente paragrafo.

5.2.2 Condizioni Al Contorno E Parametri Del Modello Idraulico

Le condizioni al contorno del modello idraulico 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.

In Tabella 5.2 si riporta l'elenco degli input idrologici utilizzati nella modellistica idraulica.

La tabella riporta il corso d'acqua di riferimento, il tipo di immissione (CP contributi puntuali, CD i contributi distribuiti), la/e sezione/i sollecitate e la codifica del bacino che lo genera.

Come sollecitazione idrologica in testa al Fiume Arno sono stati applicati gli idrogrammi dei livelli e delle portate mutuati dal modello **Idraulico Valdarno Superiore** con input idrologici aggiornati e calcolati alla sezione di riferimento (RS 724) per ciascun evento oggetto di simulazione nello Scenario Globale, per gli eventi con Scenario Singolo Bacino è stata applicata una portata costante

(500 m³/s) che ha permesso la determinazione automatica delle condizioni di valle per ogni singolo corso d'acqua affluente dell'Arno, non inficiando la stabilità numerica complessiva.

Come sollecitazione idrologica in testa al Fiume Sieve sono stati applicati gli idrogrammi mutuati dal **Modello idraulico sul F. Sieve da Bilancino a San Francesco – modello quasi 2D** con input idrologici aggiornati.

Nell'analisi del Fiume Arno, oltre alla sollecitazione idrologica in testa, sono stati inseriti anche i contributi idrologici degli affluenti e degli interbacini. Si rimanda alla Tabella 4.1 dov'è riportato l'elenco e la codifica dei bacini studiati idrologicamente.

CORSO D'ACQUA	TIPO IMMISSIONE	DA SEZ.	A SEZ.	CODICE CONTRIBUTO IDROLOGICO
FIUME ARNO	CP	724	-	0000A
FIUME SIEVE	CP	00307__06	-	0000S
FIUME ARNO	CP	721	-	6800
FIUME ARNO	CP	718	-	6900
FIUME ARNO	CP	716	-	7000
FIUME ARNO	CP	713	-	7100
FIUME ARNO	CP	712	-	7200
FIUME ARNO	CP	707	-	7300
VICANO DI PELAGO	CP	00087__21	-	7400
FIUME ARNO	CP	698	-	7500
FIUME SIEVE	CP	00240__06	-	7600
FIUME ARNO	CP	687	-	7700
FIUME ARNO	CP	681	-	7800
FIUME ARNO	CP	680	-	7900
FOGLIACCE	CP	00098__21	-	8001
FIUME ARNO	CP	670	-	8002
PELACANE	CP	00105__17	-	8100
FIUME ARNO	CP	664	-	8151
RAGNAIA	CP	00098__16	-	8152
SIECI	CP	00077__08	-	8200
FIUME ARNO	CP	659	-	8250
FALLE	CP	00131__21	-	8300

Tabella 5.2 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M01-Arno

Gli idrogrammi completi sono riportati nell'allegato *IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica*.

Le condizioni di valle del reticolo del Fiume Arno sono state poste pari alla scala di deflusso ottenuta dal modello idraulico Arno Fiorentino in corrispondenza della sezione 653A, rappresentata nel grafico seguente in Figura 5.1.

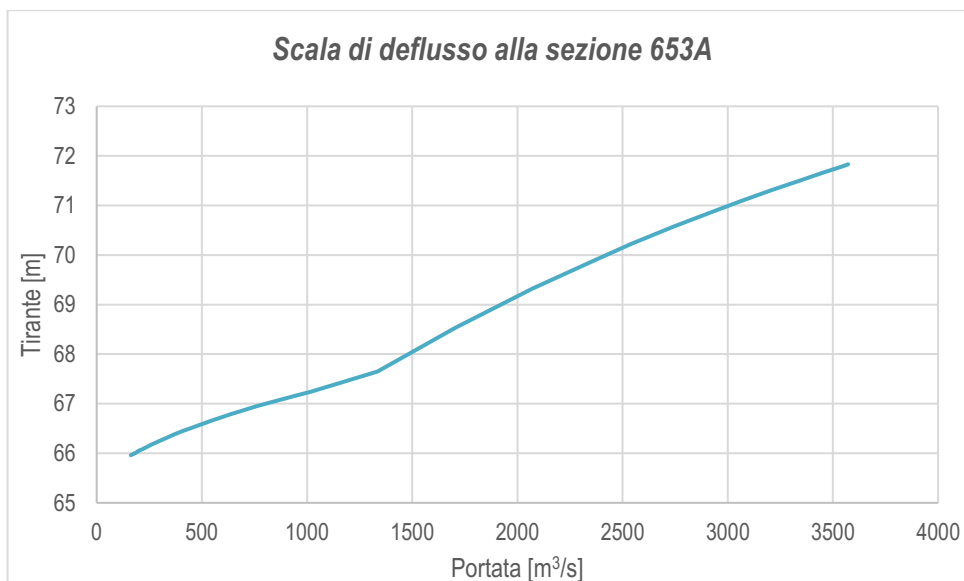


Figura 5.1 Scala di deflusso alla sezione 653A del Fiume Arno

I reticoli dei restanti corsi d'acqua oggetto di analisi si immettono nel Fiume Arno e non necessitano di ulteriori condizioni di valle.

In Tabella 5.3 sono riportate le suddette condizioni di valle:

CORSO D'ACQUA	SEZ.	TR [anni]	d [h]	SCENARIO	LIVELLO [m s.l.m.]	TIPO	PENDENZA
FIUME ARNO	653.2	30	1.00	S	-	SCALA DI DEFLUSSO	-
			3.00	S	-	SCALA DI DEFLUSSO	-
			6.00	S	-	SCALA DI DEFLUSSO	-
		200	9.00	S	-	SCALA DI DEFLUSSO	-
			12.00	S	-	SCALA DI DEFLUSSO	-
			24.00	S	-	SCALA DI DEFLUSSO	-
FIUME ARNO	653.2	30	9.00	G	-	SCALA DI DEFLUSSO	-
			12.00	G	-	SCALA DI DEFLUSSO	-
			18.00	G	-	SCALA DI DEFLUSSO	-
			24.00	G	-	SCALA DI DEFLUSSO	-
			36.00	G	-	SCALA DI DEFLUSSO	-
			9.00	G	-	SCALA DI DEFLUSSO	-
		200	12.00	G	-	SCALA DI DEFLUSSO	-
			18.00	G	-	SCALA DI DEFLUSSO	-
			24.00	G	-	SCALA DI DEFLUSSO	-
			36.00	G	-	SCALA DI DEFLUSSO	-

Tabella 5.3 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M01-Arno

Le condizioni al contorno applicate alle aree a modellazione bidimensionale dipendono dalla posizione del confine del dominio di calcolo. Sui bordi che si affacciano verso valle sono state poste condizioni di efflusso libero ("Free Flow") in moto uniforme, controllate dalla pendenza locale del terreno, pari a 0.001 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 ad ogni corso d'acqua, il coefficiente di scabrezza, secondo Manning, più appropriato.

In particolare, è stato scelto di adottare i seguenti coefficienti di Manning:

- pari a $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ nell'alveo inciso e $0.05 \text{ s/m}^{1/3}$ nelle aree golenali per il Fiume Arno,
- pari a $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ per il Fiume Sieve,
- pari a $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ per il Torrente Vicano di Pelago
- pari a $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ per il Borro delle Fogliacce,

- pari a $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ per il Borro del Pelacane,
- pari a $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ per il Borro della Ragnaia,
- pari a $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ per il Torrente Sieci,
- pari a $0.033 \text{ s/m}^{1/3}$ per il Borro delle Falle.

Per quanto riguarda la scabrezza delle aree limitrofe al corso d'acqua, simulate dal modello bidimensionale, si è scelto di adottare una scabrezza unica pari a $0.06 \text{ s/m}^{1/3}$.

In merito alle perdite di carico nelle strutture, i coefficienti utilizzati sono stati ricavati dalla letteratura disponibile. Tali valori, nel nostro caso, influenzano il modello in corrispondenza degli attraversamenti fluviali e nelle connessioni idrauliche (ad esempio sottoattraversamenti, ecc), che generano una brusca variazione di sezione. In particolare si è utilizzato un coefficiente di contrazione di 0.1 e un coefficiente di espansione di 0.3, tali valori sono standard nella modellazione delle perdite di carico.

5.2.3 Verifiche Idrauliche Implementate

Le verifiche idrauliche sono state svolte per gli eventi con TR 30 e 200 anni e durate di pioggia pari a 1-3-6 ore per gli scenari Singolo Bacino e 9-12-18-24-36 ore per lo Scenario Globale. Ciascuna asta del reticolo secondario è stata analizzata per lo scenario Singolo Bacino utilizzando il Kr calcolato sull'area bacino in modo da massimizzare gli effetti della singola asta/ singolo contributo idrologico, e per lo Scenario Globale utilizzando il Kr calcolato sul bacino del Fiume Arno in modo da massimizzare gli effetti dell'intero sistema fluviale in esame.

In ogni scenario Singolo Bacino sono stati assegnati gli idrogrammi effettivi alle aste del reticolo secondario (e al Fiume Sieve) e una portata morbida costante di $500 \text{ m}^3/\text{s}$ al Fiume Arno; in questo scenario i contributi puntuali sul reticolo principale, modellati idrologicamente ma non oggetto di studio, non sono stati inseriti nella simulazione.

Per analizzare gli eventi con Scenario Globale sono stati assegnati gli idrogrammi effettivi a ciascuna asta oggetto di modellazione in modo da massimizzare gli effetti dell'intero sistema fluviale associato, utilizzando il Kr calcolato sul bacino dell'Arno. Come anticipato, nello Scenario Globale gli input idrologici in testa all'asta dell'Arno derivano dal modello **Idraulico Valdarno Superiore**.

Il Fiume Sieve è stato modellato in entrambi gli scenari con sollecitazioni idrologiche in testa derivanti dal **Modello idraulico sul F. Sieve da Bilancino a San Francesco – modello quasi 2D**.

Gli idrogrammi completi sono riportati nell'allegato *IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica*.

5.2.4 Risultati

L'implementazione della modellistica idraulica di tipo analitico fornisce, per ciascuno degli eventi studiati, i valori di massimo livello e portata in alveo per ciascuna sezione dei corsi d'acqua analizzati, ed i battenti e velocità nelle aree soggette ad allagamento.

I risultati in forma grafica delle sezioni fluviali del modello idraulico con l'indicazione del livello massimo atteso per TR=30-200 anni (involuppo dei livelli per le varie durate di pioggia) sono riportati nell'elaborato *IDR_M01_02-Libretto* Per quanto riguarda le aree allagate, i risultati sono sintetizzati, in termini di battenti e velocità massime attese ricavate dall'involuppo di tutti gli eventi simulati, nelle seguenti tavole:

- Involuppo dei battenti idrometrici massimi nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
 - PSI_QC_C02_7_Battenti_TR30_Quadro_7
 - PSI_QC_C02_8_Battenti_TR30_Quadro_8
 - PSI_QC_C03_7_Battenti_TR2000_Quadro_7
 - PSI_QC_C03_8_Battenti_TR2000_Quadro_8
- Involuppo delle velocità massime nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
 - PSI_QC_C04_7_Velocità_TR30_Quadro_7
 - PSI_QC_C04_8_Velocità_TR30_Quadro_8
 - PSI_QC_C05_7_Velocità_TR200_Quadro_7

- PSI_QC_C05_8_Velocità_TR200_Quadro_8
- Inviluppo delle magnitudo nelle aree allagate per TR=200 anni:
 - PSI_QC_C06_7_Magnitudo_TR200_Quadro_7
 - PSI_QC_C06_8_Magnitudo_TR200_Quadro_8

Di seguito si riportano le principali criticità rilevate in termini di esondazioni e aree allagate.

Il Borro delle Falle presenta criticità puntuali in sinistra idraulica per portate con TR=200 e con TR=30 con superamento della quota di sponda, le aree allagate in sinistra interessano l'abitato della frazione delle **Falle** nel Comune di **Pontassieve** a monte della ferrovia, in destra occupano zone fuori dall'abitato e rimangono contenute in prossimità del corso d'acqua. In corrispondenza dell'attraversamento della ferrovia, il rilevato di quest'ultima viene sormontato e la portata si reimmette nel borro. Nel tratto tra la ferrovia e la SS67 hanno luogo fenomeni di esondazione localizzati dovuti al superamento delle quote di sponda per portate trentennali in sinistra idraulica e duecentennali in destra. Alla confluenza con l'Arno si ha esondazione sia in destra che in sinistra idraulica per eventi duecentennali e trentennali, con prevalenza per la sponda sinistra. La zona più critica è quella alla confluenza con il fiume Arno, fuori dalle aree abitate.

Per il Torrente Sieci si ha esondazione per sormonto dei contenimenti in sinistra a monte dell'attraversamento della ferrovia prossimo alla confluenza con l'Arno sia per TR30 che per TR200, in destra solo per portate duecentennali. A valle dell'attraversamento sia in sinistra che in destra già per portate trentennali si ha esondazione per effetto del rigurgito dell'Arno. La zona più critica si ha in destra idraulica subito a monte della confluenza in Arno.

Il Borro dello Stracchino presenta criticità a causa di contenimenti insufficienti per TR=30 e TR=200 a monte dell'attraversamento sulla strada secondaria che interseca Via dello Stracchino nella frazione **Sieci** nel Comune di **Pontassieve** sia in sinistra che in destra. Lo stesso attraversamento risulta inadeguato sia per portate con TR=30 che per portate con TR=200. A valle di tale attraversamento si hanno fenomeni di sormonto delle sponde in sinistra idraulica che danno luogo ad aree allagate abbastanza estese che non interessano però l'abitato, in destra il fosso risulta incassato e le aree allagate confinate in adiacenza al borro. Si registra insufficienza per portate trentennali e duecentennali anche per l'attraversamento su Via dello Stracchino poco più a valle, mentre il tratto tombato che attraversa la strada secondaria adiacente al fosso risulta inadeguato per portate con tempi di ritorno di duecento anni. In queste zone le portate sondate proseguono verso valle: in sinistra idraulica vengono arrestate dalla ferrovia in rilevato, in destra la corrente imbocca Via dei Mandorli e la strada secondaria con cui si congiunge proseguendo all'interno dell'abitato in direzione nord fino a Via F.lli Bandiera. In sinistra parte della corrente prosegue sulla strada secondaria adiacente al Borro (in sinistra idraulica) fino ad imboccare il sottopasso della ferrovia. A valle della ferrovia, in corrispondenza dell'abitato, la portata tracima dalla sede stradale e allaga una vasta area abitata compresa tra la ferrovia e Via Pietro Nenni. Nella zona tra il tratto tombato e la ferrovia (accanto alla Polisportiva sieci) si registrano esondazioni dovute a contenimenti insufficienti sia in destra che in sinistra per portate trentennali e duecentennali. A valle della ferrovia ha inizio un tratto tombato che si estende fino alla confluenza in Arno.

Il Fosso del Pelacane presenta criticità per portate trentennali e duecentennali nel tratto a monte dell'attraversamento con Via dello Stracchino in destra idraulica e lo stesso attraversamento risulta inadeguato già per portate con TR=30. Le aree esondate risultano circoscritte ad un'area adiacente al Fosso. Più a valle si registrano esondazioni dovute a contenimenti insufficienti in destra idraulica per portate trentennali e duecentennali, la portata esondata prosegue verso valle fino al rilevato ferroviario che la arresta. L'attraversamento in corrispondenza della strada secondaria parallela alla ferrovia risulta insufficiente per portate con TR200 provocando un rigurgito che causa l'esondazione a monte dello stesso sia in destra che in sinistra idraulica. Alla confluenza con il Fiume Arno si genera un rigurgito che viene risentito fino a 180 m circa dalla confluenza sia per portate con TR=30 che per portate con TR=200 in destra e sinistra idraulica. La zona più critica è quella alla confluenza con l'Arno.

Il Borro delle Fogliacce presenta criticità per portate trentennali in sinistra e duecentennali in destra nel tratto a monte della SS 67 dovute a leggeri sormonti dei contenimenti che danno luogo ad aree allagate limitate alla zona in adiacenza al corso d'acqua. Allo stesso modo si registrano criticità per insufficienza degli attraversamenti più a valle su strade secondarie traverse di Via dello Stracchino. La portata esondata in sinistra idraulica prosegue verso valle attraversando l'abitato ed imbocca la SS 67 seguendone il percorso, attraversa il sottopasso della ferrovia fino ad arrivare alla rotonda da cui si dirama la SP34. Questa zona industriale che si estende in sinistra idraulica è interessata da vaste zone allagate. L'attraversamento sulla SS67 a valle della ferrovia risulta insufficiente per portate con TR=200 e provoca esondazioni in sinistra idraulica che si vanno a sommare alle portate provenienti da monte.

Il Torrente Vicano è interessato da sormonti localizzati sia in destra che in sinistra idraulica per eventi con TR=30 e TR=200 nel tratto più prossimo all'abitato di Massolina che viene interessato da allagamenti. L'area edificata si trova in sinistra idraulica del Torrente, in destra la conformazione del territorio fa sì che il Torrente sia abbastanza incassato e che le aree allagate siano limitate alle zone in adiacenza al corso d'acqua. A valle della ferrovia in corrispondenza della confluenza con l'Arno il Torrente risente del rigurgito del Fiume e si registrano di conseguenza allagamenti nella zona golenale.

5.3 Modello Idrologico Idraulico 02 - Sieci

Il modello idrologico idraulico implementato è un modello accoppiato mono-bidimensionale che comprende i seguenti reticoli.

- Torrente Sieci,
- Fosso di Rimaggio
- Torrente Fuglioni,

e si estende nella frazione di Molin del Piano nel Comune di Pontassieve.

Il tratto di Torrente Sieci analizzato nel modello M02 si estende a partire dalla zona a nord dell'abitato di Molin del Piano fino alla briglia a valle dell'attraversamento con la SP84, mentre l'ambito di studio del Fosso di Rimaggio e del Torrente Fuglioni si sviluppa da monte dell'abitato di Molin del Piano fino alla confluenza con il Sieci all'interno dell'area abitata.

Nella Tavola *IDR_GEN_01-Inquadramento Generale* si riporta il reticolo idraulico preso a riferimento nelle verifiche idrauliche del Modello 02 – Sieci.

5.3.1 Caratterizzazione Dei Corsi D'acqua E Delle Aree Di Interesse

Per quanto riguarda la caratterizzazione geometrica e topografica dei reticoli (numero di sezioni, lunghezza del tratto analizzato e provenienza del dato topografico) si faccia riferimento alla Tabella 5.1.

Per la modellazione dei territori limitrofi è stato costruito un modello digitale del terreno con i voli Lidar disponibili integrati con le informazioni planoaltimetriche ricavate dalla Carta Tecnica Regionale con risoluzione 1:2000, da rilievo topografico di dettaglio disponibile risalente al 2005 e dalle informazioni relative alle quote di sponda delle sezioni rilevate, ove non presente la copertura Lidar.

Nel modello la risoluzione generale della cella di calcolo della mesh è stata assegnata pari a 5 x 5 m su un areale di circa 0.46 km².

I tratti dei corsi d'acqua oggetto di studio, le sezioni fluviali e il dominio dell'area 2D sono riportati in *Tavola IDR_M02_01-Planimetria*. In tale planimetria sono riportate anche le condizioni al contorno implementate e descritte nel seguente paragrafo.

5.3.2 Condizioni Al Contorno E Parametri Del Modello Idraulico

Le condizioni al contorno del modello idraulico 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.

In Tabella 5.4 si riporta l'elenco degli input idrologici utilizzati nella modellistica idraulica.

La tabella riporta il corso d'acqua di riferimento, il tipo di immissione (CP contributi puntuali, CD i contributi distribuiti), la/e sezione/i sollecitate e la codifica del bacino che lo genera.

Nell'analisi del Torrente Sieci, oltre alla sollecitazione idrologica in testa, è stato inserito anche il contributo idrologico dell'affluente Fosso del Risaio e degli interbacini. Si rimanda alla Tabella 4.1 dov'è riportato l'elenco e la codifica dei bacini studiati idrologicamente.

CORSO D'ACQUA	TIPO IMMISSIONE	DA SEZ.	A SEZ.	CODICE CONTRIBUTO IDROLOGICO
TORRENTE SIECI	CP	00446__21	-	8201
TORRENTE SIECI	CP	00425__21	-	8202
TORRENTE SIECI	CD	00410__21	00257__21	8203
TORRENTE SIECI	CD	00218__21	0092BB21	8206
FOSSO DI RIMAGGIO	CP	00129PB21	-	8204
TORRENTE FUGLIONI	CP	00073__21	-	8205

Tabella 5.4 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M02-Sieci

Gli idrogrammi completi sono riportati nell'allegato *IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica*.

Nel presente modello idraulico le condizioni di valle sono state definite per il reticolo del Torrente Sieci pari al battente massimo dell'idrogramma dei livelli ottenuto dalla modellazione del Torrente Sieci nel Modello M01-Arno in corrispondenza della sezione 00090__21. Tale livello è stato definito sia per gli eventi con tempo di ritorno di 30 anni che 200 anni e posto costante per tutta la durata della simulazione. I reticoli del Fosso di Rimaggio e del Torrente Fuglioni si immettono nel Torrente Sieci e non necessitano di ulteriori condizioni di valle.

In Tabella 5.5 sono riportate le suddette condizioni di valle.

CORSO D'ACQUA	SEZ.	TR [anni]	d [h]	SCENARIO	LIVELLO [m s.l.m.]	TIPO	PENDENZA
TORRENTE SIECI	00090__21	30	1.00	S	79.90	COSTANTE	-
			2.00	S	79.90	COSTANTE	-
			2.00	G	79.90	COSTANTE	-
			3.00	G	79.90	COSTANTE	-
		200	1.00	S	80.72	COSTANTE	-
			2.00	S	80.72	COSTANTE	-
			2.00	G	80.72	COSTANTE	-
			3.00	G	80.72	COSTANTE	-

Tabella 5.5 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M02-Sieci

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, è stato scelto di adottare un coefficiente di Manning pari a $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ per tutti e tre i reticoli.

Per quanto riguarda la scabrezza delle aree limitrofe al corso d'acqua, simulate dal modello bidimensionale, si è scelto di adottare una scabrezza unica pari a $0.06 \text{ s/m}^{1/3}$.

In merito alle perdite di carico nelle strutture, i coefficienti utilizzati sono stati ricavati dalla letteratura disponibile. Tali valori, nel nostro caso, influenzano il modello in corrispondenza degli attraversamenti fluviali e nelle connessioni idrauliche (ad esempio sottoattraversamenti, ecc), che

generano una brusca variazione di sezione. In particolare si è utilizzato un coefficiente di contrazione di 0.1 e un coefficiente di espansione di 0.3, tali valori sono standard nella modellazione delle perdite di carico.

5.3.3 Verifiche Idrauliche implementate

Le verifiche idrauliche sono state svolte per gli eventi con TR 30 e 200 anni e durate di pioggia pari a 1-2 ore per gli scenari Singolo Bacino e 2-3 ore per lo Scenario Globale. Per ciascun reticolo è stata implementata una simulazione con Scenario Singolo bacino per durate pari alla durata critica, con K_r calcolato sull'areale del singolo bacino in modo da massimizzare gli effetti della singola asta/singolo contributo idrologico. In ogni scenario Singolo Bacino sono stati assegnati gli effettivi idrogrammi al reticolo di cui si intende massimizzare i contributi e portate fittizie sufficientemente basse da non generare esondazioni alle altre aste fluviali presenti nel modello. La necessità di assegnare una portata fittizia diversa da zero è data dalla stabilità stessa della simulazione.

Per lo Scenario Globale sono stati assegnati gli idrogrammi effettivi a tutti i reticoli facenti parte del modello idraulico in modo da massimizzare gli effetti dell'intero sistema fluviale associato utilizzando un K_r calcolato sull'intera estensione dei bacini oggetto di studio.

Gli idrogrammi completi sono riportati nell'allegato *IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica*.

5.3.4 Risultati

L'implementazione della modellistica idraulica di tipo analitico fornisce, per ciascuno degli eventi studiati, i valori di massimo livello e portata in alveo per ciascuna sezione dei corsi d'acqua analizzati, ed i battenti e velocità nelle aree soggette ad allagamento.

I risultati in forma grafica delle sezioni fluviali del modello idraulico con l'indicazione del livello massimo atteso per TR=30-200 anni (involuppo dei livelli per le varie durate di pioggia) sono riportati nell'elaborato *IDR_M02_02-Libretto* Per quanto riguarda le aree allagate, i risultati sono sintetizzati, in termini di battenti e velocità massime attese ricavate dall'involuppo di tutti gli eventi simulati, nelle seguenti tavole:

- Involuppo dei battenti idrometrici massimi nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C02_5_Battenti_TR30_Quadro_7
PSI_QC_C03_5_Battenti_TR2000_Quadro_7
- Involuppo delle velocità massime nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C04_5_Velocità_TR30_Quadro_7
PSI_QC_C05_5_Velocità_TR200_Quadro_7
- Involuppo delle magnitudo nelle aree allagate per TR=200 anni:
PSI_QC_C06_5_Magnitudo_TR200_Quadro_7

Di seguito si riportano le principali criticità rilevate in termini di esondazioni e aree allagate.

I tre corsi d'acqua analizzati nel modello M02 attraversano l'abitato della frazione di Molino del Piano e confluiscono all'interno del territorio urbanizzato. In particolare il Fosso di Rimaggio e il Torrente Fuglioni scorrono all'interno dell'area abitata per buona parte del tratto studiato ed è in questa zona che si registrano la maggior parte delle criticità anche in relazione al fatto che buona parte delle opere presenti sulle tre aste fluviali si trovano nella suddetta area.

Si hanno esondazioni alla confluenza tra il Torrente Sieci e il Fosso di Rimaggio sia per portate trentennali che duecentennali; sul Torrente Sieci si ha sormonto dei contenimenti idraulici in sinistra idraulica per circa 50 m mentre sul Fossi di Rimaggio si registrano criticità per insufficienza del ponte subito a monte della confluenza per circa 10 m, con esondazioni in sinistra idraulica. A monte della confluenza, sul Sieci, per eventi con TR 30 anni, si registrano criticità con esondazione per una lunghezza di poco più di 400 m circa in corrispondenza dell'area industriale presente lungo la SP 84 a monte di Molino del Piano. Per TR=200 anni si ha il superamento dei contenimenti per una lunghezza maggiore che inizia circa 25 m a monte dell'area industriale. Si ha poi una seconda piccola esondazione, sempre in sinistra, maggiormente ridotta rispetto alla precedente e confinata in una piccola superficie adiacente al corso d'acqua a valle del ponte e della briglia (in corrispondenza della

Tecnoware Italian Power Systems). Sempre a monte della confluenza, sul Rimaggio, si ha il superamento dei contenimenti nel tratto (circa 55 m) tra il ponte che collega via XXV Aprile con via Rimaggio (all'altezza della BCC Pontassieve) e il ponte successivo pedonale per eventi trentennali in destra idraulica. Solo per eventi duecentennali si ha esondazione in destra nel tratto compreso tra il ponte pedonale e il ponte di via Fratelli Carli (in corrispondenza della Scuola elementare Statale). Complessivamente le aree allagate interessano l'abitato compreso tra il reticolo del Fosso di Rimaggio e del Torrente Sieci e in sinistra idraulica del Rimaggio

Proseguendo verso valle il tratto del Torrente Sieci compreso tra le due confluenze presenta criticità per TR 200 anni a causa del superamento dei contenimenti idraulici in sinistra idraulica nei pressi della confluenza con il Torrente Fuglioni per una lunghezza di circa 100 m.

Sul Torrente Fuglioni, per eventi con TR=30 anni, si ha esondazione in destra a monte della prima briglia (prima opera del Torrente Fuglioni del tratto di studio) e a monte dei due ponti che collegano il parcheggio di via del Torrente con il campo sportivo. Entrambi i ponti risultano insufficienti al passaggio della corrente. Per eventi duecentennali sia ha in aggiunta il superamento dei confinamenti in destra a monte del ponte che unisce via Fratelli Carli con via Molino del Piano e via di Valiano per insufficienza del ponte. In destra, per eventi trentennali (durata 2 ore che è la critica) e per gli eventi duecentennali si ha il superamento dei contenimenti compresi tra i due ponti pedonali a valle e quello compreso tra il secondo ponte pedonale e la confluenza. Entrambe le aree allagate in destra e in sinistra interessano l'abitato. In questa zona l'interazione tra le dinamiche di allagamento delle tre aste (in sinistra al Rimaggio, in destra al Fuglioni e in sinistra al Sieci) genera una vasta area allagata all'interno del perimetro urbanizzato.

Il tratto a valle della confluenza con il Fuglioni presenta un'esondazione generalizzata sia per TR=30 che per TR=200 anni fino alla briglia a monte della confluenza con il Borro di Monteloro e solo per eventi duecentennali fino alla briglia subito successiva. La vasta area allagata che si crea interessa la parte terminale dell'abitato di Molino del Piano e il campo sportivo. In destra, invece, per scenari di evento trentennali e duecentennali si ha una generale esondazione in tutto il tratto compreso tra la confluenza con il Torrente Fuglioni e a valle con il ponte di Via Molino del Piano sul Torrente Sieci.

5.4 Modello Idrologico Idraulico 03 – Santa Brigida

Il presente modello idrologico idraulico è un modello monidimensionale costituito da un unico corso d'acqua, il Fosso del Risaio e si estende nella località di Santa Brigida nel Comune di Pontassieve. Il tratto di Fosso studiato, che si trova a valle della confluenza tra il Fosso del Risaio e il Borro Della Selva, risulta essere molto incassato per tutta la lunghezza dell'ambito di indagine e non presenta quindi fenomeni di esondazione.

Nella Tavola *IDR_GEN_01-Inquadramento Generale* si riporta il reticolo idraulico preso a riferimento nelle verifiche idrauliche del Modello 03 – Santa Brigida.

5.4.1 Caratterizzazione Dei Corsi D'acqua E Delle Aree Di Interesse

Per quanto riguarda la caratterizzazione geometrica e topografica dei reticoli (numero di sezioni, lunghezza del tratto analizzato e provenienza del dato topografico) si faccia riferimento alla Tabella 5.1.

Per rappresentare i territori limitrofi è stato costruito un modello digitale del terreno con i voli Lidar disponibili, integrati con le informazioni planoaltimetriche ricavate dalla Carta Tecnica Regionale con risoluzione 1:2000 ove non presente la copertura Lidar.

Come anticipato nel paragrafo precedente, il Fosso del Risaio non presenta fenomeni esondativi per eventi con tempo di ritorno pari a 30 e a 200 anni poiché la conformazione dell'alveo, che si presenta incassato, fa sì che l'onda di piena non sormonti i contenimenti idraulici per l'intero tratto di studio. Considerato quanto detto, il presente modello idraulico è stato implementato per la sola modellazione monodimensionale, atta a simulare la propagazione dell'onda di piena in alveo, in

assenza di aree inondabili nei territori circostanti. Pertanto l'area di calcolo per la modellazione bidimensionale non è stata implementata.

Il tratto di corso d'acqua oggetto di studio, le sezioni fluviali e le opere dell'arte implementate sono riportati nella *Tavola IDR_M03_01-Planimetria*. In tale planimetria sono rappresentate anche le condizioni al contorno implementate e descritte nel seguente paragrafo.

5.4.2 Condizioni Al Contorno E Parametri Del Modello Idraulico

Le condizioni al contorno del modello idraulico sono rappresentate da:

- Sollecitazioni idrologiche in testa al tratto simulato idraulicamente;
- Condizioni al contorno di valle.

In Tabella 5.6 si riporta l'elenco degli input idrologici utilizzati nella modellistica idraulica.

La tabella riporta il corso d'acqua di riferimento, il tipo di immissione (CP contributo puntuale, in questo caso sollecitazione idrologica in testa), la/e sezione/i sollecitate e la codifica del bacino che lo genera. Si rimanda alla Tabella 4.1 dov'è riportato l'elenco e la codifica dei bacini studiati idrologicamente.

CORSO D'ACQUA	TIPO IMMISSIONE	DA SEZ.	A SEZ.	CODICE CONTRIBUTO IDROLOGICO
FOSSO DEL RISAIO	CP	00361BB21	-	8202M

Tabella 5.6 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M03-Santa Brigida

Gli idrogrammi completi sono riportati nell'allegato *IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica*.

Come condizione di valle è stata posta una pendenza di moto uniforme pari al 1% alla sezione 000332__21 come riportato in Tabella 5.7.

CORSO D'ACQUA	SEZ.	TR [anni]	d [h]	SCENARIO	LIVELLO [m s.l.m.]	TIPO	PENDENZA
FOSSO DEL RISAIO	000332__21	30	2	S	-	-	0.01
			3	S	-	-	0.01
	200	2	S	-	-	0.01	
		3	S	-	-	0.01	

Tabella 5.7 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M03-Santa Brigida

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, è stato scelto di adottare un coefficiente di Manning pari a $0.1 \text{ s/m}^{1/3}$.

In merito alle perdite di carico nelle strutture, i coefficienti utilizzati sono stati ricavati dalla letteratura disponibile. Tali valori, nel nostro caso, influenzano il modello in corrispondenza degli attraversamenti fluviali e nelle connessioni idrauliche (ad esempio sottoattraversamenti, ecc), che generano una brusca variazione di sezione. In particolare si è utilizzato un coefficiente di contrazione di 0.1 e un coefficiente di espansione di 0.3, tali valori sono standard nella modellazione delle perdite di carico.

5.4.3 Verifiche Idrauliche implementate

Le verifiche idrauliche sono state svolte per gli eventi con TR 30 e 200 anni e durate di pioggia pari a 2-3 ore per lo scenario Singolo Bacino con Kr calcolato sull'area del singolo bacino. Gli idrogrammi completi sono riportati nell'allegato *IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica*.

5.4.4 Risultati

L'implementazione della modellistica idraulica di tipo analitico fornisce, per ciascuno degli eventi studiati, i valori di massimo livello e portata in alveo per ciascuna sezione dei corsi d'acqua analizzati, ed i battenti e velocità nelle aree soggette ad allagamento.

I risultati in forma grafica delle sezioni fluviali del modello idraulico con l'indicazione del livello massimo atteso per TR=30-200 anni (iniluppo dei livelli per le varie durate di pioggia) sono riportati nell'elaborato *IDR_M03_02-Libretto*. Per quanto riguarda le aree allagate, i risultati sono sintetizzati, in termini di battenti e velocità massime attese ricavate dall'iniluppo di tutti gli eventi simulati, nelle seguenti tavole:

- Iniluppo dei battenti idrometrici massimi nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C02_4_Battenti_TR30_Quadro_4
PSI_QC_C03_4_Battenti_TR200_Quadro_4
- Iniluppo delle velocità massime nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C04_4_Velocità_TR30_Quadro_4
PSI_QC_C05_4_Velocità_TR200_Quadro_4
- Iniluppo delle magnitudo nelle aree allagate per TR=200 anni:
PSI_QC_C06_4_Magnitudo_TR200_Quadro_4

Di seguito si riportano le principali criticità rilevate in termini di esondazioni e aree allagate.

Il tratto di Fosso del Risaio analizzato si trova a valle della confluenza con il Borro Della Selva. Lungo il tratto in esame il Fosso del Risaio risulta essere incassato sia in destra che in sinistra idraulica, questo fa sì che non si registrino criticità né per portate trentennali né per portate duecentennali.

5.5 Modello Idrologico Idraulico 04 – Massolina Carbonile

Il presente modello idrologico idraulico implementato è un modello accoppiato mono-bidimensionale che comprende i seguenti reticoli:

- Colatore 2 – Carbonile
- Colatore 1 – Carbonile
- Colatore 1 – Massolina

e si estende nei territori delle frazioni di Massolina e Carbonile nel Comune di Pelago.

L'ambito di analisi delle aste fluviali si sviluppa in destra idraulica del Fiume Arno, da fuori gli abitati delle suddette frazioni fino alla confluenza in Arno.

Nella Tavola *IDR_GEN_01-Inquadramento Generale* si riporta il reticolo idraulico preso a riferimento nelle verifiche idrauliche del Modello 04 – Massolina-Carbonile

5.5.1 Caratterizzazione Dei Corsi D'acqua E Delle Aree Di Interesse

Per quanto riguarda la caratterizzazione geometrica e topografica dei reticoli (numero di sezioni, lunghezza del tratto analizzato e provenienza del dato topografico) si faccia riferimento alla Tabella 4.1.

Per la modellazione dei territori limitrofi è stato costruito un modello digitale del terreno dai voli Lidar disponibili.

Nel modello la risoluzione generale della cella di calcolo della mesh è stata assegnata pari a 3 x 3 m su un areale di circa 0.49 km².

All'interno dell'area di modellazione bidimensionale sono state inserite delle connessioni idrauliche atte a simulare la presenza dei due sottopassi presenti in corrispondenza della ferrovia.

Entrambi i passaggi sono stati caratterizzati geometricamente tramite sopralluogo, e modellati con uno scatolare con le seguenti dimensioni:

- Altezza H = 3.00 m, larghezza L = 2.50 m per il sottopassaggio di Via Massolina (rappresentato con il codice C_4.1 in *Tav. IDR_M04_01-Planimetria*)
- Altezza H = 3.00 m, larghezza L = 3.00 m per il sottopassaggio sulla strada podereale nella fraz. Carbonile (rappresentato con il codice C_4.2 in *Tav. IDR_M04_01-Planimetria*)

I tratti dei corsi d'acqua oggetto di studio, le sezioni fluviali, il dominio dell'area 2D e le connessioni idrauliche sono riportati nella *Tavola IDR_M04_01-Planimetria*. In tale planimetria sono riportate anche le condizioni al contorno implementate e descritte nel seguente paragrafo.

5.5.2 Condizioni Al Contorno E Parametri Del Modello Idraulico

Le condizioni al contorno del modello idraulico sono rappresentate da:

- Sollecitazioni idrologiche in testa ad ogni tratto simulato idraulicamente;
- Condizioni al contorno di valle.

In Tabella 5.8 si riporta l'elenco degli input idrologici utilizzati nella modellistica idraulica.

La tabella riporta il corso d'acqua di riferimento, il tipo di immissione (CP contributi puntuali, in questo caso sollecitazioni idrologiche in testa), la/e sezione/i sollecitate e la codifica del bacino che lo genera. Si rimanda alla Tabella 4.1 dov'è riportato l'elenco e la codifica dei bacini studiati idrologicamente.

CORSO D'ACQUA	TIPO IMMISSIONE	DA SEZ.	A SEZ.	CODICE CONTRIBUTO IDROLOGICO
COLATORE 2 - CARBONILE	CP	00446__21	-	8201
COLATORE 1 - CARBONILE	CP	00425__21	-	8202
COLATORE 1 - MASSOLINA	CP	00410__21	-	8203

Tabella 5.8 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M04-Massolina carbonile

Gli idrogrammi completi sono riportati nell'allegato *IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica*.

Come condizione di valle è stata posta una pendenza di moto uniforme del'1% per ognuno dei tre reticoli oggetto di modellazione, poiché i livelli in alveo del Fiume Arno sono risultati essere troppo bassi in corrispondenza delle sezioni più prossime alla confluenza a causa di una disconnessione idraulica tra i colatori e il corso d'acqua recettore dovuta a quote di fondo alveo molto diverse.

In Tabella 5.9 sono riportate le suddette condizioni di valle.

CORSO D'ACQUA	SEZ.	TR [anni]	d [h]	SCENARIO	LIVELLO [m s.l.m.]	TIPO	PENDENZA
COLATORE 2 - CARBONILE	00004__21	30	0.50	S	-	-	0.01
			1.00	S	-	-	0.01
		200	0.50	S	-	-	0.01
			1.00	S	-	-	0.01
COLATORE 1 - CARBONILE	00010__21	30	0.50	S	-	-	0.01
			1.00	S	-	-	0.01
		200	0.50	S	-	-	0.01
			1.00	S	-	-	0.01
COLATORE 1 - MASSOLINA	00003__21	30	0.50	S	-	-	0.01
			1.00	S	-	-	0.01
		200	0.50	S	-	-	0.01
			1.00	S	-	-	0.01

Tabella 5.9 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M04-Massolina Carbonile

Le condizioni al contorno applicate alle aree a modellazione bidimensionale dipendono dalla posizione del confine del dominio di calcolo. Sui bordi che si affacciano sulle sponde del Fiume Arno sono state poste condizioni di efflusso libero ("Free Flow") in moto uniforme, controllate dalla pendenza locale del terreno, pari a 0.001 m/m; considerate le durate delle simulazioni si è assunto

che il Fiume Arno sia in grado di accogliere la portata in uscita da tali aree a modellazione bidimensionale.

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, è stato scelto di adottare un coefficiente di Manning pari a $0.065 \text{ s/m}^{1/3}$ per il Colatore 2 – Carbonile, $0.06 \text{ s/m}^{1/3}$ per il Colatore 1 – Carbonile e $0.05 \text{ s/m}^{1/3}$ Colatore 1 – Massolina.

Per quanto riguarda la scabrezza delle aree limitrofe al corso d'acqua, simulate dal modello bidimensionale, si è scelto di adottare una scabrezza unica pari a $0.06 \text{ s/m}^{1/3}$.

In merito alle perdite di carico nelle strutture, i coefficienti utilizzati sono stati ricavati dalla letteratura disponibile. Tali valori, nel nostro caso, influenzano il modello in corrispondenza degli attraversamenti fluviali e nelle connessioni idrauliche (ad esempio sottoattraversamenti, ecc), che generano una brusca variazione di sezione. In particolare si è utilizzato un coefficiente di contrazione di 0.1 e un coefficiente di espansione di 0.3, tali valori sono standard nella modellazione delle perdite di carico.

5.5.3 Verifiche Idrauliche implementate

Le verifiche idrauliche sono state svolte per gli eventi con TR 30 e 200 anni e durate di pioggia pari a 0.5-1 ore per lo scenario Singolo Bacino in modo da massimizzare gli effetti della singola asta/ singolo contributo idrologico utilizzando il Kr calcolato sull'area del singolo bacino. Gli idrogrammi completi sono riportati nell'allegato *IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica*.

5.5.4 Risultati

L'implementazione della modellistica idraulica di tipo analitico fornisce, per ciascuno degli eventi studiati, i valori di massimo livello e portata in alveo per ciascuna sezione dei corsi d'acqua analizzati, ed i battenti e velocità nelle aree soggette ad allagamento.

I risultati in forma grafica delle sezioni fluviali del modello idraulico con l'indicazione del livello massimo atteso per TR=30-200 anni (involuppo dei livelli per le varie durate di pioggia) sono riportati nell'elaborato *IDR_M04_02-Libretto* Per quanto riguarda le aree allagate, i risultati sono sintetizzati, in termini di battenti e velocità massime attese ricavate dall'involuppo di tutti gli eventi simulati, nelle seguenti tavole:

- Inviluppo dei battenti idrometrici massimi nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C02_5_Battenti_TR30_Quadro_5
PSI_QC_C03_5_Battenti_TR2000_Quadro_5
- Inviluppo delle velocità massime nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C04_5_Velocità_TR30_Quadro_5
PSI_QC_C05_5_Velocità_TR200_Quadro_5
- Inviluppo delle magnitudo nelle aree allagate per TR=200 anni:
PSI_QC_C06_5_Magnitudo_TR200_Quadro_5

Di seguito si riportano le principali criticità rilevate in termini di esondazioni e aree allagate.

Il Colatore1 – Massolina presenta un lungo tratto tombato che attraversa un'area industriale della frazione di Massolina ed uno nella zona di valle che va dalla ferrovia fino alla confluenza in Arno. Le principali criticità si registrano in corrispondenza delle suddette opere. Il tombamento nella parte alta del reticolo, che ha sezione di uscita subito a monte della SR 69, risulta insufficiente allo smaltimento di portate trentennali e duecentennali. La portata esonda in destra idraulica in corrispondenza dell'imbocco, a monte di un'area industriale, e procede verso valle interessando l'area edificata della frazione di **Massolina**. La ferrovia a valle dell'area industriale, essendo in rilevato, impedisce alla portata di immettersi in Arno fatta eccezione per l'attraversamento in destra idraulica prossimo al

colatore che è interessato dalla corrente. Il Colatore esonda per entrambi i tempi di ritorno sia in destra che in sinistra idraulica subito a monte dell'ingresso del secondo tratto tombato, a valle della ferrovia e dell'abitato. La portata che esonda a causa del rigurgito dovuto alla sezione insufficiente si propaga verso valle e si immette in Arno. Il Colatore 1 – Carbonile presenta un lungo tratto tombato che attraversa l'abitato della frazione di Carbonile in corrispondenza del quale si registrano criticità per portate trentennali e duecentennali a causa della sezione insufficiente allo smaltimento della portata. La portata esonda sia in destra che in sinistra idraulica subito a monte dell'imbocco al tombamento che si trova circa cento metri a monte dell'abitato della frazione di **Carbonile**. La portata esondata si muove verso valle interessando l'area edificata e in destra idraulica imbocca la SR 69, che ha pendenza in direzione nord, proseguendo lungo il tragitto della regionale fino circa alla prima curva. In prossimità dell'uscita del tratto tombato la portata proveniente da monte, sempre in destra idraulica, tracima la regionale e prosegue verso valle limitatamente ad un'area circoscritta all'intorno del colatore. L'intero tratto tombato attraversa l'area edificata e termina a monte della SR69 al di fuori dell'abitato. A valle della SR69 si ha esondazione sia in destra che in sinistra idraulica per portate trentennali e duecentennali a causa di un breve tratto tombato che risulta inadeguato allo smaltimento della portata. Nel tratto tra la SR69 e la ferrovia si hanno fenomeni di esondazione puntuale sia in destra che in sinistra idraulica per portate trentennali e duecentennali dovuti a contenimenti idraulici insufficienti che danno luogo ad aree allagate limitate all'intorno del colatore. La ferrovia in rilevato impedisce alla portata esondata di proseguire verso valle fatta eccezione per il sottopasso in destra idraulica prossimo al tombamento che viene interessato dal flusso. Sia nel primo tratto a monte che nell'ultimo a valle sono presenti fenomeni di sormonto diffusi dovuti a contenimenti bassi, e subito a valle della ferrovia si registra una criticità per portate duecentennali dovuta a inefficienza dell'attraversamento sulla strada parallela alla ferrovia.

Il Colatore 2 – Carbonile presenta anch'esso un tratto tombato che attraversa l'abitato di Carbonile ed uno più a valle a monte della ferrovia, oltre a tre sottoattraversamenti, di cui uno in corrispondenza della ferrovia, e ad un attraversamento sulla Regionale 69. Le criticità maggiori si registrano a causa della presenza delle numerose opere che risultano insufficienti allo smaltimento delle portate. In destra idraulica si rilevano limitate zone allagate a monte dell'area abitata a causa dei contenimenti insufficienti nella parte alta del colatore. Il tombamento a monte della SR69 si trova in corrispondenza dell'abitato e presenta una sezione di ingresso insufficiente allo smaltimento delle portate trentennali e duecentennali che esondano sia in destra che in sinistra idraulica in corrispondenza dell'imbocco. Le aree allagate in questa zona risultano molto contenute. In sinistra e destra idraulica si ha sormonto diffuso per duecentennali e trentennali a causa di contenimenti bassi nel tratto tra l'uscita del tombato e l'attraversamento della SR69 (circa 500 m a monte della SR69) e per la presenza di un breve tratto tombato a monte della strada regionale che risulta insufficiente, sempre in corrispondenza dell'abitato. A valle dell'abitato si ha sormonto diffuso in sinistra idraulica per portate con $TR=30$ e $TR=200$ dovuto a contenimenti bassi, in destra i contenimenti sono sufficienti tranne localmente a circa 40 m a valle della già citata regionale ma il tratto tombato a monte della ferrovia e il sottoattraversamento della ferrovia hanno sezione insufficiente. Le aree allagate hanno estensione ridotta e sono prevalentemente confinate dal rilevato della ferrovia che viene localmente tracimata dalla portata sia in corrispondenza dell'intersezione con il Colatore 2 che più a nord verso il Colatore 1. In questa zona la portata esondata e trattenuta dalla ferrovia si muove in adiacenza al rilevato verso il Colatore 1. Nell'area tra la ferrovia e la confluenza in Arno si registrano esondazioni puntuali, prevalentemente in destra idraulica (da circa 60 m a monte della confluenza), per portate duecentennali e trentennali per contenimenti idraulici insufficienti. La portata che esonda in quest'area unitamente a quella proveniente dalla zona a monte della ferrovia si immette in Arno.

5.6 Modello Idrologico Idraulico 05 - Stentatoio

Il presente modello idrologico idraulico implementato è un modello accoppiato mono-bidimensionale che comprende i seguenti reticoli.

- Torrente Macinaie,
- Borro delle Fornaci

e si estende nella frazione di Stentatoio nel Comune di Pelago.

L'ambito di studio dei reticoli oggetto di modellazione idraulica si estende nell'area abitata della suddetta frazione fino alla confluenza col Fiume Sieve attraversando due aree industriali di Stentatoio, una a nord, più estesa, dove transita il Torrente Macinaie e l'altra compresa tra la ferrovia e la Strada Statale SS67 in adiacenza al Borro delle Fornaci.

Nella Tavola *IDR_GEN_01-Inquadramento Generale* si riporta il reticolo idraulico preso a riferimento nelle verifiche idrauliche del Modello 05 – Stentatoio.

5.6.1 Caratterizzazione Dei Corsi D'acqua E Delle Aree Di Interesse

Per quanto riguarda la caratterizzazione geometrica e topografica dei reticoli (numero di sezioni, lunghezza del tratto analizzato e provenienza del dato topografico) si faccia riferimento alla Tabella 5.1.

Per la modellazione dei territori limitrofi è stato costruito un modello digitale del terreno ricavato dai voli Lidar disponibili.

L'area di calcolo per la modellazione delle aree allagabili è stata implementata solo in destra idraulica al Torrente Macinaie in quanto il Borro delle Fornaci non risulta soggetto ad esondazioni, in particolare la risoluzione generale della cella di calcolo della mesh è stata assegnata pari a 1 x 1 m su un areale di circa 0.03 km². In assenza di fenomeni esondativi, e quindi di aree inondabili, il Borro delle Fornaci è stato modellato esclusivamente tramite modellazione monodimensionale per la determinazione della propagazione dell'onda di piena, i cui livelli risultano contenuti in alveo lungo l'intera lunghezza dell'asta in esame.

I tratti dei corsi d'acqua oggetto di studio, le sezioni fluviali e il dominio dell'area 2D sono riportati nella *Tavola IDR_M05_01-Planimetria*. In tale planimetria sono riportate anche le condizioni al contorno implementate e descritte nel seguente paragrafo.

5.6.2 Condizioni Al Contorno E Parametri Del Modello Idraulico

Le condizioni al contorno del modello idraulico sono rappresentate da:

- Sollecitazioni idrologiche in testa ad ogni tratto simulato idraulicamente;
- Condizioni al contorno di valle.

In Tabella 5.10 si riporta l'elenco degli input idrologici utilizzati nella modellistica idraulica.

La tabella riporta il corso d'acqua di riferimento, il tipo di immissione (CP contributi puntuali, in questo caso sollecitazioni idrologiche in testa), la/e sezione/i sollecitate e la codifica del bacino che lo genera. Si rimanda alla Tabella 4.1 dov'è riportato l'elenco e la codifica dei bacini studiati idrologicamente.

CORSO D'ACQUA	TIPO IMMISSIONE	DA SEZ.	A SEZ.	CODICE CONTRIBUTO IDROLOGICO
TORRENTE MACINAIE	CP	00090__08	-	7698
BORRO DELLE FORNACI	CP	00014__21	-	7602

Tabella 5.10 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M05-Stentatoio

Gli idrogrammi completi sono riportati nell'allegato *IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica..*

Nel presente modello idraulico le condizioni di valle sono state poste pari al battente massimo dell'idrogramma dei livelli ottenuto dalla modellazione del Fiume Sieve nel **Modello idraulico sul F. Sieve da Bilancino a San Francesco – modello quasi 2D** sviluppato a partire dal modello dell'Autorità di Bacino Distrettuale in corrispondenza delle sezioni più prossime alla confluenza con i due reticoli (RS 43 per il Torrente Macinaie e RS 40 per il Borro delle Fornaci). Tale livello è stato definito per tutti gli eventi simulati e posto costante per tutta la durata della simulazione. In Tabella 5.11 sono riportate le suddette condizioni di valle.

CORSO D'ACQUA	SEZ.	TR [anni]	d [h]	SCENARIO	LIVELLO [m s.l.m.]	TIPO	PENDENZA
TORRENTE MACINAIE	00010__05	30	0.5	S	93.50	COSTANTE	-
			1.00	S	93.50	COSTANTE	-
			2.00	S	93.93	COSTANTE	-
		200	0.50	S	93.77	COSTANTE	-
			1.00	S	93.77	COSTANTE	-
			2.00	S	94.63	COSTANTE	-
BORRO DELLE FORNACI	00004PC21	30	0.50	S	91.20	COSTANTE	-
			1.00	S	91.66	COSTANTE	-
			2.00	S	92.99	COSTANTE	-
		200	0.50	S	91.20	COSTANTE	-
			1.00	S	92.81	COSTANTE	-
			2.00	S	93.77	COSTANTE	-

Tabella 5.11 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M05-Stentatoio

Le condizioni al contorno applicate alle aree a modellazione bidimensionale dipendono dalla posizione del confine del dominio di calcolo. Sui bordi che si affacciano sulle sponde del Fiume Sieve sono state poste condizioni di efflusso libero ("Free Flow") in moto uniforme, controllate dalla pendenza locale del terreno, pari a 0.001 m/m; considerate le durate delle simulazioni si è assunto che il Fiume Sieve sia in grado di accogliere la portata in uscita da tali aree a modellazione bidimensionale.

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, è stato scelto di adottare un coefficiente di Manning pari a $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ per entrambi i reticoli.

Per quanto riguarda la scabrezza delle aree limitrofe al corso d'acqua, simulate dal modello bidimensionale, si è scelto di adottare una scabrezza unica pari a $0.06 \text{ s/m}^{1/3}$.

In merito alle perdite di carico nelle strutture, i coefficienti utilizzati sono stati ricavati dalla letteratura disponibile. Tali valori, nel nostro caso, influenzano il modello in corrispondenza degli attraversamenti fluviali e nelle connessioni idrauliche (ad esempio sottoattraversamenti, ecc), che generano una brusca variazione di sezione. In particolare si è utilizzato un coefficiente di contrazione di 0.1 e un coefficiente di espansione di 0.3, tali valori sono standard nella modellazione delle perdite di carico.

5.6.3 Verifiche Idrauliche Implementate

Le verifiche idrauliche sono state svolte per gli eventi con TR 30 e 200 anni e durate di pioggia pari a 0.5-1-2 ore per gli scenari Singolo Bacino utilizzando il Kr calcolato sull'area del singolo bacino in modo da massimizzare gli effetti della singola asta/ singolo contributo idrologico. Gli idrogrammi completi sono riportati nell'allegato *IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica*.

5.6.4 Risultati

L'implementazione della modellistica idraulica di tipo analitico fornisce, per ciascuno degli eventi studiati, i valori di massimo livello e portata in alveo per ciascuna sezione dei corsi d'acqua analizzati, ed i battenti e velocità nelle aree soggette ad allagamento.

I risultati in forma grafica delle sezioni fluviali del modello idraulico con l'indicazione del livello massimo atteso per TR=30-200 anni (involuppo dei livelli per le varie durate di pioggia) sono riportati nell'elaborato *IDR_M05_02-Libretto* Per quanto riguarda le aree allagate, i risultati sono sintetizzati, in termini di battenti e velocità massime attese ricavate dall'involuppo di tutti gli eventi simulati, nelle seguenti tavole:

- Involuppo dei battenti idrometrici massimi nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C02_8_Battenti_TR30_Quadro_8

PSI_QC_C03_8_Battenti_TR2000_Quadro_8

- Inviluppo delle velocità massime nelle aree allagate per TR=30-200 anni:

PSI_QC_C04_8_Velocità_TR30_Quadro_8

PSI_QC_C05_8_Velocità_TR200_Quadro_8

- Inviluppo delle magnitudo nelle aree allagate per TR=200 anni:

PSI_QC_C06_8_Magnitudo_TR200_Quadro_8

Di seguito si riportano le principali criticità rilevate in termini di esondazioni e aree allagate.

Sul Torrente Macinaie sono presenti due attraversamenti, uno sulla SS67 e uno sulla ferrovia. In corrispondenza di quest'ultimo attraversamento si registrano le principali criticità in destra idraulica già per portate trentennali per insufficienza della sezione. La portata esondata scorre poi verso valle fino alla confluenza con la Sieve, rimanendo confinata in una piccola area adiacente al corso d'acqua grazie a quote del terreno crescenti. L'allagamento va ad interessare una piccola parte dell'abitato.

Il Borro delle Fornaci non presenta nessun fenomeno esondativo.

5.7 Modello Idrologico Idraulico 06 – Rufina Montebonello

Il presente modello idrologico idraulico implementato è un modello accoppiato mono-bidimensionale che comprende i seguenti reticoli:

- Torrente Rufina
- Torrente Argomenna
- Fosso di Falgano

e si sviluppa sulle due sponde della Sieve diviso tra la frazione di Montebonello nel Comune di Pontassieve e il Comune di Rufina.

In sinistra idraulica del Fiume Sieve si sviluppa il tratto oggetto di studio del Torrente Rufina che si estende da monte dell'abitato di Rufina, in loc. Casi, fino alla confluenza in Sieve. Più a valle, a sud dell'area abitata, si estende l'asta del Fosso di Falgano. In destra idraulica, in corrispondenza della frazione di Montebonello nel Comune di Pontassieve, si sviluppa il reticolo del Torrente Argomenna oggetto di indagine fino alla confluenza in Sieve.

Nella Tavola *IDR_GEN_01-Inquadramento Generale* si riporta il reticolo idraulico preso a riferimento nelle verifiche idrauliche del Modello 06 – Rufina Montebonello.

5.7.1 Caratterizzazione Dei Corsi D'acqua E Delle Aree Di Interesse

Per quanto riguarda la caratterizzazione geometrica e topografica dei reticoli (numero di sezioni, lunghezza del tratto analizzato e provenienza del dato topografico) si faccia riferimento alla Tabella 5.1.

Per la modellazione dei territori limitrofi è stato costruito un modello digitale del terreno con i voli Lidar disponibili integrati con le informazioni planoaltimetriche ricavate dalla Carta Tecnica Regionale con risoluzione 1:10000 e da rilievi topografici di dettaglio disponibili risalenti al 2019 e al 2020, ove non presente la copertura Lidar.

Nel modello la risoluzione generale della cella di calcolo della mesh è stata assegnata pari a 5 x 5 m su un areale di circa 1.14 km².

All'interno dell'area di modellazione bidimensionale sono state inserite tre connessioni idrauliche atte a simulare la presenza dei sottopassi presenti in corrispondenza della ferrovia.

I passaggi sono stati definiti geometricamente tramite un rilievo topografico di dettaglio disponibile risalente al 2019.

Il sottopasso in località Masseto (rappresentato con il codice C_6.3 in *Tav. IDR_M06_01-Planimetria*) è stato modellato con uno scatolare con le seguenti dimensioni:

- Altezza H = 2.70 m, larghezza L = 5.00 m.

I due sottopassi nell'abitato di Rufina sono stati modellati abbassando localmente la quota del rilevato ferroviario:

- Larghezza L= 3.60 m e quota di fondo pari a 114.54 m s.l.m. per quello in destra idraulica del Torrente Rufina (rappresentato con il codice C_6.1 in *Tav. IDR_M06_01-Planimetria*)
- Larghezza L= 4.00 m e quota di fondo pari a 113.50 m s.l.m. per quello in sinistra idraulica del Torrente Rufina (rappresentato con il codice C_6.2 in *Tav. IDR_M06_01-Planimetria*).

I tratti dei corsi d'acqua oggetto di studio, le sezioni fluviali, il dominio dell'area 2D e le connessioni idrauliche sono riportati nella *Tavola IDR_M06_01-Planimetria*. In tale planimetria sono riportate anche le condizioni al contorno implementate e descritte nel seguente paragrafo.

5.7.2 Condizioni al contorno e parametri del modello idraulico

Le condizioni al contorno del modello idraulico sono rappresentate da:

- Sollecitazioni idrologiche in testa ad ogni tratto simulato idraulicamente;
- Condizioni al contorno di valle.

In Tabella 5.12 si riporta l'elenco degli input idrologici utilizzati nella modellistica idraulica.

La tabella riporta il corso d'acqua di riferimento, il tipo di immissione (CP contributi puntuali, in questo caso sollecitazioni idrologiche in testa), la/e sezione/i sollecitate e la codifica del bacino che lo genera. Si rimanda alla Tabella 4.1 dov'è riportato l'elenco e la codifica dei bacini studiati idrologicamente.

CORSO D'ACQUA	TIPO IMMISSIONE	DA SEZ.	A SEZ.	CODICE CONTRIBUTO IDROLOGICO
TORRENTE RUFINA	CP	00235__20	-	7688
TORRENTE ARGOMENNA	CP	00104__20	-	7689
FOSSO DI FALGANO	CP	00049__21	-	7693

Tabella 5.12 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M06-Rufina Montebonello

Gli idrogrammi completi sono riportati nell'allegato *IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica*.

Nel presente modello idraulico le condizioni di valle sono state poste pari al battente massimo dell'idrogramma dei livelli ottenuto dalla modellazione del nel **Modello idraulico sul F. Sieve da Bilancino a San Francesco – modello quasi 2D** sviluppato a partire dal modello dell'Autorità di Bacino Distrettuale in corrispondenza delle sezioni più prossime alla confluenza con i reticoli del presente modello (RS 106 per il Torrente Rufina, RS 69 per il Torrente Argomena e RS 82 per il Fosso di Falgano). Tale livello è stato definito per tutti gli eventi simulati e posto costante per tutta la durata della simulazione. In Tabella 5.13 sono riportate le suddette condizioni di valle.

CORSO D'ACQUA	SEZ.	TR [anni]	d [h]	SCENARIO	LIVELLO [m s.l.m.]	TIPO	PENDENZA
TORRENTE RUFINA	00010_05	30	2.00	S	113.25	IDROGRAMMA	-
			3.00	S	113.80	IDROGRAMMA	-
			4.00	S	114.12	IDROGRAMMA	-
		200	2.00	S	114.15	IDROGRAMMA	-
			3.00	S	114.72	IDROGRAMMA	-
			4.00	S	115.12	IDROGRAMMA	-
TORRENTE ARGOMENNA	00004PC21	30	2.00	S	110.55	IDROGRAMMA	-
			3.00	S	111.11	IDROGRAMMA	-
			4.00	S	111.35	IDROGRAMMA	-
		200	2.00	S	111.37	IDROGRAMMA	-
			3.00	S	111.74	IDROGRAMMA	-
			4.00	S	111.99	IDROGRAMMA	-
FOSSO DI FALGANO	00004PC21	30	2.00	S	106.64	IDROGRAMMA	-
			3.00	S	106.98	IDROGRAMMA	-
			4.00	S	107.16	IDROGRAMMA	-
		200	2.00	S	107.19	IDROGRAMMA	-
			3.00	S	107.55	IDROGRAMMA	-
			4.00	S	107.79	IDROGRAMMA	-

Tabella 5.13 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M06-Rufina Montebonello

Le condizioni al contorno applicate alle aree a modellazione bidimensionale dipendono dalla posizione del confine del dominio di calcolo. Sui bordi che si affacciano sulle sponde del Fiume Sieve sono state poste condizioni di efflusso libero ("Free Flow") in moto uniforme, controllate dalla pendenza locale del terreno, pari a 0.001 m/m; considerate le durate delle simulazioni si è assunto che il Fiume Sieve sia in grado di accogliere la portata in uscita da tali aree a modellazione bidimensionale.

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, è stato scelto di adottare un coefficiente di Manning pari a $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ per ciascuno dei tre reticoli.

Per quanto riguarda la scabrezza delle aree limitrofe al corso d'acqua, simulate dal modello bidimensionale, si è scelto di adottare una scabrezza unica pari a $0.06 \text{ s/m}^{1/3}$.

In merito alle perdite di carico nelle strutture, i coefficienti utilizzati sono stati ricavati dalla letteratura disponibile. Tali valori, nel nostro caso, influenzano il modello in corrispondenza degli attraversamenti fluviali e nelle connessioni idrauliche (ad esempio sottoattraversamenti, ecc), che generano una brusca variazione di sezione. In particolare si è utilizzato un coefficiente di contrazione di 0.1 e un coefficiente di espansione di 0.3, tali valori sono standard nella modellazione delle perdite di carico.

5.7.3 Verifiche Idrauliche Implementate

Le verifiche idrauliche sono state svolte per gli eventi con TR 30 e 200 anni e durate di pioggia pari a 2-3-4 ore per gli scenari Singolo Bacino utilizzando il Kr calcolato sull'area del singolo bacino in modo da massimizzare gli effetti della singola asta/ singolo contributo idrologico. Gli idrogrammi completi sono riportati nell'allegato *IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica*.

5.7.4 Risultati

L'implementazione della modellistica idraulica di tipo analitico fornisce, per ciascuno degli eventi studiati, i valori di massimo livello e portata in alveo per ciascuna sezione dei corsi d'acqua analizzati, ed i battenti e velocità nelle aree soggette ad allagamento.

I risultati in forma grafica delle sezioni fluviali del modello idraulico con l'indicazione del livello massimo atteso per TR=30-200 anni (involuppo dei livelli per le varie durate di pioggia) sono riportati nell'elaborato *IDR_M06_02-Libretto* Per quanto riguarda le aree allagate, i risultati sono sintetizzati,

in termini di battenti e velocità massime attese ricavate dall'inviluppo di tutti gli eventi simulati, nelle seguenti tavole:

- Inviluppo dei battenti idrometrici massimi nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C02_5_Battenti_TR30_Quadro_5
PSI_QC_C03_5_Battenti_TR2000_Quadro_5
- Inviluppo delle velocità massime nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C04_5_Velocità_TR30_Quadro_5
PSI_QC_C05_5_Velocità_TR200_Quadro_5
- Inviluppo delle magnitudo nelle aree allagate per TR=200 anni:
PSI_QC_C06_5_Magnitudo_TR200_Quadro_5

Di seguito si riportano le principali criticità rilevate in termini di esondazioni e aree allagate.

Sul Torrente Argomenna si hanno esondazioni per eventi con TR=30 in sinistra idraulica per un tratto lungo circa 70 m a partire dalla confluenza con la Sieve, esondazione che però interessa solamente un'area limitata compresa tra l'Argomenna e la Sieve. In corrispondenza dello stesso tratto si ha esondazione in sinistra idraulica per TR 200.

Il Fosso di Falgano già per eventi con TR=30 presenta in destra idraulica un'area allagata nella parte alta del tratto di studio, subito a valle del ponte di via Masseto, in corrispondenza delle tre briglie presenti sul corso d'acqua. Le aree allagate rimangono confinate in una piccola area adiacente al corso d'acqua grazie alle crescenti quote del terreno circostante. In sinistra idraulica già per eventi con TR=30 si hanno piccoli allagamenti adiacenti il corso d'acqua subito a monte delle due briglie in corrispondenza dell'incrocio di via Masseto con una strada sterrata. Sempre in sinistra idraulica per eventi TR=30 con si ha un allagamento generalizzato di una vasta area che si estende a valle fino al rilevato della strada Via 25 Aprile che costeggia il fiume Sieve. Questa vasta area allagata va ad interessare l'abitato in sinistra. Il ponte sulla SS67 è insufficiente e crea rigurgito a monte dando luogo in sinistra ad esondazione. A causa della morfologia del terreno (che è pendente verso valle e verso sud) l'acqua si espande verso sud rimanendo bloccata dal rilevato ferroviario ad eccezione di un tratto di circa 50 m lungo la SS76 fino all'intersezione tra quest'ultima e la ferrovia. Fa eccezione anche un sottopasso della ferrovia (nella zona dell'incrocio tra la SS67 e via 25 Aprile) che consente il passaggio dell'acqua da monte verso valle andando ad interessare la viabilità principale e l'intersezione della strada statale con altre secondarie. I tre ponti a valle non vengono sormontati dai livelli presenti in alveo, la portata che si trova in questa zona proviene, quindi, dalle esondazioni a monte. Anche in questo caso la strada (via 25 Aprile) in rilevato costituisce un ostacolo al passaggio dell'acqua verso valle (essendo il terreno in discesa) che si accumula a monte di esso finché la quota del rilevato non è più sufficiente a contenere l'acqua. Per TR=200 anni si ha esondazione anche a destra nel tratto in corrispondenza delle due briglie (in corrispondenza dell'incrocio di via Masseto con una strada sterrata), interessando l'abitato. Anche in questo caso la ferrovia in rilevato rappresenta un ostacolo al passaggio dell'acqua.

Il Torrente Rufina già per eventi riferiti a TR=30 anni dà luogo a monte ad esondazioni distribuite ma confinate sia in destra che in sinistra. Anche più a valle in sinistra si ha esondazione per circa 100 m e il ponte presente in questo tratto, che collega via Borgonuovo con alcuni campi coltivati in sinistra (200 m circa a monte della sede VAB), risulta insufficiente al passaggio dell'acqua. Subito a valle dell'esondazione precedente, ma in destra, si allaga una piccolissima striscia adiacente al fiume (circa 120 m). A monte della briglia che precede i tre ponti presenti nell'ultimo tratto a valle, in sinistra, si crea una piccola area allagata contenuta dal terreno circostante che presenta quote superiori. La dimensione di tutte queste aree si estende per eventi riferiti a TR=200. Inoltre, per TR=200, a valle si ha esondazione sia in destra che in sinistra a monte del ponte della ferrovia. In destra la presenza della ferrovia in rilevato blocca il passaggio dell'acqua verso la Sieve, che però riesce a passare dal sottopasso presente. In sinistra l'esondazione crea un allagamento esteso sia a monte del tracciato ferroviario che a valle di esso a causa della presenza di alcuni sottopassi, andando ad interessare l'intero abitato di Rufina.

5.8 Modello Idrologico Idraulico 07 – Scopeti

Il presente modello idrologico idraulico implementato è un modello accoppiato mono-bidimensionale che comprende i seguenti reticoli:

- Colatore 1 - Scopeti
- Affluente del Fosso di Casini
- Fosso di Casini
- Fosso del Pieve

e si estende nella frazione di Scopeti nel comune di Rufina.

L'ambito di studio dei reticoli del presente modello si sviluppa in sinistra idraulica del Fiume Sieve, da monte dell'abitato della frazione di Scopeti fino alla confluenza. Le aste oggetto di modellazione attraversano un'area industriale compresa tra la Strada Statale 67 e la ferrovia ed un'area abitata ad ovest della SS67.

Nella Tavola *IDR_GEN_01-Inquadramento Generale* si riporta il reticolo idraulico preso a riferimento nelle verifiche idrauliche del Modello 07 – Scopeti.

5.8.1 Caratterizzazione Dei Corsi D'acqua E Delle Aree Di Interesse

Per la geometrizzazione del Colatore 1- Scopeti non era disponibile il rilievo della sezione di uscita al tombamento di valle (che ha ingresso in corrispondenza della sezione 00016PB21 e scarico in Sieve), pertanto è stata ricostruita sulla base dei tracciati delle fognature del Comune di Rufina forniti da Publiacqua. In particolare, dai dati messi a disposizione dall'ente gestore, il tombamento risulta essere costituito da una tubazione circolare di diametro pari a 600 mm per tutta la lunghezza del tratto tombato, dalla sezione a valle della Strada Statale 67 fino allo scarico in Sieve. Inoltre, data la quota di scorrimento in ingresso al primo pozzetto da monte rispetto alla sezione di ingresso al tombamento è stato possibile determinare la pendenza del tratto, pari a 0.094 m/m, e quindi la quota di fondo tubo della sezione di uscita.

Per quanto riguarda le informazioni relative al numero di sezioni rilevate, alla lunghezza del tratto analizzato e ai rilievi dai quali è stata ricavata la caratterizzazione geometrica dei reticoli si faccia riferimento alla Tabella 5.1.

Per la modellazione dei territori limitrofi è stato costruito un modello digitale del terreno con i voli Lidar disponibili integrati con le informazioni planoaltimetriche ricavate dalla Carta Tecnica Regionale con risoluzione 1:2 000, ove non presente la copertura Lidar.

Nel modello la risoluzione generale della cella di calcolo della mesh è stata assegnata pari a 3 x 3 m su un areale di circa 0.65 km².

All'interno dell'area di modellazione bidimensionale è stata inserita una connessione idraulica atta a simulare la presenza del sottopasso presente in corrispondenza della ferrovia.

Il sottopasso (rappresentato con il codice C_7.1 in *Tav. IDR_M07_01-Planimetria*) è stato caratterizzato geometricamente tramite un rilievo topografico di dettaglio disponibile risalente al 2007, e modellato con uno scatolare con le seguenti dimensioni:

- Altezza H = 2.50 m, larghezza L = 3.00 m.

I tratti dei corsi d'acqua oggetto di studio, le sezioni fluviali e le opere dell'arte implementate, il dominio dell'area 2D e le connessioni idrauliche atte a collegare idraulicamente aree diverse di tale dominio sono riportati nella *Tavola IDR_M07_01-Planimetria*. In tale planimetria sono riportate anche le condizioni al contorno implementate e descritte nel seguente paragrafo.

5.8.2 Condizioni Al Contorno E Parametri Del Modello Idraulico

Le condizioni al contorno del modello idraulico sono rappresentate da:

- Sollecitazioni idrologiche in testa ad ogni tratto simulato idraulicamente;
- Condizioni al contorno di valle.

In Tabella 5.14 si riporta l'elenco degli input idrologici utilizzati nella modellistica idraulica.

La tabella riporta il corso d'acqua di riferimento, il tipo di immissione (CP contributi puntuali, in questo caso sollecitazioni idrologiche in testa), la/e sezione/i sollecitate e la codifica del bacino che lo genera. Si rimanda alla Tabella 4.1 dov'è riportato l'elenco e la codifica dei bacini studiati idrologicamente.

CORSO D'ACQUA	TIPO IMMISSIONE	DA SEZ.	A SEZ.	CODICE CONTRIBUTO IDROLOGICO
COLATORE 1 SCOPETI	CP	00073__22	-	7686A
FOSSO DI CASINI	CP	00072PB21	-	7686B*
AFFLUENTE FOSSO DEI CASINI	CP	00005PB21	-	7686B**
FOSSO DEL PIEVE	CP	00073__21	-	7686C

Tabella 5.14 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M07-Scopeti

Gli idrogrammi completi sono riportati nell'allegato *IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica*.

L'idrogramma relativo al bacino 7686B è stato ripartito con peso pari a 0.92 per il Fosso di Casini (contributo 7686B*) e 0.08 per l'Afluente del Fosso di Casini (contributo 7686B**) sulla base dell'areale dei bacini sottesi dai reticoli.

Come condizione di valle per il Fosso di Casini e il Fosso del Pieve è stato posto l'idrogramma dei livelli ottenuto dalla modellazione del Fiume Sieve nel **Modello idraulico sul F. Sieve da Bilancino a San Francesco – modello quasi 2D** sviluppato a partire dal modello dell'Autorità di Bacino Distrettuale in corrispondenza delle sezioni più prossime alla confluenza con i due reticoli (RS 123.5 per il Fosso di Casini, RS 122 per il Fosso del Pieve). Per durate pari a 0.5 ore e tempo di ritorno di 30 anni le condizioni di valle sono state poste costanti per la durata della simulazione pari al valore massimo dell'idrogramma dei livelli.

Nel caso del Colatore 1 – Scopeti è stata posta una pendenza di moto uniforme pari a 0.01 m/m come condizione di valle data la disconnessione idraulica tra il colatore e il corso d'acqua recettore dovuta a quote di fondo alveo molto diverse e considerato che la sezione di valle è stata ipotizzata e non rilevata.

In Tabella 5.15 sono riportate le suddette condizioni di valle.

CORSO D'ACQUA	SEZ.	TR [anni]	d [h]	SCENARIO	LIVELLO [m s.l.m.]	TIPO	PENDENZA
COLATORE 1 SCOPETI	-	30	0.50	S	-	-	0.01
			1.00	S	-	-	0.01
			2.00	S	-	-	0.01
		200	0.50	S	-	-	0.01
			1.00	S	-	-	0.01
			2.00	S	-	-	0.01
FOSSO DI CASINI	00004__07	30	0.50	S	117.00	COSTANTE	-
			1.00	S	117.96	IDROGRAMMA	-
			2.00	S	118.91	IDROGRAMMA	-
		200	0.50	S	117.59	IDROGRAMMA	-
			1.00	S	118.80	IDROGRAMMA	-
			2.00	S	119.49	IDROGRAMMA	-
FOSSO DEL PIEVE	00003__07	30	0.50	S	116.60	COSTANTE	-
			1.00	S	117.63	IDROGRAMMA	-
			2.00	S	118.53	IDROGRAMMA	-
		200	0.50	S	117.29	IDROGRAMMA	-
			1.00	S	118.43	IDROGRAMMA	-
			2.00	S	119.06	IDROGRAMMA	-

Tabella 5.15 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M07-Scopeti

Le condizioni al contorno applicate alle aree a modellazione bidimensionale dipendono dalla posizione del confine del dominio di calcolo. Sui bordi che si affacciano sulle sponde del Fiume Sieve sono state poste condizioni di efflusso libero ("Free Flow") in moto uniforme, controllate dalla

pendenza locale del terreno, pari a 0.001 m/m; considerate le durate delle simulazioni si è assunto che il Fiume Sieve sia in grado di accogliere la portata in uscita da tali aree a modellazione bidimensionale.

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, è stato scelto di adottare un coefficiente di Manning pari a $0.035 \text{ s/m}^{1/3}$ per il Colatore 1 – Scopeti, $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ per il Fosso di Casini e il Fosso del Pieve e $0.03 \text{ s/m}^{1/3}$ per l’Affluente del Fosso di Casini.

Per quanto riguarda la scabrezza delle aree limitrofe al corso d'acqua, simulate dal modello bidimensionale, si è scelto di adottare una scabrezza unica pari a $0.06 \text{ s/m}^{1/3}$.

In merito alle perdite di carico nelle strutture, i coefficienti utilizzati sono stati ricavati dalla letteratura disponibile. Tali valori, nel nostro caso, influenzano il modello in corrispondenza degli attraversamenti fluviali e nelle connessioni idrauliche (ad esempio sottoattraversamenti, ecc), che generano una brusca variazione di sezione. In particolare si è utilizzato un coefficiente di contrazione di 0.1 e un coefficiente di espansione di 0.3, tali valori sono standard nella modellazione delle perdite di carico.

5.8.3 Verifiche Idrauliche Implementate

Le verifiche idrauliche sono state svolte per gli eventi con TR 30 e 200 anni e durate di pioggia pari a 0.5-1 ore per gli scenari Singolo Bacino utilizzando il Kr calcolato sull’area del singolo bacino in modo da massimizzare gli effetti della singola asta/ singolo contributo idrologico. Gli idrogrammi completi sono riportati nell’allegato *IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica*.

5.8.4 Risultati

L’implementazione della modellistica idraulica di tipo analitico fornisce, per ciascuno degli eventi studiati, i valori di massimo livello e portata in alveo per ciascuna sezione dei corsi d’acqua analizzati, ed i battenti e velocità nelle aree soggette ad allagamento.

I risultati in forma grafica delle sezioni fluviali del modello idraulico con l’indicazione del livello massimo atteso per TR=30-200 anni (involuppo dei livelli per le varie durate di pioggia) sono riportati nell’elaborato *IDR_M07_02-Libretto* Per quanto riguarda le aree allagate, i risultati sono sintetizzati, in termini di battenti e velocità massime attese ricavate dall’involuppo di tutti gli eventi simulati, nelle seguenti tavole:

- Inviluppo dei battenti idrometrici massimi nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C02_5_Battenti_TR30_Quadro_5
PSI_QC_C03_5_Battenti_TR2000_Quadro_5
- Inviluppo delle velocità massime nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C04_5_Velocità_TR30_Quadro_5
PSI_QC_C05_5_Velocità_TR200_Quadro_5
- Inviluppo delle magnitudo nelle aree allagate per TR=200 anni:
PSI_QC_C06_5_Magnitudo_TR200_Quadro_5

Di seguito si riportano le principali criticità rilevate in termini di esondazioni e aree allagate.

Sul Colatore 1- Scopeti sono presenti due lunghi tratti tombati, uno nella parte alta del corso d’acqua, a monte della SS67, e uno nella parte bassa. In corrispondenza dei suddetti tombamenti si registrano le criticità principali. Il tratto tombato il cui imbocco si trova in corrispondenza della SS67 risulta insufficiente allo smaltimento delle portate trentennali e duecentennali che esondando invadono la sede stradale e proseguono verso valle attraverso l’abitato della frazione di **Scopeti** nel comune di **Rufina** fino ad imboccare il sottopassaggio della ferrovia. Per portate duecentennali anche

il tombamento a monte della statale risulta inadeguato allo smaltimento del flusso, si ha quindi esondazione in destra in corrispondenza dell'imbocco del tratto tombato a causa del rigurgito provocato da tale inefficienza. Per portate duecentennali a monte della SS67 si hanno piccole aree allagate sia in destra che in sinistra idraulica. Sull'Affluente del Fosso di Casini è presente un attraversamento prima della confluenza che risulta insufficiente allo smaltimento di portate trentennali e duecentennali, il Casini è invece caratterizzato dalla presenza di numerose opere tra queste si contano tre tratti tombati e cinque attraversamenti.

Sull'affluente al Fosso di Casini il sottoattraversamento subito a monte della confluenza risulta insufficiente per portate trentennali e duecentennali. Le aree allagate sono ridotte poiché l'affluente si presenta incassato.

Il Fosso di Casini presenta criticità per eventi trentennali e duecentennali per insufficienza del sottoattraversamento subito a monte della confluenza con l'affluente, il cui rigurgito provoca esondazione in destra e in sinistra idraulica. Le aree allagate rimangono contenute perché il fosso risulta piuttosto incassato. A valle della SS67 esonda in destra e sinistra idraulica poiché i tre attraversamenti presenti in successione sulle viabilità locali (Via Manzoni, Via Volta e Via Da Vinci) risultano insufficienti a smaltire portate trentennali e duecentennali. In sinistra le aree allagate si estendono verso il Fosso del Pieve. La portata esondata si propaga prevalentemente in destra interessando una vasta area dell'abitato di Scopeti per poi proseguire verso valle sormontando la ferrovia. Anche il sottoattraversamento della ferrovia risulta insufficiente per TR=30 anni e TR=200 anni. A valle della ferrovia e dell'abitato esonda in sinistra idraulica per contenimenti insufficienti già per eventi trentennali a partire da circa 150 dalla confluenza con la Sieve e in corrispondenza della confluenza per rigurgito non contenuto dalle sponde sia in destra che in sinistra idraulica.

La portata esondata in prossimità dell'immissione in Sieve si propaga verso il Fosso del Pieve e si unisce alle aree allagate generate dal sormonto dei contenimenti idraulici sul Fosso del Pieve.

Il Fosso del Pieve esonda per TR=30 e TR=200 per insufficienza dell'attraversamento sulla strada podereale tra la SP91 e la SS67 a monte dell'abitato sia in destra che in sinistra idraulica, per TR=200 si ha sormonto anche di tutto il tratto a monte sia in destra che in sinistra. In sinistra idraulica la portata esondata prosegue verso valle nell'area abitata imboccando la SS67 e proseguendo lungo la statale in direzione sud seguendo la pendenza dell'infrastruttura viaria. La maggior parte della portata viene trattenuta in corrispondenza del rilevato della ferrovia, in un'area limitata si ha il superamento della quota del rilevato ferroviario in corrispondenza dell'intersezione di quest'ultimo con una strada podereale e il proseguimento del flusso verso valle. In destra idraulica esonda in corrispondenza della confluenza con la Sieve per rigurgito.

5.9 Modello Idrologico Idraulico 08 – Casini

Il modello idrologico idraulico implementato è un modello accoppiato mono-bidimensionale che comprende un'unica asta fluviale, il Fosso di Bobi, e si sviluppa in località Casini nel Comune di Rufina.

L'ambito di studio del reticolo si sviluppa da monte dell'abitato di Casini, a sud-est dell'area edificata, fino alla confluenza in Sieve.

Nella Tavola *IDR_GEN_01-Inquadramento Generale* si riporta il reticolo idraulico preso a riferimento nelle verifiche idrauliche del Modello 08 – Casini.

5.9.1 Caratterizzazione Dei Corsi D'acqua E Delle Aree Di Interesse

Per quanto riguarda la caratterizzazione geometrica e topografica dei reticoli (numero di sezioni, lunghezza del tratto analizzato e provenienza del dato topografico) si faccia riferimento alla Tabella 5.1

Per la modellazione dei territori limitrofi è stato costruito un modello digitale del terreno con i voli Lidar disponibili.

Nel modello la risoluzione generale della cella di calcolo della mesh è stata assegnata pari a 1 x 1 m su un areale di circa 0.026 km².

Il tratto di corso d'acqua oggetto di studio, le sezioni fluviali e il dominio dell'area 2D sono riportati nella *Tavola IDR_M08-09-10_01-Planimetria*. In tale planimetria sono riportate anche le condizioni al contorno implementate e descritte nel seguente paragrafo.

5.9.2 Condizioni Al Contorno E Parametri Del Modello Idraulico

Le condizioni al contorno del modello idraulico sono rappresentate da:

- Sollecitazioni idrologiche in testa al tratto simulato idraulicamente;
- Condizioni al contorno di valle.

In Tabella 5.16 si riporta l'elenco degli input idrologici utilizzati nella modellistica idraulica.

La tabella riporta il corso d'acqua di riferimento, il tipo di immissione (CP contributo puntuale, in questo caso sollecitazione idrologica in testa), la/e sezione/i sollecitate e la codifica del bacino che lo genera. Si rimanda alla Tabella 4.1 dov'è riportato l'elenco e la codifica dei bacini studiati idrologicamente.

CORSO D'ACQUA	TIPO IMMISSIONE	DA SEZ.	A SEZ.	CODICE CONTRIBUTO IDROLOGICO
FOSSO DI BOBI	CP	00019__21	-	7678D

Tabella 5.16 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M08-Casini

Gli idrogrammi completi sono riportati nell'allegato *IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica*.

Come condizione di valle per il Fosso di Bobi è stato posto l'idrogramma dei livelli ottenuto dalla modellazione del Fiume Sieve nel **Modello idraulico sul F. Sieve da Bilancino a San Francesco – modello quasi 2D** sviluppato a partire dal modello dell'Autorità di Bacino Distrettuale in corrispondenza della sezione più prossima alla confluenza (RS 158) per l'evento con durata pari 2 ore e tempo di ritorno di 30 anni e per quello con durata pari a 1 ora e tempo di ritorno di 200 anni. Altrimenti è stata posta una condizione di valle pari ad una pendenza di moto uniforme di 0.01 m/m.

In Tabella 5.17 sono riportate le suddette condizioni di valle

CORSO D'ACQUA	SEZ.	TR [anni]	d [h]	SCENARIO	LIVELLO [m s.l.m.]	TIPO	PENDENZA
FOSSO DI BOBI	00002__08	30	1.00	S	-	-	0.01
			2.00	S	130.73	COSTANTE	-
		200	1.00	S	130.61	COSTANTE	-
			2.00	S	-	-	0.01

Tabella 5.17 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M09-Contea

Le condizioni al contorno applicate alle aree a modellazione bidimensionale dipendono dalla posizione del confine del dominio di calcolo. Sui bordi che si affacciano sulle sponde del Fiume Sieve sono state poste condizioni di efflusso libero ("Free Flow") in moto uniforme, controllate dalla pendenza locale del terreno, pari a 0.001 m/m; considerate le durate delle simulazioni si è assunto che il Fiume Sieve sia in grado di accogliere la portata in uscita da tali aree a modellazione bidimensionale.

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, è stato scelto di adottare un coefficiente di Manning pari a 0.04s/m^{1/3}

Per quanto riguarda la scabrezza delle aree limitrofe al corso d'acqua, simulate dal modello bidimensionale, si è scelto di adottare una scabrezza unica pari a 0.06 s/m^{1/3}.

In merito alle perdite di carico nelle strutture, i coefficienti utilizzati sono stati ricavati dalla letteratura disponibile. Tali valori, nel nostro caso, influenzano il modello in corrispondenza degli attraversamenti fluviali e nelle connessioni idrauliche (ad esempio sottoattraversamenti, ecc), che generano una brusca variazione di sezione. In particolare si è utilizzato un coefficiente di contrazione di 0.1 e un coefficiente di espansione di 0.3, tali valori sono standard nella modellazione delle perdite di carico.

5.9.3 Verifiche Idrauliche implementate

Le verifiche idrauliche sono state svolte per gli eventi con TR 30 e 200 anni e durate di pioggia pari a 1-2 ore per gli scenari Singolo Bacino utilizzando il Kr calcolato sull'area del singolo bacino in modo da massimizzare gli effetti della singola asta/ singolo contributo idrologico. Gli idrogrammi completi sono riportati in *IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica*.

5.9.4 Risultati

L'implementazione della modellistica idraulica di tipo analitico fornisce, per ciascuno degli eventi studiati, i valori di massimo livello e portata in alveo per ciascuna sezione dei corsi d'acqua analizzati, ed i battenti e velocità nelle aree soggette ad allagamento.

I risultati in forma grafica delle sezioni fluviali del modello idraulico con l'indicazione del livello massimo atteso per TR=30-200 anni (involuppo dei livelli per le varie durate di pioggia) sono riportati nell'elaborato *IDR_M08-09-10_02-Libretto*. Per quanto riguarda le aree allagate, i risultati sono sintetizzati, in termini di battenti e velocità massime attese ricavate dall'involuppo di tutti gli eventi simulati, nelle seguenti tavole:

- Inviluppo dei battenti idrometrici massimi nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C02_5_Battenti_TR30_Quadro_5
PSI_QC_C03_5_Battenti_TR2000_Quadro_5
- Inviluppo delle velocità massime nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C04_5_Velocità_TR30_Quadro_5
PSI_QC_C05_5_Velocità_TR200_Quadro_5
- Inviluppo delle magnitudo nelle aree allagate per TR=200 anni:
PSI_QC_C06_5_Magnitudo_TR200_Quadro_5

Di seguito si riportano le principali criticità rilevate in termini di esondazioni e aree allagate.

Sull Fosso di Bobi per TR=30 si ha insufficienza del ponte della SS67 che crea rigurgito ed esondazione in sinistra per poco meno di 20 metri circa. Per un evento con TR=30 si ha esondazione anche alla confluenza in destra per un tratto che si estende a monte per circa 25 m; esondazione che crea un'area allagata compresa tra il Fosso di Bobi e la Sieve. Per TR=200 a durata 2 ore si ha un comportamento simile all'evento con TR=30. Invece, per TR=200 si ha sempre insufficienza del ponte che dà luogo ad un'esondazione di circa 25 m di lunghezza e che crea un allagamento generalizzato in sinistra verso valle.

5.10 Modello Idrologico Idraulico 09 - Contea

Il modello idrologico idraulico implementato è un modello accoppiato mono-bidimensionale che comprende i seguenti reticoli.

- Fosso del Molinuzzo
- Colatore 1 - Contea

e si sviluppa nella località Contea nel Comune di Rufina

L'ambito di indagine dei due reticoli si estende da fuori l'abitato di Contea fino alla confluenza col Fiume Sieve.

Nella Tavola *IDR_GEN_01-Inquadramento Generale* si riporta il reticolo idraulico preso a riferimento nelle verifiche idrauliche del Modello 09 – Contea.

5.10.1 Caratterizzazione Dei Corsi D’acqua E Delle Aree Di Interesse

Per quanto riguarda la caratterizzazione geometrica e topografica dei reticoli (numero di sezioni, lunghezza del tratto analizzato e provenienza del dato topografico) si faccia riferimento alla Tabella 5.1.

Data la difficoltà nel geometrizzare correttamente il tratto tombato del Colatore 1 – Contea che si estende dalla sezione 00011PB21 fino all’immissione in Sieve, a causa dell’impossibilità di dettagliare eventuali variazioni di pendenza o di geometria della sezione lungo il tombamento, si è assunta cautelativamente una pendenza del tratto pari a 0.01 m/m calcolata prendendo a riferimento le quote stradali da modello digitale del terreno, e una geometria con diametro 0.9 m corrispondente alla sezione rilevata con minor area.

Per la modellazione dei territori limitrofi è stato costruito un modello digitale del terreno con i voli Lidar disponibili.

Nel modello la risoluzione generale della cella di calcolo della mesh è stata assegnata pari a 3 x 3 m su un areale di circa 0.10 km².

I tratti dei corsi d’acqua oggetto di studio, le sezioni fluviali e il dominio dell’area 2D sono riportati nella *Tavola IDR_ M08-09-10_01-Planimetria*. In tale planimetria sono riportate anche le condizioni al contorno implementate e descritte nel seguente paragrafo.

5.10.2 Condizioni al contorno e parametri del modello idraulico

Le condizioni al contorno del modello idraulico sono rappresentate da:

- Sollecitazioni idrologiche in testa ad ogni tratto simulato idraulicamente;
- Condizioni al contorno di valle.

In Tabella 5.18 si riporta l'elenco degli input idrologici utilizzati nella modellistica idraulica.

La tabella riporta il corso d’acqua di riferimento, il tipo di immissione (CP contributi puntuali, in questo caso sollecitazioni idrologiche in testa), la/e sezione/i sollecitate e la codifica del bacino che lo genera. Si rimanda alla Tabella 4.1 dov’è riportato l’elenco e la codifica dei bacini studiati idrologicamente.

CORSO D'ACQUA	TIPO IMMISSIONE	DA SEZ.	A SEZ.	CODICE CONTRIBUTO IDROLOGICO
FOSSO DEL MOLINUZZO	CP	00037__21	-	7678B
COLATORE 1 CONTEA	CP	00026PB21	-	7678C

Tabella 5.18 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M09-Contea

Gli idrogrammi completi sono riportati nell'allegato IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica.

Come condizione di valle per il Fosso del Molinuzzo è stato posto l’idrogramma dei livelli ottenuto dalla modellazione del Fiume Sieve nel **Modello idraulico sul F. Sieve da Bilancino a San Francesco – modello quasi 2D** sviluppato a partire dal modello dell’Autorità di Bacino Distrettuale in corrispondenza della sezione più prossima alla confluenza (RS 175). Nel caso del Colatore 1 – Contea come condizione di valle è stata posta una pendenza di moto uniforme pari a 0.01 m/m data la disconnessione idraulica tra il colatore e il corso d’acqua recettore dovuta a quote di fondo alveo molto diverse e considerato che la sezione di valle è stata ipotizzata e non rilevata.

In Tabella 5.19 sono riportate le suddette condizioni di valle.

CORSO D'ACQUA	SEZ.	TR [anni]	d [h]	SCENARIO	LIVELLO [m s.l.m.]	TIPO	PENDENZA
FOSSO DEL MOLINUZZO	00004__21	30	0.50	S	135.81	COSTANTE	-
			1.00	S	135.81	COSTANTE	-
			2.00	S	136.98	COSTANTE	-
		200	0.50	S	136.84	COSTANTE	-
			1.00	S	136.84	COSTANTE	-
			2.00	S	137.75	IDROGRAMMA	-
COLATORE 1 CONTEA	-	30	0.50	S	-	-	0.01
			1.00	S	-	-	0.01
			2.00	S	-	-	0.01
		200	0.50	S	-	-	0.01
			1.00	S	-	-	0.01
			2.00	S	-	-	0.01

Tabella 5.19 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M09-Scopeti

Le condizioni al contorno applicate alle aree a modellazione bidimensionale dipendono dalla posizione del confine del dominio di calcolo. Sui bordi che si affacciano sulle sponde del Fiume Sieve sono state poste condizioni di efflusso libero ("Free Flow") in moto uniforme, controllate dalla pendenza locale del terreno, pari a 0.001 m/m; considerate le durate delle simulazioni si è assunto che il Fiume Sieve sia in grado di accogliere la portata in uscita da tali aree a modellazione bidimensionale.

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, è stato scelto di adottare un coefficiente di Manning pari a 0.04 s/m^{1/3} per il Fosso del Molinuzo e 0.035 s/m^{1/3} per Colatore 1 – contea.

Per quanto riguarda la scabrezza delle aree limitrofe al corso d'acqua, simulate dal modello bidimensionale, si è scelto di adottare una scabrezza unica pari a 0.06 s/m^{1/3}.

In merito alle perdite di carico nelle strutture, i coefficienti utilizzati sono stati ricavati dalla letteratura disponibile. Tali valori, nel nostro caso, influenzano il modello in corrispondenza degli attraversamenti fluviali e nelle connessioni idrauliche (ad esempio sottoattraversamenti, ecc), che generano una brusca variazione di sezione. In particolare si è utilizzato un coefficiente di contrazione di 0.1 e un coefficiente di espansione di 0.3, tali valori sono standard nella modellazione delle perdite di carico.

5.10.3 Verifiche Idrauliche implementate

Le verifiche idrauliche sono state svolte per gli eventi con TR 30 e 200 anni e durate di pioggia pari a 0.5-1-2 ore per gli scenari Singolo Bacino utilizzando il Kr calcolato sull'area del singolo bacino in modo da massimizzare gli effetti della singola asta/ singolo contributo idrologico. Gli idrogrammi completi sono riportati nell'allegato IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica.

5.10.4 Risultati

L'implementazione della modellistica idraulica di tipo analitico fornisce, per ciascuno degli eventi studiati, i valori di massimo livello e portata in alveo per ciascuna sezione dei corsi d'acqua analizzati, ed i battenti e velocità nelle aree soggette ad allagamento.

I risultati in forma grafica delle sezioni fluviali del modello idraulico con l'indicazione del livello massimo atteso per TR=30-200 anni (involuppo dei livelli per le varie durate di pioggia) sono riportati nell'elaborato *IDR_ M08-09-10_02-Libretto* Per quanto riguarda le aree allagate, i risultati sono sintetizzati, in termini di battenti e velocità massime attese ricavate dall'involuppo di tutti gli eventi simulati, nelle seguenti tavole:

- Involuppo dei battenti idrometrici massimi nelle aree allagate per TR=30-200 anni:

PSI_QC_C02_5_Battenti_TR30_Quadro_5

PSI_QC_C03_5_Battenti_TR200_Quadro_5

- Inviluppo delle velocità massime nelle aree allagate per TR=30-200 anni:

PSI_QC_C04_5_Velocità_TR30_Quadro_5

PSI_QC_C05_5_Velocità_TR200_Quadro_5

- Inviluppo delle magnitudo nelle aree allagate per TR=200 anni:

PSI_QC_C06_5_Magnitudo_TR200_Quadro_5

Di seguito si riportano le principali criticità rilevate in termini di esondazioni e aree allagate.

Il Fosso del Molinuzzo presenta criticità per portate duecentennali e trentennali in corrispondenza dell'ingresso al tratto tombato che attraversa la ferrovia. La portata esondata viene arrestata dalla ferrovia in rilevato. Nel tratto più a valle, tra la ferrovia e la SS67, si ha il sormonto dei contenimenti idraulici per TR=30 e TR=200 in sinistra idraulica, la portata defluisce verso sud allagando il territorio abitato nella località **Contea**. In quest'area la portata esondata allaga l'abitato tra il Fosso del Molinuzzo e il Colatore 1 – Contea scorrendo dal primo verso il secondo. In questa area si ha il sormonto della statale SS67 e il proseguimento della corrente verso valle fino alla strada parallela, a monte della quale si arresta. All'ingresso al tratto tombato in corrispondenza della SS67 si ha inefficienza per portate duecentennali e trentennali.

Il Colatore 1 - Contea presenta un'insufficienza per portate trentennali e duecentennali in corrispondenza dell'imbocco del tratto tombato subito a monte della SS 67 che risulta inadeguato allo smaltimento della portata. La portata esondata sormonta la statale in destra idraulica proseguendo verso valle ed interessando una vasta area del territorio abitato sia in sinistra che in destra idraulica del tratto tombato. Per quanto riguarda le aree allagate a monte della statale in sinistra idraulica queste rimangono confinate dal rilevato stradale interessando l'abitato solo per un'area limitata in prossimità del Colatore. Al di fuori dell'abitato, nei pressi del Fosso del Contra, la corrente tracima la statale e si immette nel suddetto Fosso.

5.11 Modello Idrologico Idraulico 10 - Moscia

Il modello idrologico idraulico implementato è un modello accoppiato mono-bidimensionale che comprende i seguenti reticoli:

- Torrente Moscia
- Torrente Rincine
- Fosso dell'Olmo

e si sviluppa tra l'abitato del Comune di Londa e la frazione di Contea (Comune di Rufina).

L'ambito di studio del presente modello si estende da fuori l'abitato di Londa, a sud dell'area edificata, fino alla confluenza del torrente Moscia col Fiume Sieve e attraversa i territori urbanizzati dei suddetti Comuni. I tre reticoli confluiscono in corrispondenza dell'abitato di Londa, a valle dell'omonimo Lago situato sull'asta del Torrente Rincine. L'asta del torrente Moscia prosegue verso ovest in adiacenza alla SS Stia-Londa, entra nel Comune di Rufina poco più a valle dell'immissione del Fosso delle Sessole e confluisce in Sieve nell'abitato di Contea.

Nella Tavola *IDR_GEN_01-Inquadramento Generale* si riporta il reticolo idraulico preso a riferimento nelle verifiche idrauliche del Modello 10 – Moscia

5.11.1 Caratterizzazione Dei Corsi D'acqua E Delle Aree Di Interesse

L'ambito di indagine del Fosso dell'Olmo si sviluppa per circa 157 m di tratto tombato. Considerata la difficoltà di geometrizzare correttamente il reticolo, sia in termini di geometria della sezione che in termini di pendenza del tratto, su tale lunghezza è stata condotta una modellazione di tipo bidimensionale priva della componente monodimensionale di modellazione idraulica in alveo. I deflussi in alveo sono stati schematizzati tramite una sollecitazione idrologica applicata a valle del tombamento e la propagazione della piena sulle aree inondabili è stata schematizzata con un contributo idrologico sull'area 2D, come dettagliato nel paragrafo successivo. Vista la complessità di

geometrizzazione del tratto tombato tale modellazione risulta adeguata a stimare le condizioni di allagabilità del territorio.

Per quanto riguarda le informazioni relative al numero di sezioni rilevate, alla lunghezza del tratto analizzato e ai rilievi dai quali è stata ricavata la caratterizzazione geometrica dei reticoli si faccia riferimento alla Tabella 5.1.

Per la modellazione dei territori limitrofi è stato costruito un modello digitale del terreno con i voli Lidar disponibili integrati, ove non disponibili, con le informazioni planoaltimetriche ricavate dalla Carta Tecnica Regionale con risoluzione 1:2000 e dal DTM Idrologico della Regione Toscana. Inoltre, per la modellazione del Lago di Londa, è stato utilizzato il rilievo batimetrico disponibile risalente al 2014.

Per simulare la presenza del lago di Londa lungo l'asta del Torrente Rincine è stata inserita una storage area definita dalla curva d'invaso ricavata dal suddetto rilievo (Figura 5.2).

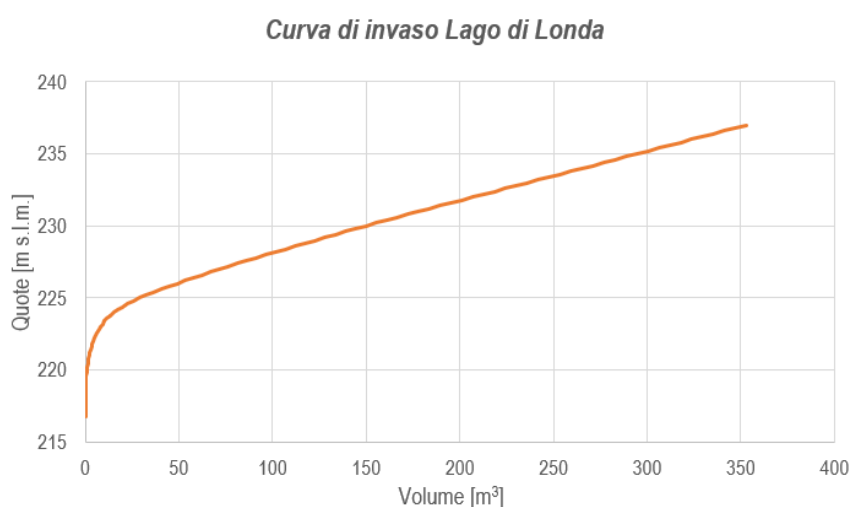


Figura 5.2 – Curva d'invaso del Lago di Londa

Nel modello la risoluzione generale della cella di calcolo della mesh è stata assegnata pari a 5 x 5 m su un areale di circa 0.39 km².

I tratti dei corsi d'acqua oggetto di studio, le sezioni fluviali e il dominio dell'area 2D sono riportati nella *Tavola IDR_ M08-09-10_01-Planimetria*. In tale planimetria sono riportate anche le condizioni al contorno implementate e descritte nel seguente paragrafo.

5.11.2 Condizioni al contorno e parametri del modello idraulico

Le condizioni al contorno del modello idraulico 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.

In Tabella 5.20 si riporta l'elenco degli input idrologici utilizzati nella modellistica idraulica.

La tabella riporta il corso d'acqua di riferimento, il tipo di immissione (CP contributi puntuali, CD i contributi distribuiti), la/e sezione/i sollecitate e la codifica del bacino che lo genera.

Nell'analisi del Torrente Moscia, oltre alla sollecitazione idrologica in testa, è stato inserito anche il contributo idrologico dell'affluente Fosso delle Sessole. Si rimanda alla Tabella 4.1 dov'è riportato l'elenco e la codifica dei bacini studiati idrologicamente.

CORSO D'ACQUA	TIPO IMMISSIONE	DA SEZ.	A SEZ.	CODICE CONTRIBUTO IDROLOGICO
TORRENTE MOSCIA	CP	00373__21	-	7671
TORRENTE RINCINE	CP	00099PB21	-	7672
TORRENTE MOSCIA	CD	00323BC21	00206BC21	7673
TORRENTE MOSCIA	CP	00289__21	-	7674*
FOSSO DELL'OLMO	CP	-	-	7674**
TORRENTE MOSCIA	CP	00201__21	-	7675
TORRENTE MOSCIA	CD	00198__21	00013PB21	7676

Tabella 5.20 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M10-Moscia

L'idrogramma del contributo 7674 è stato ripartito tra la sezione a valle del tombamento del Fosso dell'Olmo (7674*) e l'area 2D a monte del medesimo tratto tombato (7674**). Il valore della soglia relativo a tale ripartizione corrisponde alla portata massima smaltibile in moto uniforme dal tombamento, tale portata è stata applicata a valle del tratto tombato, in corrispondenza della sezione 00289__21 del Torrente Moscia come contributo idrologico puntuale. Sull'area 2D è stata assegnata la portata in eccesso, ovvero la differenza tra l'idrogramma idrologico e la portata smaltibile, in corrispondenza dell'ingresso al tombamento. La portata smaltibile dal tratto tombato equivale a 1.7 m³/s ed è stata calcolata con i seguenti parametri:

- D=0.8 m diametro della sezione,
- i=9% pendenza del tratto tombato
- n=0.03 s/m^{1/3} coefficiente di Manning del tratto tombato,
- grado di riempimento pari al 100%.

Gli idrogrammi completi sono riportati in *IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica*.

Nel presente modello idraulico le condizioni di valle sono state definite per il reticolo del Torrente Moscia pari al battente massimo dell'idrogramma dei livelli ottenuto dalla modellazione del Fiume Sieve **Modello idraulico sul F. Sieve da Bilancino a San Francesco – modello quasi 2D** sviluppato a partire dal modello dell'Autorità di Bacino Distrettuale in corrispondenza della sezione più prossima alla confluenza (RS 179). Tale livello è stato definito sia per gli eventi con tempo di ritorno di 30 anni che 200 anni. Per gli eventi con durate pari ad 1 e 4 ore nello Scenario Singolo bacino è stata definita come condizione di valle una pendenza di moto uniforme pari a 0.001 m/m. I reticoli del Fosso dell'Olmo e del Torrente Rincine si immettono nel Torrente Moscia e non necessitano di ulteriori condizioni di valle.

In Tabella 5.21 sono riportate le suddette condizioni di valle.

CORSO D'ACQUA	SEZ.	TR [anni]	d [h]	SCENARIO	LIVELLO [m s.l.m.]	TIPO	PENDENZA
TORRENTE MOSCIA	00004BC21	30	1.00	S	-	-	0.001
			4.00	S	-	-	0.001
			4.00	S	139.76	IDROGRAMMA	-
			4.00	G	139.76	IDROGRAMMA	-
			6.00	G	140.51	IDROGRAMMA	-
		200	1.00	S	-	-	0.001
			4.00	S	-	-	0.001
			4.00	S	140.40	IDROGRAMMA	-
			4.00	G	140.40	IDROGRAMMA	-
			6.00	G	141.13	IDROGRAMMA	-

Tabella 5.21 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M10-Moscia

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, è stato scelto di adottare un coefficiente di Manning pari a $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ per entrambi i reticoli modellati con modellazione mono-bidimensionale, ovvero il Torrente Moscia e il Torrente Rincine.

Per quanto riguarda la scabrezza delle aree limitrofe al corso d'acqua, simulate dal modello bidimensionale, si è scelto di adottare una scabrezza unica pari a $0.06 \text{ s/m}^{1/3}$.

In merito alle perdite di carico nelle strutture, i coefficienti utilizzati sono stati ricavati dalla letteratura disponibile. Tali valori, nel nostro caso, influenzano il modello in corrispondenza degli attraversamenti fluviali e nelle connessioni idrauliche (ad esempio sottoattraversamenti, ecc), che generano una brusca variazione di sezione. In particolare si è utilizzato un coefficiente di contrazione di 0.1 e un coefficiente di espansione di 0.3, tali valori sono standard nella modellazione delle perdite di carico.

5.11.3 Verifiche Idrauliche Implementate

Le verifiche idrauliche sono state svolte per gli eventi con TR 30 e 200 anni e durate di pioggia pari a 1-4-2 ore per gli scenari Singolo Bacino e 4-6 ore per lo Scenario Globale. Per ciascun reticolo è stata implementata una simulazione con Scenario Singolo bacino per durate pari alla durata critica, con K_r calcolato sull'areale del singolo bacino in modo da massimizzare gli effetti della singola asta/singolo contributo idrologico. In ogni scenario Singolo Bacino sono stati assegnati gli effettivi idrogrammi al reticolo di cui si intende massimizzare i contributi e portate fittizie sufficientemente basse da non generare esondazioni alle altre aste fluviali presenti nel modello. La necessità di assegnare una portata fittizia diversa da zero è data dalla stabilità stessa della simulazione.

Per lo Scenario Globale sono stati assegnati gli idrogrammi effettivi a tutti i reticoli facenti parte del modello idraulico in modo da massimizzare gli effetti dell'intero sistema fluviale associato utilizzando un K_r calcolato sull'intera estensione dei bacini oggetto di studio.

Gli idrogrammi completi sono riportati in *IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica*.

5.11.4 Risultati

L'implementazione della modellistica idraulica di tipo analitico fornisce, per ciascuno degli eventi studiati, i valori di massimo livello e portata in alveo per ciascuna sezione dei corsi d'acqua analizzati, ed i battenti e velocità nelle aree soggette ad allagamento.

I risultati in forma grafica delle sezioni fluviali del modello idraulico con l'indicazione del livello massimo atteso per TR=30-200 anni (involuppo dei livelli per le varie durate di pioggia) sono riportati nell'elaborato *IDR_M08-09-10_02-Libretto*. Per quanto riguarda le aree allagate, i risultati sono sintetizzati, in termini di battenti e velocità massime attese ricavate dall'involuppo di tutti gli eventi simulati, nelle seguenti tavole:

- Involuppo dei battenti idrometrici massimi nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C02_5_Battenti_TR30_Quadro_5
PSI_QC_C03_5_Battenti_TR2000_Quadro_5
- Involuppo delle velocità massime nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C04_5_Velocità_TR30_Quadro_5
PSI_QC_C05_5_Velocità_TR200_Quadro_5
- Involuppo delle magnitudo nelle aree allagate per TR=200 anni:
PSI_QC_C06_5_Magnitudo_TR200_Quadro_5

Di seguito si riportano le principali criticità rilevate in termini di esondazioni e aree allagate.

Sul torrente Rincine, per il tratto a valle del lago, si hanno per TR=30 anni piccoli allagamenti solo in destra idraulica nei pressi della confluenza con il Torrente Moscia per un tratto lungo circa 100 m. Questi allagamenti sono causati dal superamento dei confinamenti in corrispondenza di una

briglia presente tra il ponte di via Iacopo Ricci a monte e la confluenza a valle e dal superamento dei confinamenti nell'ultimo tratto nei pressi della confluenza. In sinistra si hanno criticità simili sia nei pressi della briglia citata sopra, sia nei pressi della confluenza e in un breve tratto compreso tra questi. Per TR=200 anni si hanno in destra le stesse criticità, mentre in sinistra si ha il superamento dei confinamenti sostanzialmente per quasi tutto il tratto compreso tra la briglia e la confluenza. Cosa che comporta maggiori allagamenti adiacenti al tratto a cui stiamo facendo riferimento.

Il Torrente Moscia presenta criticità a partire dalla confluenza con il Rincine; per TR=30 anni si ha il superamento in sinistra dei confinamenti per un tratto di circa 50 m nei pressi del campo da calcio che ricade all'interno del perimetro urbanizzato. Lo stesso avviene per un lungo tratto di circa 300 m compreso tra le due anse del Torrente. Il ponte compreso in questo tratto risulta insufficiente al passaggio della corrente e crea rigurgito a monte. Lo stesso avviene, sempre in sinistra, per il tratto compreso tra le due anse successive. Si ha esondazione anche per un tratto di circa 100 m a monte dell'attraversamento della strada secondaria che si immette nella SS Stia-Londa all'altezza del chilometro IX che porta al civico 154 in località Contea. L'attraversamento è insufficiente già per portate riferite ad eventi trentennali. Questo superamento comporta un allagamento generalizzato della zona circostante verso sud fino a dove si ha il piede del versante. Sempre in sinistra per TR=200 anni, si hanno sostanzialmente le stesse criticità con aree allagate più estese e con l'ulteriore esondazione a monte del piccolo ponte pedonale nei pressi del campo da calcio. Questa esondazione crea un'area allagata che va ad occupare quasi l'intero campo che ricade all'interno dell'area urbanizzata. In destra si ha esondazione nei pressi della confluenza con il Torrente Rincine e sormonto per un tratto di circa 200 m a monte dell'ansa del torrente che si trova in corrispondenza dell'incrocio della SS Stia-Londa con la strada che porta alla frazione S. Detole. L'esondazione crea un'area allagata in tutta la zona adiacente al corso d'acqua senza arrivare alla strada statale in rilevato. L'esondazione successiva si ha per un tratto di circa 300 m a monte dell'attraversamento della strada secondaria che si immette nella SS Stia-Londa all'altezza del chilometro IX che porta al civico 154 in località Contea. Per TR=200 anni si ha l'ulteriore esondazione a monte del piccolo ponte pedonale nei pressi del campo da calcio; un maggiore superamento dei confinamenti a monte dell'attraversamento nei pressi dell'incrocio che porta dalla SS Stia-Londa alla frazione Vicorati e un'esondazione per una breve tratto (circa 30 m) circa 100 m a valle dell'attraversamento che porta ai numeri civici 156-164 in località Contea. Questa esondazione, a causa della morfologia del terreno che pende verso valle, scorre fino ad unirsi all'area allagata successiva data dall'esondazione del tratto a monte dell'attraversamento della strada secondaria che si immette nella SS Stia-Londa all'altezza del chilometro IX che porta al civico 154 in località Contea.

Il tratto studiato del Fosso dell'Olmo presenta un tombamento che risulta insufficiente al passaggio delle portate già per idrogrammi relativi a TR=30 anni. L'acqua che non riesce a passare dal tombamento scorre in superficie verso valle seguendo preferenzialmente il tracciato viario andando ad occupare l'incrocio tra la SS Stia-Londa e via Pertini. L'acqua continua in suo percorso in superficie verso valle e dopo verso nord ovest dato che le quote del terreno decrescono in questa direzione.

5.12 modello idrologico idraulico 11 - rimaggio

Il modello idrologico idraulico implementato è un modello accoppiato mono-bidimensionale che comprende un'unica asta fluviale, il Colatore 1 – Rimaggio, e si sviluppa nell'omonima frazione nel Comune di Rufina.

Il tratto in esame si estende a nord della Strada Provinciale 91, attraversa l'abitato di Rimaggio e termina alla confluenza del Colatore con l'affluente del Borro della Doccia.

Nella Tavola *IDR_GEN_01-Inquadramento Generale* si riporta il reticolo idraulico preso a riferimento nelle verifiche idrauliche del Modello 11 – Rimaggio

5.12.1 Caratterizzazione dei corsi d'acqua e delle aree di interesse

Per quanto riguarda la caratterizzazione geometrica e topografica dei reticoli (numero di sezioni, lunghezza del tratto analizzato e provenienza del dato topografico) si faccia riferimento alla Tabella 5.1.

Per la modellazione dei territori limitrofi è stato costruito un modello digitale del terreno sulla base delle informazioni planoaltimetriche ricavate dalla Carta Tecnica Regionale con risoluzione 1:2000.

Nel modello la risoluzione generale della cella di calcolo della mesh è stata assegnata pari a 1 x 1 m su un areale di circa 1450 m².

Il tratto di corso d'acqua oggetto di studio, le sezioni fluviali e il dominio dell'area 2D sono riportati nella *Tabola IDR_M11-12_01-Planimetria*. In tale planimetria sono riportate anche le condizioni al contorno implementate e descritte nel seguente paragrafo.

5.12.2 Condizioni al contorno e parametri del modello idraulico

Le condizioni al contorno del modello idraulico sono rappresentate da:

- Sollecitazioni idrologiche in testa al tratto simulato idraulicamente;
- Condizioni al contorno di valle.

In Tabella 5.22 si riporta l'elenco degli input idrologici utilizzati nella modellistica idraulica.

La tabella riporta il corso d'acqua di riferimento, il tipo di immissione (CP contributo puntuale, in questo caso sollecitazione idrologica in testa), la/e sezione/i sollecitate e la codifica del bacino che lo genera. Si rimanda alla Tabella 4.1 dov'è riportato l'elenco e la codifica dei bacini studiati idrologicamente.

CORSO D'ACQUA	TIPO IMMISSIONE	DA SEZ.	A SEZ.	CODICE CONTRIBUTO IDROLOGICO
COLATORE 1 RIMAGGIO	CP	00020_21	-	7688A

Tabella 5.22 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M11-Rimaggio

Come condizione di valle è stata posta una pendenza di moto uniforme pari al 1% alla sezione 00007BC21 come riportato in Tabella 5.23.

CORSO D'ACQUA	SEZ.	TR [anni]	d [h]	SCENARIO	LIVELLO [m s.l.m.]	TIPO	PENDENZA
COLATORE 1 RIMAGGIO	00007BC21	30	0.50	S	-	-	0.01
			1.00	S	-	-	0.01
		200	0.50	S	-	-	0.01
			1.00	S	-	-	0.01

Tabella 5.23 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M11-Rimaggio

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, è stato scelto di adottare un coefficiente di Manning pari a 0.07 s/m^{1/3}.

Per quanto riguarda la scabrezza delle aree limitrofe al corso d'acqua, simulate dal modello bidimensionale, si è scelto di adottare una scabrezza unica pari a 0.06 s/m^{1/3}.

In merito alle perdite di carico nelle strutture, i coefficienti utilizzati sono stati ricavati dalla letteratura disponibile. Tali valori, nel nostro caso, influenzano il modello in corrispondenza degli attraversamenti fluviali e nelle connessioni idrauliche (ad esempio sottoattraversamenti, ecc), che generano una brusca variazione di sezione. In particolare si è utilizzato un coefficiente di contrazione di 0.1 e un coefficiente di espansione di 0.3, tali valori sono standard nella modellazione delle perdite di carico.

5.12.3 Verifiche Idrauliche implementate

Le verifiche idrauliche sono state svolte per gli eventi con TR 30 e 200 anni e durate di pioggia pari a 0.5-1 ore per lo scenario Singolo Bacino con Kr calcolato sull'area del singolo bacino. Gli idrogrammi completi sono riportati in *IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica*.

5.12.4 Risultati

L'implementazione della modellistica idraulica di tipo analitico fornisce, per ciascuno degli eventi studiati, i valori di massimo livello e portata in alveo per ciascuna sezione dei corsi d'acqua analizzati, ed i battenti e velocità nelle aree soggette ad allagamento.

I risultati in forma grafica delle sezioni fluviali del modello idraulico con l'indicazione del livello massimo atteso per TR=30-200 anni (involuppo dei livelli per le varie durate di pioggia) sono riportati nell'elaborato *IDR_M11-12_02-Libretto*. Per quanto riguarda le aree allagate, i risultati sono sintetizzati, in termini di battenti e velocità massime attese ricavate dall'involuppo di tutti gli eventi simulati, nelle seguenti tavole:

- Involuppo dei battenti idrometrici massimi nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C02_5_Battenti_TR30_Quadro_5
PSI_QC_C03_5_Battenti_TR2000_Quadro_5
- Involuppo delle velocità massime nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C04_5_Velocità_TR30_Quadro_5
PSI_QC_C05_5_Velocità_TR200_Quadro_5
- Involuppo delle magnitudo nelle aree allagate per TR=200 anni:
PSI_QC_C06_5_Magnitudo_TR200_Quadro_5

Di seguito si riportano le principali criticità rilevate in termini di esondazioni e aree allagate.

A monte il colatore risulta essere sufficientemente incassato da non dare luogo ad esondazioni, mentre a valle, già per TR=30 si ha sormonto in destra prima del ponte successivo alla SP 91 per circa 2 metri. Il piccolo ponte risulta insufficiente al passaggio della portata. Sempre in destra, si ha esondazione qualche metro più a valle per un breve tratto (circa 2 m) e nell'ultimo tratto finale per circa 10 m. Le aree allagate rimangono circoscritte e adiacenti al corso l'acqua.

5.13 Modello Idrologico Idraulico 12 - Pomino

Il modello idrologico idraulico implementato è un modello accoppiato mono-bidimensionale che comprende un'unica asta fluviale, il Fosso del Palagio, e si sviluppa nella frazione di Pomino nel Comune di Rufina.

Il tratto in esame si estende da monte dell'abitato di Pomino, ad est della zona edificata, fino alla Strada Provinciale 91.

Nella Tavola *IDR_GEN_01-Inquadramento Generale* si riporta il reticolo idraulico preso a riferimento nelle verifiche idrauliche del Modello 12 – Pomino.

5.13.1 Caratterizzazione Dei Corsi D'acqua E Delle Aree Di Interesse

Per quanto riguarda la caratterizzazione geometrica e topografica dei reticoli (numero di sezioni, lunghezza del tratto analizzato e provenienza del dato topografico) si faccia riferimento alla Tabella 5.1.

Per la modellazione dei territori limitrofi è stato costruito un modello digitale del terreno sulla base delle informazioni planoaltimetriche ricavate dalla Carta Tecnica Regionale con risoluzione 1:2000.

Nel modello la risoluzione generale della cella di calcolo della mesh è stata assegnata pari a 5 x 5 m su un areale di circa 0.15 km².

Il tratto di corso d'acqua oggetto di studio, le sezioni fluviali e il dominio dell'area 2D sono riportati nella *Tavola IDR_M11-12_01-Planimetria*. In tale planimetria sono riportate anche le condizioni al contorno implementate e descritte nel seguente paragrafo.

5.13.2 Condizioni al contorno e parametri del modello idraulico

Le condizioni al contorno del modello idraulico sono rappresentate da:

- Sollecitazioni idrologiche in testa al tratto simulato idraulicamente;
- Condizioni al contorno di valle.

In Tabella 5.24 si riporta l'elenco degli input idrologici utilizzati nella modellistica idraulica.

La tabella riporta il corso d'acqua di riferimento, il tipo di immissione (CP contributo puntuale, in questo caso sollecitazioni idrologica in testa), la/e sezione/i sollecitate e la codifica del bacino che lo genera. Si rimanda alla Tabella 4.1 dov'è riportato l'elenco e la codifica dei bacini studiati idrologicamente.

CORSO D'ACQUA	TIPO IMMISSIONE	DA SEZ.	A SEZ.	CODICE CONTRIBUTO IDROLOGICO
FOSSO DEL PALAGIO	CP	00215__21	-	7688B

Tabella 5.24 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M12-Pomino

Come condizione di valle è stata posta una pendenza di moto uniforme pari all'1% alla sezione 00180PC21 come riportato in Tabella 5.25.

CORSO D'ACQUA	SEZ.	TR [anni]	d [h]	SCENARIO	LIVELLO [m s.l.m.]	TIPO	PENDENZA
FOSSO DEL PALAGIO	00180PC21	30	0.50	S	-	-	0.01
			1.00	S	-	-	0.01
			2.00	S	-	-	0.01
		200	0.50	S	-	-	0.01
			1.00	S	-	-	0.01
			2.00	S	-	-	0.01

Tabella 5.25 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M12-Pomino

Le condizioni al contorno applicate alle aree a modellazione bidimensionale dipendono dalla posizione del confine del dominio di calcolo. Sui bordi che si affacciano sui territori a valle sono state poste condizioni di efflusso libero ("Free Flow") in moto uniforme, controllate dalla pendenza locale del terreno, pari a 0.01 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 ad ogni corso d'acqua, il coefficiente di scabrezza, secondo Manning, più appropriato.

In particolare, è stato scelto di adottare un coefficiente di Manning pari a $0.05 \text{ s/m}^{1/3}$ per tutti e tre i reticoli.

Per quanto riguarda la scabrezza delle aree limitrofe al corso d'acqua, simulate dal modello bidimensionale, si è scelto di adottare una scabrezza unica pari a $0.06 \text{ s/m}^{1/3}$.

In merito alle perdite di carico nelle strutture, i coefficienti utilizzati sono stati ricavati dalla letteratura disponibile. Tali valori, nel nostro caso, influenzano il modello in corrispondenza degli attraversamenti fluviali e nelle connessioni idrauliche (ad esempio sottoattraversamenti, ecc), che generano una brusca variazione di sezione. In particolare si è utilizzato un coefficiente di contrazione di 0.1 e un coefficiente di espansione di 0.3, tali valori sono standard nella modellazione delle perdite di carico.

5.13.3 Verifiche Idrauliche implementate

Le verifiche idrauliche sono state svolte per gli eventi con TR 30 e 200 anni e durate di pioggia pari a 1-2 ore per lo scenario Singolo Bacino con Kr calcolato sull'area del singolo bacino. Gli idrogrammi completi sono riportati in *IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica*.

5.13.4 Risultati

L'implementazione della modellistica idraulica di tipo analitico fornisce, per ciascuno degli eventi studiati, i valori di massimo livello e portata in alveo per ciascuna sezione dei corsi d'acqua analizzati, ed i battenti e velocità nelle aree soggette ad allagamento.

I risultati in forma grafica delle sezioni fluviali del modello idraulico con l'indicazione del livello massimo atteso per TR=30-200 anni (involuppo dei livelli per le varie durate di pioggia) sono riportati nell'elaborato *IDR_M11-12_02-Libretto*. Per quanto riguarda le aree allagate, i risultati sono sintetizzati, in termini di battenti e velocità massime attese ricavate dall'involuppo di tutti gli eventi simulati, nelle seguenti tavole:

- Inviluppo dei battenti idrometrici massimi nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C02_5_Battenti_TR30_Quadro_5
PSI_QC_C03_5_Battenti_TR2000_Quadro_5
- Inviluppo delle velocità massime nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C04_5_Velocità_TR30_Quadro_5
PSI_QC_C05_5_Velocità_TR200_Quadro_5
- Inviluppo delle magnitudo nelle aree allagate per TR=200 anni:
PSI_QC_C06_5_Magnitudo_TR200_Quadro_5

Di seguito si riportano le principali criticità rilevate in termini di esondazioni e aree allagate.

Gli attraversamenti presenti sul fosso sono sei, di cui il primo a monte su Via Fontanieri e l'ultimo a valle sulla SP91 mentre il penultimo è rappresentato dall'attraversamento di via Luigi Longo. Gli altri tre collegano l'area verde compresa tra Via Fontanieri a monte e via Longo a valle.

Già per eventi con TR=30 anni tutte le opere presenti nel tratto di studio sono insufficienti e creano rigurgito dando luogo ad esondazioni localizzate a monte degli attraversamenti. A causa della morfologia del terreno pendente verso nord si hanno maggiori e più estese aree allagate in destra, mentre in sinistra rimangono confinate lungo il corso d'acqua.

5.14 Modello Idrologico Idraulico 13 – San Bavello

Il modello idrologico idraulico implementato è un modello accoppiato mono-bidimensionale che ricomprende i seguenti reticoli:

- Torrente San Godenzo
- Fosso di Corella

e si estende all'interno dei territori afferenti alla frazione di San Bavello nel Comune di San Godenzo

L'ambito di studio del presente modello si sviluppa lungo la Strada Statale 67 all'interno dell'area industriale della suddetta frazione.

Nella Tavola *IDR_GEN_01-Inquadramento Generale* si riporta il reticolo idraulico preso a riferimento nelle verifiche idrauliche del Modello 13 – San Bavello

5.14.1 Caratterizzazione Dei Corsi D'acqua E Delle Aree Di Interesse

Per quanto riguarda la caratterizzazione geometrica e topografica dei reticoli (numero di sezioni, lunghezza del tratto analizzato e provenienza del dato topografico) si faccia riferimento alla Tabella 5.1.

Per la modellazione dei territori limitrofi è stato costruito un modello digitale del terreno ottenuto dalle informazioni planoaltimetriche ricavate dalla Carta Tecnica Regionale con risoluzione 1:2000 e, ove non disponibile, dalla Carta Tecnica Regionale con risoluzione 1:10000.

Nel modello la risoluzione generale della cella di calcolo della mesh è stata assegnata pari a 5 x 5 m su un areale di circa 0.12 km².

I tratti dei corsi d'acqua oggetto di studio, le sezioni fluviali e il dominio dell'area 2D sono riportati nella *Tavola IDR_M13_01-Planimetria*. In tale planimetria sono riportate anche le condizioni al contorno implementate e descritte nel seguente paragrafo.

5.14.2 Condizioni al contorno e parametri del modello idraulico

Le condizioni al contorno del modello idraulico sono rappresentate da:

- Sollecitazioni idrologiche in testa ad ogni tratto simulato idraulicamente;
- Condizioni al contorno di valle.

In Tabella 5.26 si riporta l'elenco degli input idrologici utilizzati nella modellistica idraulica.

La tabella riporta il corso d'acqua di riferimento, il tipo di immissione (CP contributi puntuali, in questo caso sollecitazioni idrologiche in testa), la/e sezione/i sollecitate e la codifica del bacino che lo genera. Si rimanda alla Tabella 4.1 dov'è riportato l'elenco e la codifica dei bacini studiati idrologicamente.

CORSO D'ACQUA	TIPO IMMISSIONE	DA SEZ.	A SEZ.	CODICE CONTRIBUTO IDROLOGICO
TORRENTE SAN GODENZO	CP	00733__21	-	7671
FOSSO DI CORELLA	CP	00016__21	-	7672

Tabella 5.26 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M13-San Bavello

Come condizione di valle è stata posta una pendenza di moto uniforme pari al 1% alla sezione 00546__21 come riportato in Tabella 5.27.

Il Fosso di Corella si immette nel Torrente San Godenzo; pertanto, non necessita di ulteriori condizioni di valle.

CORSO D'ACQUA	SEZ.	TR [anni]	d [h]	SCENARIO	LIVELLO [m s.l.m.]	TIPO	PENDENZA
TORRENTE SAN GODENZO	00546__21	30	3.00	S	-	-	0.01
			5.00	S	-	-	0.01
			5.00	G	-	-	0.01
			6.00	G	-	-	0.01
		200	3.00	S	-	-	0.01
			5.00	S	-	-	0.01
			5.00	G	-	-	0.01
			6.00	G	-	-	0.01

Tabella 5.27 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M13-San Bavello

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, è stato scelto di adottare un coefficiente di Manning pari a 0.045 s/m^{1/3} per entrambi i reticoli.

Per quanto riguarda la scabrezza delle aree limitrofe al corso d'acqua, simulate dal modello bidimensionale, si è scelto di adottare una scabrezza unica pari a 0.06 s/m^{1/3}.

In merito alle perdite di carico nelle strutture, i coefficienti utilizzati sono stati ricavati dalla letteratura disponibile. Tali valori, nel nostro caso, influenzano il modello in corrispondenza degli attraversamenti fluviali e nelle connessioni idrauliche (ad esempio sottoattraversamenti, ecc), che

generano una brusca variazione di sezione. In particolare si è utilizzato un coefficiente di contrazione di 0.1 e un coefficiente di espansione di 0.3, tali valori sono standard nella modellazione delle perdite di carico.

5.14.3 Verifiche Idrauliche implementate

Le verifiche idrauliche sono state svolte per gli eventi con TR 30 e 200 anni e durate di pioggia pari a 3-5 ore per gli scenari Singolo Bacino e 5-6 ore per lo Scenario Globale. Per ciascun reticolo è stata implementata una simulazione con Scenario Singolo bacino per durate pari alla durata critica, con Kr calcolato sull'areale del singolo bacino in modo da massimizzare gli effetti della singola asta/singolo contributo idrologico. In ogni scenario Singolo Bacino sono stati assegnati gli effettivi idrogrammi al reticolo di cui si intende massimizzare i contributi e portate fittizie sufficientemente basse da non generare esondazioni alle altre aste fluviali presenti nel modello. La necessità di assegnare una portata fittizia diversa da zero è data dalla stabilità stessa della simulazione.

Per lo Scenario Globale sono stati assegnati gli idrogrammi effettivi a tutti i reticoli facenti parte del modello idraulico in modo da massimizzare gli effetti dell'intero sistema fluviale associato utilizzando un Kr calcolato sull'intera estensione dei bacini oggetto di studio.

Gli idrogrammi completi sono riportati in IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica.

5.14.4 Risultati

L'implementazione della modellistica idraulica di tipo analitico fornisce, per ciascuno degli eventi studiati, i valori di massimo livello e portata in alveo per ciascuna sezione dei corsi d'acqua analizzati, ed i battenti e velocità nelle aree soggette ad allagamento.

I risultati in forma grafica delle sezioni fluviali del modello idraulico con l'indicazione del livello massimo atteso per TR=30-200 anni (iniluppo dei livelli per le varie durate di pioggia) sono riportati nell'elaborato *IDR_M13_02-Libretto* Per quanto riguarda le aree allagate, i risultati sono sintetizzati, in termini di battenti e velocità massime attese ricavate dall'iniluppo di tutti gli eventi simulati, nelle seguenti tavole:

- Iniluppo dei battenti idrometrici massimi nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C02_5_Battenti_TR30_Quadro_2
PSI_QC_C03_5_Battenti_TR2000_Quadro_2
- Iniluppo delle velocità massime nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C04_5_Velocità_TR30_Quadro_2
PSI_QC_C05_5_Velocità_TR200_Quadro_2
- Iniluppo delle magnitudo nelle aree allagate per TR=200 anni:
PSI_QC_C06_5_Magnitudo_TR200_Quadro_2

Di seguito si riportano le principali criticità rilevate in termini di esondazioni e aree allagate.

Il Torrente San Godenzo scorre lungo la SS67 che nella maggior parte dei punti risulta essere a quote superiori rispetto al corso d'acqua. Il tratto di San Godenzo in esame presenta in destra idraulica due zone abitate edificate. Le opere presenti sono due ponti sul San Godenzo e una sul Corella. Il primo ponte sul San Godenzo collega la SS67 con una strada secondaria a monte del secondo nucleo di costruzioni mentre l'altro è subito a valle dello stesso nucleo. A valle di quest'ultimo ponte è presente una briglia. Il ponte sul Corella è situato circa 100 metri a monte della confluenza.

Per TR=30 anni nel tratto a monte, dove si trovano le prime due aree abitate, non si hanno esondazioni né in sinistra né in destra idraulica. Andando verso valle, la prima esondazione si ha in sinistra a valle della briglia e a monte della curva che precede la confluenza. L'andamento del terreno, sostanzialmente pianeggiante consente all'acqua di espandersi su una superficie maggiore. L'area pianeggiante in corrispondenza della confluenza tra il torrente San Godenzo e il fosso di Corella si allaga a causa delle esondazioni che si verificano in due tratti lungo la sponda destra del San Godenzo. Per TR=200 anni questa area allagata è causata anche dalle esondazioni che si verificano in sinistra

del Fosso di Corella a valle del ponte della SS 67 Tosco Romagnola. L'espansione di questa area allagata è limitata a nord dall'incremento delle quote del terreno e dalla SS 67 Tosco Romagnola.

Il ponte presente sul breve tratto studiato del Fosso di Corella permette il regolare deflusso dell'acqua. Per TR 30 anni il corella è caratterizzato solo da un'esondazione in destra idraulica a valle del ponte della SS 67 Tosco Romagnola, mentre per TR=200 anni esonda sia in destra che in sinistra sempre nel tratto a valle del ponte. In destra l'esondazione dà luogo ad un'area allagata circoscritta e limitata dal terreno circostante che tende subito a salire di quota e dalla SS 67 Tosco Romagnola. Mentre in destra, come già detto, l'esondazione del Corella insieme a quelle in destra del San Bavello allagano l'area alla confluenza.

5.15 Modello Idrologico Idraulico 14 – Castagno

Il modello idrologico idraulico implementato è un modello accoppiato mono-bidimensionale che ricomprende i seguenti reticoli:

- Fosso dell'Acquatorta
- Affluente del Fosso dell'Acquatorta
- Torrente Le Prata

e si estende all'interno dei territori afferenti alla frazione di Castagno d'Andrea nel Comune di San Godenzo.

L'ambito di studio del presente modello si sviluppa a partire da monte dell'abitato della suddetta frazione e attraversa l'area edificata da sud a nord, i tre reticoli confluiscono in una zona esterna ai territori urbanizzati.

Nella Tavola *IDR_GEN_01-Inquadrimento Generale* si riporta il reticolo idraulico preso a riferimento nelle verifiche idrauliche del Modello 14 – Castagno.

5.15.1 Caratterizzazione dei corsi d'acqua e delle aree di interesse

Per quanto riguarda la caratterizzazione geometrica e topografica dei reticoli (numero di sezioni, lunghezza del tratto analizzato e provenienza del dato topografico) si faccia riferimento alla Tabella 5.1

Il tratto più a monte dell'Affluente del fosso dell'Acquatorta è costituito da un tombamento lungo circa 90 m che si estende da monte di Via Delle Prata, fuori dall'abitato, fino alla sezione 00021PC21. Data la difficoltà di geometrizzare correttamente il reticolo, sia in termini di geometria della sezione che in termini di pendenza del tratto, su tale lunghezza è stata eseguita una modellazione di tipo bidimensionale priva della componente monodimensionale di modellazione idraulica in alveo. I deflussi in alveo sono stati schematizzati tramite una sollecitazione idrologica applicata alla sezione di valle del tombamento mentre la propagazione delle piene sulle aree inondabili è stata schematizzata con un contributo idrologico assegnato all'area 2D, come dettagliato nel paragrafo successivo.

Per la modellazione dei territori limitrofi è stato costruito un modello digitale del terreno ottenuto dalle informazioni planoaltimetriche ricavate dalla Carta Tecnica Regionale con risoluzione 1:2000, integrate e adeguate sulle informazioni relative alle sezioni rilevate da rilievo 2021. Si precisa che il modello digitale del terreno ottenuto in prima battuta dalla CTR 1:2000 è stato modificato abbassando tutte le quote di 1.17 m poiché incongruente con i dati rilevati e successivamente integrato con le informazioni relative alle quote di sponda.

Nel modello la risoluzione generale della cella di calcolo della mesh è stata assegnata pari a 5 x 5 m su un areale di circa 0.59 km².

I tratti dei corsi d'acqua oggetto di studio, le sezioni fluviali e il dominio dell'area 2D sono riportati nella *Tavola IDR_M14_01-Planimetria*. In tale planimetria sono riportate anche le condizioni al contorno implementate e descritte nel seguente paragrafo.

5.15.2 Condizioni al contorno e parametri del modello idraulico

Le condizioni al contorno del modello idraulico sono rappresentate da:

- Sollecitazioni idrologiche in testa ad ogni tratto simulato idraulicamente;
- Condizioni al contorno di valle.

In Tabella 5.28 si riporta l'elenco degli input idrologici utilizzati nella modellistica idraulica.

La tabella riporta il corso d'acqua di riferimento, il tipo di immissione (CP contributi puntuali, in questo caso sollecitazioni idrologiche in testa), la/e sezione/i sollecitate e la codifica del bacino che lo genera. Si rimanda alla Tabella 4.1 dove è riportato l'elenco e la codifica dei bacini studiati idrologicamente.

CORSO D'ACQUA	TIPO IMMISSIONE	DA SEZ.	A SEZ.	CODICE CONTRIBUTO IDROLOGICO
FOSSO DELL'ACQUATORTA	CP	00217__21	-	7673
FOSSO DELL'ACQUATORTA - AFFLUENTE	CP	00021PC21	-	7674*
FOSSO DELL'ACQUATORTA - AFFLUENTE	Contributo da area 2D	Area 2	-	7674*
TORRENTE LE PRATA	CP	00043PB21	-	7675

Tabella 5.28 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M14-Castagno

L'idrogramma del contributo 7674 è stato ripartito tra la sezione a valle del tombamento dell'Affluente del Fosso dell'Acquatorta (7674*) e l'area 2D a monte del medesimo tratto tombato (7674**). Il valore della soglia relativo a tale ripartizione corrisponde alla portata massima smaltibile in moto uniforme dal tombamento, tale portata è stata applicata a valle del tratto tombato in corrispondenza della prima sezione del modello monodimensionale come sollecitazione idrologica in testa al reticolo. Sull'area 2D è stata assegnata la portata in eccesso, ovvero la differenza tra l'idrogramma idrologico e la portata smaltibile, localizzandola all'ingresso del tombamento. La suddetta portata è pari a 2.7 m³/s ed è stata calcolata con i seguenti parametri:

- h = 0.6 m altezza della sezione scatolare
- L = 1.33 m larghezza della sezione scatolare
- i = 5% pendenza del tratto tombato
- n = 0.03 s/m^{1/3} coefficiente di Manning del tratto tombato,
- grado di riempimento pari al 100%.

Come condizione di valle è stata posta una pendenza di moto uniforme pari all'1% alla sezione 00142__21 del Fosso dell'Acquatorta come riportato in Tabella 5.29.

L'Affluente del Fosso dell'Acquatorta e il Torrente le Prata si immettono nel Fosso dell'Acquatorta; pertanto, non necessitano di ulteriori condizioni di valle.

CORSO D'ACQUA	SEZ.	TR [anni]	d [h]	SCENARIO	LIVELLO [m s.l.m.]	TIPO	PENDENZA
FOSSO DELL'ACQUATORTA	00142__21	30	1.00	S	-	-	0.04
			1.00	G	-	-	0.04
			2.00	G	-	-	0.04
		200	1.00	S	-	-	0.04
			1.00	G	-	-	0.04
			2.00	G	-	-	0.04

Tabella 5.29 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M14-Castagno

Le condizioni al contorno applicate alle aree a modellazione bidimensionale dipendono dalla posizione del confine del dominio di calcolo. Sui bordi che si affacciano sui territori a valle sono state poste condizioni di efflusso libero ("Free Flow") in moto uniforme, controllate dalla pendenza locale del terreno, pari a 0.001 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 ad ogni corso d'acqua, il coefficiente di scabrezza, secondo Manning, più appropriato.

In particolare, è stato scelto di adottare un coefficiente di Manning pari a $0.055 \text{ s/m}^{1/3}$ per il Fosso dell'Acquatorta, $0.05 \text{ s/m}^{1/3}$ per il suo affluente, $0.045 \text{ s/m}^{1/3}$ per il Torrente Le Prata.

Per quanto riguarda la scabrezza delle aree limitrofe al corso d'acqua, simulate dal modello bidimensionale, si è scelto di adottare una scabrezza unica pari a $0.06 \text{ s/m}^{1/3}$.

In merito alle perdite di carico nelle strutture, i coefficienti utilizzati sono stati ricavati dalla letteratura disponibile. Tali valori, nel nostro caso, influenzano il modello in corrispondenza degli attraversamenti fluviali e nelle connessioni idrauliche (ad esempio sottoattraversamenti, ecc), che generano una brusca variazione di sezione. In particolare si è utilizzato un coefficiente di contrazione di 0.1 e un coefficiente di espansione di 0.3, tali valori sono standard nella modellazione delle perdite di carico.

5.15.3 Verifiche Idrauliche implementate

Le verifiche idrauliche sono state svolte per gli eventi con TR 30 e 200 anni e durate di pioggia pari a 1 ora per gli scenari Singolo Bacino e 1-2 ore per lo Scenario Globale. Per ciascun reticolo è stata implementata una simulazione con Scenario Singolo bacino per durate pari alla durata critica, con K_r calcolato sull'areale del singolo bacino in modo da massimizzare gli effetti della singola asta/singolo contributo idrologico. In ogni scenario Singolo Bacino sono stati assegnati gli effettivi idrogrammi al reticolo di cui si intende massimizzare i contributi e portate fittizie sufficientemente basse da non generare esondazioni alle altre aste fluviali presenti nel modello. La necessità di assegnare una portata fittizia diversa da zero è data dalla stabilità stessa della simulazione.

Per lo Scenario Globale sono stati assegnati gli idrogrammi effettivi a tutti i reticoli facenti parte del modello idraulico in modo da massimizzare gli effetti dell'intero sistema fluviale associato utilizzando un K_r calcolato sull'intera estensione dei bacini oggetto di studio.

Gli idrogrammi completi sono riportati in IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica.

5.15.4 Risultati

L'implementazione della modellistica idraulica di tipo analitico fornisce, per ciascuno degli eventi studiati, i valori di massimo livello e portata in alveo per ciascuna sezione dei corsi d'acqua analizzati, ed i battenti e velocità nelle aree soggette ad allagamento.

I risultati in forma grafica delle sezioni fluviali del modello idraulico con l'indicazione del livello massimo atteso per TR=30-200 anni (involuppo dei livelli per le varie durate di pioggia) sono riportati nell'elaborato *IDR_M14_02-Libretto* Per quanto riguarda le aree allagate, i risultati sono sintetizzati, in termini di battenti e velocità massime attese ricavate dall'involuppo di tutti gli eventi simulati, nelle seguenti tavole:

- Involuppo dei battenti idrometrici massimi nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C02_3_Battenti_TR30_Quadro_3
PSI_QC_C03_3_Battenti_TR2000_Quadro_3
- Involuppo delle velocità massime nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C04_3_Velocità_TR30_Quadro_3
PSI_QC_C05_3_Velocità_TR200_Quadro_3
- Involuppo delle magnitudo nelle aree allagate per TR=200 anni:
PSI_QC_C06_3_Magnitudo_TR200_Quadro_3

Di seguito si riportano le principali criticità rilevate in termini di esondazioni e aree allagate

Lungo il fosso dell'Acquatorta si registra una criticità locale per eventi trentennali e duecentennali in sinistra e in destra idraulica nel tratto a valle del tombato che ha l'imbocco in corrispondenza dell'intersezione con via del Falterona a causa di contenimenti idraulici insufficienti ;e più a valle, in corrispondenza dell'attraversamento sulla Strada Provinciale del Castagno, poiché quest'ultimo risulta

inadeguato allo smaltimento delle portate. Per portate con TR=200 si risente del rigurgito fino a 5-6 m a monte dell'attraversamento soprattutto in sinistra idraulica. Le esondazioni in queste zone coinvolgono l'abitato della località **Castagno D'Andrea**, frazione del comune di **San Godenzo**. In particolare le portate esondate in sinistra idraulica a valle del tombamento rimangono circoscritte all'area prossima al fosso e si reimmettono nel fosso stesso poco più a valle, quelle esondate in destra idraulica si muovono verso valle interessando una vasta area della parte sud-est dell'abitato di Castagno D'Andrea e si reimmettono più a valle nel Fosso del Castagno. Le portate esondate che coinvolgono l'attraversamento sulla strada provinciale, si muovono verso valle fino a raggiungere il vicino Affluente del Fosso dell'Acquatorta. Si registra una criticità per TR=200 e TR=30 anche in corrispondenza di un tombamento più a valle il cui imbocco si trova in prossimità della Strada Provinciale del Castagno e la sezione di uscita subito a valle di Via delle Prata; tale tombamento è insufficiente allo smaltimento della portata, le aree allagate risultano comunque circoscritte. La confluenza con l'Affluente del fosso dell'Acquatorta e il Fosso delle Prata rappresenta un punto critico già per le trentennali nel quale hanno luogo esondazioni in destra e sinistra a causa delle quote delle sponde insufficienti.

Sull'affluente si registra un'insufficienza già per portate trentennali nel tratto tombato che ha inizio subito a monte di via delle Prata, fuori dall'abitato. La portata esondata segue la naturale pendenza del terreno muovendosi verso valle, prevalentemente in sinistra idraulica nella zona tra l'Affluente del Fosso dell'Acquatorta e il Torrente Le Prata, attraversando l'area edificata. Il Fosso risulta incassato fino alla confluenza con il Fosso dell'Acquatorta e si registra una criticità puntuale dovuta a contenimenti bassi circa cento metri più a valle della Strada provinciale del Castagno. Esonda alla confluenza in destra idraulica per portate con tempi di ritorno pari a 200 anni e in sinistra anche per portate trentennali. Le aree allagate rimangono circoscritte all'intorno della confluenza.

Per il Torrente Le Prata si registra insufficienza già per TR30 in corrispondenza del ponte su Via delle Prata all'incrocio tra Via delle Prata, Via delle Lame e la Strada provinciale del Castagno all'interno del centro abitato e più a valle per insufficienza del ponte sulla strada podereale adiacente a Via Delle Prata. Le portate rimangono circoscritte ad un'area adiacente al corso d'acqua sia in sinistra che in destra e si reimmettono nel Torrente stesso più a valle. In destra si hanno esondazioni puntuali per TR=30 e più diffuse per TR=200 dovute a contenimenti insufficienti, le aree allagate rimangono circoscritte nell'intorno del Torrente. Alla confluenza si hanno esondazioni sia in destra che in sinistra per portate trentennali e duecentennali.

5.16 Modello Idrologico Idraulico 15 – Colatori Pontassieve

Il modello idrologico idraulico implementato è un modello accoppiato mono-bidimensionale che ricomprende i seguenti reticoli:

- Colatore 1 - San Francesco
- Fosso Orselli
- Colatore 3 - Pontassieve

e si divide tra i territori della frazione di San Francesco nel Comune di Pelago in sinistra idraulica del Fiume Sieve, e di Pontassieve in destra idraulica.

L'ambito di studio dei tre reticoli si sviluppa a partire da fuori le aree urbanizzate di San Francesco e Pontassieve, attraversa gli abitati e termina in corrispondenza della confluenza con la Sieve.

Nella Tavola *IDR_GEN_01-Inquadramento Generale* si riporta il reticolo idraulico preso a riferimento nelle verifiche idrauliche del Modello 15– Colatori Pontassieve.

5.16.1 Caratterizzazione dei corsi d'acqua e delle aree di interesse

Considerata la difficoltà di geometrizzare correttamente i reticoli del Fosso Orselli e del Colatore 3- Pontassieve, sia in termini di geometria della sezione che in termini di pendenza del tratto del tratto oggetto di studio, su tali lunghezze è stata condotta una modellazione di tipo bidimensionale priva della componente monodimensionale di modellazione idraulica in alveo. La propagazione della

piena sulle aree inondabili è stata schematizzata con contributi idrologici sull'area 2D, come esposto nel paragrafo successivo. Vista la complessità di geometrizzazione del tratto tombato tale modellazione risulta adeguata a stimare le condizioni di allagabilità del territorio.

Dalla sezione 00047PB21 all'immissione nel Fiume Sieve il reticolo del Colatore 1- San Francesco risulta tombato, data la difficoltà nel geometrizzare correttamente tale tratto, poiché non è stato possibile rilevare eventuali variazioni di pendenza o di geometria della sezione, si è assunta cautelativamente una pendenza del tratto pari a 0.02 m/m, calcolata prendendo a riferimento le quote stradali da modello digitale del terreno, e una geometria con diametro 0.7 m corrispondente alla sezione rilevata con minor diametro.

Per quanto riguarda le informazioni relative al numero di sezioni rilevate, alla lunghezza del tratto analizzato e ai rilievi dai quali è stata ricavata la caratterizzazione geometrica dei reticoli si faccia riferimento alla Tabella 5.1.

Per la modellazione dei territori limitrofi è stato costruito un modello digitale del terreno ottenuto dai voli Lidar disponibili.

Nel modello la risoluzione generale della cella di calcolo della mesh è stata assegnata pari a 5 x 5 m su un areale di circa 1.91 km², assunto pari all'areale del modello M01-Arno per continuità.

All'interno dell'area di modellazione bidimensionale sono state inserite delle connessioni idrauliche atte a simulare la presenza dei due sottopassi presenti in corrispondenza della ferrovia e della SS67.

Entrambi i passaggi sono stati caratterizzati e modellati con uno scatolare con le seguenti dimensioni:

- Altezza H = 2.50 m, larghezza L = 2.00 m per il sottopassaggio sotto la SS67 (rappresentato con il codice C_1.2 in *Tav. IDR_M015_01-Planimetria*).
- Altezza H = 6.00 m, larghezza L = 3.50 m per il sottopassaggio sotto la ferrovia (rappresentato con il codice C_1.1 in *Tav. IDR_M015_01-Planimetria*).

I tratti dei corsi d'acqua oggetto di studio, le sezioni fluviali, le connessioni idrauliche e il dominio dell'area 2D sono riportati nella tavola *IDR_M15_01-Planimetria*. In tale planimetria sono riportate anche le condizioni al contorno implementate e descritte nel seguente paragrafo.

5.16.2 Condizioni al contorno e parametri del modello idraulico

Le condizioni al contorno del modello idraulico sono rappresentate da:

- Sollecitazioni idrologiche in testa ad ogni tratto simulato idraulicamente;
- Condizioni al contorno di valle.

Nella Tabella 5.30 si riporta l'elenco degli input idrologici utilizzati nella modellistica idraulica.

La tabella riporta il corso d'acqua di riferimento, il tipo di immissione (CP contributi puntuali, in questo caso sollecitazioni idrologiche in testa), la/e sezione/i sollecitate e la codifica del bacino che lo genera. Si rimanda alla Tabella 4.1 dov'è riportato l'elenco e la codifica dei bacini studiati idrologicamente.

CORSO D'ACQUA	TIPO IMMISSIONE	DA SEZ.	A SEZ.	CODICE CONTRIBUTO IDROLOGICO
COLATORE 1 - SAN FRANCESCO	CP	00217__21	-	7603
FOSSO ORSELLI	Contributo da area 2D	Area 2	-	7604
COLATORE 3 - PONTASSIEVE	Contributo da area 2D	Area 2	-	7605

Tabella 5.30 Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica del Modello M15-Colatori Pontassieve

L'idrogramma del contributo 7604 è stato ripartito tramite una soglia corrispondente alla portata massima smaltibile in moto uniforme dal tombamento. Sull'area 2D, in corrispondenza dell'ingresso al tratto tombato, è stata applicata la portata in eccesso rispetto a tale valore, pari alla differenza tra

l'idrogramma idrologico e la portata smaltibile (7604**). La suddetta portata ha un valore di 1.3 m³/s ed è stata calcolata con i seguenti parametri:

- h = 0.4 m altezza della sezione scatolare
- L = 1.0 m larghezza della sezione scatolare
- i = 7 % pendenza del tratto tombato
- n = 0.03 s/m^{1/3} coefficiente di Manning del tratto tombato,
- grado di riempimento pari al 100%.

In modo analogo l'idrogramma del contributo 7605 è stato ripartito e assegnato all'area 2D a monte del tratto tombato del Colatore 3 – Pontassieve (7605**). In questo caso la portata massima smaltibile è pari a 0.8 m³/s ed è stata calcolata con i seguenti parametri:

- D = 0.6 m diametro della sezione
- i = 9 % pendenza del tratto tombato
- n = 0.03 s/m^{1/3} coefficiente di Manning del tratto tombato,
- grado di riempimento pari al 100%.

Come condizione di valle è stata posta una pendenza di moto uniforme pari al 2.18% per il Colatore 1 – San Francesco come riportato in Tabella 5.31.

CORSO D'ACQUA	SEZ.	TR [anni]	d [h]	SCENARIO	LIVELLO [m s.l.m.]	TIPO	PENDENZA
COLATORE 1 - SAN FRANCESCO	-	30	0.50	S	-	-	0.0218
			1.00	S	-	-	0.0218
		200	0.50	S	-	-	0.0218
			1.00	S	-	-	0.0218

Tabella 5.31 Elenco delle condizioni di valle alla modellazione del Modello M15-Colatori Pontassieve

Le condizioni al contorno applicate alle aree a modellazione bidimensionale dipendono dalla posizione del confine del dominio di calcolo. Sui bordi che si affacciano sul Fiume Sieve sono state inserite delle connessioni idrauliche atte a simulare l'immissione della portata nel corpo recettore.

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, è stato scelto di adottare un coefficiente di Manning pari a 0.045 s/m^{1/3} per il Colatore 1 – san Francesco.

Per quanto riguarda la scabrezza delle aree limitrofe al corso d'acqua, simulate dal modello bidimensionale, si è scelto di adottare una scabrezza unica pari a 0.06 s/m^{1/3}.

In merito alle perdite di carico nelle strutture, i coefficienti utilizzati sono stati ricavati dalla letteratura disponibile. Tali valori, nel nostro caso, influenzano il modello in corrispondenza degli attraversamenti fluviali e nelle connessioni idrauliche (ad esempio sottoattraversamenti, ecc), che generano una brusca variazione di sezione. In particolare si è utilizzato un coefficiente di contrazione di 0.1 e un coefficiente di espansione di 0.3, tali valori sono standard nella modellazione delle perdite di carico.

5.16.3 Verifiche Idrauliche implementate

Le verifiche idrauliche sono state svolte per gli eventi con TR 30 e 200 anni e durate di pioggia pari a 0.5-1 ore per gli scenari Singolo Bacino utilizzando il Kr calcolato sull'area del singolo bacino in modo da massimizzare gli effetti della singola asta/ singolo contributo idrologico. Gli idrogrammi completi sono riportati in *IDR_GEN_00.A1-Allegato 1 Analisi Idrologica*.

5.16.4 Risultati

L'implementazione della modellistica idraulica di tipo analitico fornisce, per ciascuno degli eventi studiati, i valori di massimo livello e portata in alveo per ciascuna sezione dei corsi d'acqua analizzati, ed i battenti e velocità nelle aree soggette ad allagamento.

I risultati in forma grafica delle sezioni fluviali del modello idraulico con l'indicazione del livello massimo atteso per TR=30-200 anni (involuppo dei livelli per le varie durate di pioggia) sono riportati nell'elaborato *IDR_M15_02-Libretto* Per quanto riguarda le aree allagate, i risultati sono sintetizzati, in termini di battenti e velocità massime attese ricavate dall'involuppo di tutti gli eventi simulati, nelle seguenti tavole:

- Involuppo dei battenti idrometrici massimi nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C02_7_Battenti_TR30_Quadro_7
PSI_QC_C03_7_Battenti_TR2000_Quadro_7
- Involuppo delle velocità massime nelle aree allagate per TR=30-200 anni:
PSI_QC_C04_7_Velocità_TR30_Quadro_7
PSI_QC_C05_7_Velocità_TR200_Quadro_7
- Involuppo delle magnitudo nelle aree allagate per TR=200 anni:
PSI_QC_C06_7_Magnitudo_TR200_Quadro_7

Di seguito si riportano le principali criticità rilevate in termini di esondazioni e aree allagate.

Sul Colatore 1- San Francesco già per eventi riferiti a TR=30 anni, sia l'attraversamento sulla SS67 che il successivo tombamento risultano insufficienti al passaggio della corrente. Il primo crea rigurgito a monte e conseguenti esondazioni sia in destra che in sinistra idraulica, in destra l'acqua che supera i contenimenti a causa del rigurgito segue la via preferenziale rappresentata dalla strada Via I Maggio che essendo in trincea ed in discesa contiene e fa scorrere l'acqua verso valle fino alla curva della strada dove la portata si propaga nel territorio circostante che si trova alla stessa quota circa. La corrente prosegue poi seguendo la direzione dell'infrastruttura viaria verso sud-ovest e tracima più a valle. La portata raggiunge la ferrovia che si presenta in trincea nel primo tratto più prossimo al Colatore e in rilevato nel tratto successivo. In corrispondenza del punto in cui la ferrovia passa da essere in trincea a essere in rilevato si ha il sormonto dell'infrastruttura da parte della corrente che prosegue a valle verso via Forlivese e infine verso la Sieve. In sinistra dell'attraversamento sulla SS67 si ha esondazione, in particolare per eventi con TR=200 anni la portata segue la via preferenziale rappresentata dalla rampa di accesso alla SS67 da via I Maggio. Anche il successivo tombamento è insufficiente e dà luogo ad esondazioni. In destra, il terreno raggiunge subito quote più elevate e non permette alla portata di espandersi, quindi le aree allagate rimangono confinate in adiacenza al corso d'acqua. In sinistra, invece, si crea un'area allagata diffusa fino al rilevato della ferrovia che ostacola il passaggio della portata esondata. Passaggio che però è consentito dal sottopasso di via Santo Stefano dell'Albereta in corrispondenza della ferrovia. Da questo punto in poi prosegue verso valle creando un allagamento diffuso a valle e lungo via Forlivese. Gran parte delle aree allagate ricadono all'interno della perimetrazione delle aree abitate.

Il Fosso Orselli presenta un tratto tombato che inizia alle spalle del complesso residenziale lungo via del Fossato e finisce in Sieve. Il tombamento risulta insufficiente al passaggio delle portate già per idrogrammi relativi a TR=30 anni. L'acqua che non riesce a passare dal tombamento scorre in superficie verso valle seguendo preferenzialmente il tracciato viario andando ad occupare via del Fossato, via Piero Palagi e l'incrocio tra esse. Scorre poi verso sud costeggiando la Sieve in cui si immette tramite dei varchi presenti lungo via Piero Palagi (zone di interruzione delle costruzioni).

Il tratto studiato del Colatore 3 – Pontassieve è costituito da un tombamento che ha inizio a monte nei pressi di via della Repubblica fino alla confluenza con il Fiume Sieve. Anche in questo caso, il tombamento non permette il completo deflusso delle portate prevenienti da monte relative a TR=30 anni. L'acqua che non defluisce all'interno dell'opera scorre in superficie verso valle fino a via della Repubblica sulla quale scorre per una breve tratto verso nord (circa 200 m) e verso sud (circa 80 m) per poi scendere a valle ed occupare un'area diffusa di abitato compresa tra via della Repubblica e

la Sieve. Quest'area si estende a sud fino alla ferrovia per TR=30 anni e fino alla confluenza per TR=200 anni. Anche in questo caso, come per il Fosso Orselli, il deflusso superficiale si immette in Sieve tramite i varchi presenti.

6. Determinazione Delle Aree A Pericolosità Idraulica Analitica

Per ciascuno dei 15 modelli idrologici idraulici oggetto di studio, per ogni tempo di ritorno e durata dell'evento meteorico, sono stati ricavati battenti e velocità massime per le aree allagabili.

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:

PSI_QC_C02_2	Carta dei battenti idraulici TR 30 anni – Quadro 2
PSI_QC_C02_3	Carta dei battenti idraulici TR 30 anni – Quadro 3
PSI_QC_C02_4	Carta dei battenti idraulici TR 30 anni – Quadro 4
PSI_QC_C02_5	Carta dei battenti idraulici TR 30 anni – Quadro 5
PSI_QC_C02_7	Carta dei battenti idraulici TR 30 anni – Quadro 7
PSI_QC_C02_8	Carta dei battenti idraulici TR 30 anni – Quadro 8
PSI_QC_C03_2	Carta dei battenti idraulici TR 200 anni – Quadro 2
PSI_QC_C03_3	Carta dei battenti idraulici TR 200 anni – Quadro 3
PSI_QC_C03_4	Carta dei battenti idraulici TR 200 anni – Quadro 4
PSI_QC_C03_5	Carta dei battenti idraulici TR 200 anni – Quadro 5
PSI_QC_C03_7	Carta dei battenti idraulici TR 200 anni – Quadro 7
PSI_QC_C03_8	Carta dei battenti idraulici TR 200 anni – Quadro 8
PSI_QC_C04_2	Carta delle velocità della corrente TR 30 anni – Quadro 2
PSI_QC_C04_3	Carta delle velocità della corrente TR 30 anni – Quadro 3
PSI_QC_C04_4	Carta delle velocità della corrente TR 30 anni – Quadro 4
PSI_QC_C04_5	Carta delle velocità della corrente TR 30 anni – Quadro 5
PSI_QC_C04_7	Carta delle velocità della corrente TR 30 anni – Quadro 7
PSI_QC_C04_8	Carta delle velocità della corrente TR 30 anni – Quadro 8
PSI_QC_C05_2	Carta delle velocità della corrente TR 200 anni – Quadro 2
PSI_QC_C05_3	Carta delle velocità della corrente TR 200 anni – Quadro 3
PSI_QC_C05_4	Carta delle velocità della corrente TR 200 anni – Quadro 4
PSI_QC_C05_5	Carta delle velocità della corrente TR 200 anni – Quadro 5
PSI_QC_C05_7	Carta delle velocità della corrente TR 200 anni – Quadro 7
PSI_QC_C05_8	Carta delle velocità della corrente TR 200 anni – Quadro 8

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, 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, rispettivamente, ai sensi della L.R. 41/2018:

- **scenario per alluvioni frequenti:** lo scenario con riferimento al tempo di ritorno non inferiore a trenta anni;
- **scenario per alluvioni poco frequenti:** lo scenario con riferimento al tempo di ritorno non inferiore a duecento anni.

Le aree a pericolosità idraulica determinate come sopra indicato sono riportate nelle seguenti tavole:

PSI_STA_03_2	Carta delle Pericolosità da Alluvione – Quadro 2
PSI_STA_03_3	Carta delle Pericolosità da Alluvione – Quadro 3
PSI_STA_03_4	Carta delle Pericolosità da Alluvione – Quadro 4
PSI_STA_03_5	Carta delle Pericolosità da Alluvione – Quadro 5
PSI_STA_03_7	Carta delle Pericolosità da Alluvione – Quadro 7
PSI_STA_03_8	Carta delle Pericolosità da Alluvione – Quadro 8

7. 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 involuipi dei battenti e delle velocità massime attese su tutti gli scenari idrologici duecentennali esaminati.

A partire dagli involuipi dei battenti e delle velocità massime su tutti gli scenari duecentennali, si è 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:

PSI_QC_C06_2	Carta della magnitudo idraulica TR 200 anni – Quadro 2
PSI_QC_C06_3	Carta della magnitudo idraulica TR 200 anni – Quadro 3
PSI_QC_C06_4	Carta della magnitudo idraulica TR 200 anni – Quadro 4
PSI_QC_C06_5	Carta della magnitudo idraulica TR 200 anni – Quadro 5
PSI_QC_C06_7	Carta della magnitudo idraulica TR 200 anni – Quadro 7
PSI_QC_C06_8	Carta della magnitudo idraulica TR 200 anni – Quadro 8

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 (Tr evento di pioggia = Tr 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:

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

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 (T_r evento di pioggia = T_r 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).

$$\begin{cases} I_a(t) = I_a(0) + \int_0^{t_a} (P(\tau) - K_s) d\tau \\ P_n(t) = 0 \end{cases} \quad \text{per } t < t_a$$

$$\begin{cases} I_a(t) = I_a \\ P_n(t) = P(t) - K_s \end{cases} \quad \text{per } t \geq t_a$$

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.

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 ragguglio 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:

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

dove t è la durata dell'evento, A è l'area del bacino sotteso e α , β , γ sono parametri dipendenti dal bacino considerato.

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 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

$$\begin{cases} U(0) = 1 \\ U(t > 0) = 0 \end{cases} \quad \int_0^\infty U(t) dt = 1$$

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:

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

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

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:

$$\begin{aligned} N_u &= R_b^{\omega-u} \\ \bar{L}_u &= \bar{L}_1 R_l^{u-1} \\ \bar{A}_u &= \bar{A}_1 R_a^{u-1} \end{aligned}$$

dove

ω è l'ordine massimo del reticolo;

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

\bar{L}_u la lunghezza media delle aste di ordine u , con $u=1, 2, 3...$;

\overline{A}_u l'area media sottesa da aste di ordine u , con $u=1, 2, 3...$

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.

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. 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.

A.2.1 Modellistica Idraulica Monodimensionale

La dinamica fluviale in alveo è stata modellata con schema monodimensionale in moto vario attraverso le equazioni di De Saint Venant.

In particolare, il modello di moto vario risolve in forma numerica le equazioni di continuità e della quantità di moto che risultano:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_L = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QU}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial H}{\partial x} + S_f + S_h \right) = 0 \end{array} \right.$$

in cui:

- A = area della sezione liquida $[mq]$;
- Q = portata $[mc/s]$;
- $q_L(x)$ = portata laterale (positiva se entrante) $[mq/s]$;
- $H = z+h$ è la quota del pelo libero (z quota del fondo e h battente idraulico) $[m]$;
- g = accelerazione di gravità $[m/s^2]$;
- U = velocità media della corrente $[m/s]$;
- S_f = perdite di carico distribuite per unità di lunghezza $[m/m]$;
- S_h = perdite di carico concentrate $[m/m]$.

Assumendo la gradualità spazio-temporale del fenomeno, la perdita di carico effettivo può essere stimata con un'equazione analoga a quella adottata per il moto uniforme:

$$S_f = \frac{Q|Q|n^2}{R^{4/3}A^2}$$

dove R [m] è il raggio idraulico e n è il coefficiente di Manning [s/m^{1/3}].

Per includere nel modello gli effetti dissipativi indotti da variazioni di sezione, quali allargamenti o restringimenti, si valutano le perdite di carico effettivo addizionali, S_h , mediante la formula:

$$S_h = \frac{d}{dx} \left(C \frac{Q^2}{2g} \frac{1}{A^2} \right)$$

in cui C è un coefficiente funzione della velocità, del battente e delle proprietà geometriche della sezione.

Per la risoluzione del sistema di equazioni è necessario conoscere le condizioni al contorno di ciascun tratto sia a monte che a valle.

La condizione di valle può essere costituita da un idrogramma di livelli idrometrici, oppure da un legame funzionale tra portata e livelli ovvero una scala di deflusso. A monte invece è necessario imporre una condizione sulla portata in ingresso attraverso un idrogramma di piena, che è stato ricavato sulla base dell'analisi idrologica già descritta al paragrafo precedente.

Dal punto di vista numerico, il sistema di equazioni monodimensionali viene risolto con uno schema implicito alle differenze finite.

Per quel che riguarda le aree simulate attraverso celle di accumulo, il fenomeno non stazionario è descritto attraverso la sola legge d'invaso:

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

dove A_{ck} e h_k rappresentano rispettivamente l'area e il livello idrico della cella k-esima, h_i il livello idrico nella generica cella i-esima circostante, e Q_{ki} la portata scambiata con detta cella.

Per accoppiare la dinamica in alveo alle aree inondabili simulate attraverso celle di accumulo vengono utilizzate le cosiddette "Lateral Structure" che simulano il comportamento di uno stramazzone a cui possono essere associate diverse caratteristiche di funzionamento.

A.2.2 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 \ll 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 le 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:

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

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:

$$\nu_t = D h u_s$$

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:

$$f = 2\omega \sin \varphi$$

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

<i>D</i>	<i>Intensità di mescolamento</i>	<i>Geometria e superficie</i>
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:
$$\beta = \frac{R(H)^{5/3}}{n|\nabla H|^{1/2}}$$

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).

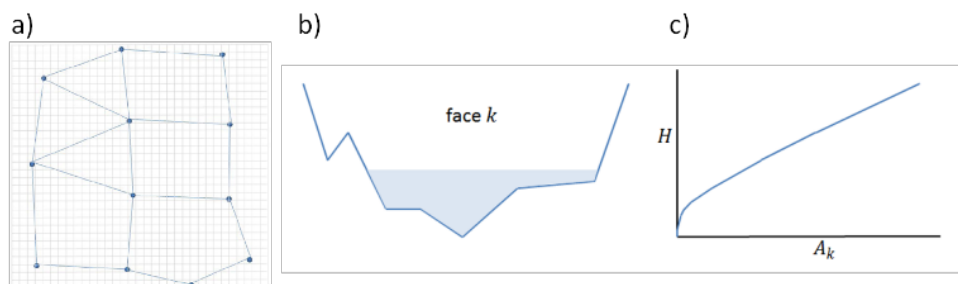


Figura A-2.1: a) Esempio di "sotto-griglia". b) Area bagnata associata ad una faccia della cella di calcolo k. c) Curva di invaso associata ad una cella di calcolo k.

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.

Per accoppiare la modellazione monodimensionale a quella bidimensionale vengono utilizzate le cosiddette "Lateral Structure" che simulano il comportamento di uno stramazzo a cui possono essere associate diverse caratteristiche di funzionamento.

Quando una simulazione prevede inoltre la compresenza di aree 2D e celle di accumulo, queste vengono messe in comunicazione da "2D/SA connection", anch'esse oggetti che simulano il funzionamento idraulico di uno stramazzo.