



COMUNE DI POGGIBONSI
(Provincia di Siena)



Sindaca

Susanna Cenni

Responsabile Unico del Procedimento

Arch. Vito Disabato

Collaboratori:

Arch. Simona Mezzedimi, Dott.ssa Carla Bimbi, Roberto Gori

Garante dell'informazione e della partecipazione

Dott.ssa Tatiana Marsili

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Arch. Mauro Ciampa - Coordinatore

Studio Architetti Associati Ciampa

Arch. Chiara Ciampa

Arch. Giovanni Giusti

Digitalizzazione elaborati cartografici

Pianif. Junior Anita Pieroni

Valutazione Ambientale Strategica e Territorio Rurale

Dott. Agr. Elisabetta Norci

Collaboratori:

Stefano Calloni - Dott. Agr. Edoardo Manfredini - Dott. Giuseppe Malfitana

Studi Idraulici

Ing. Alessio Gabbrielli

Studi Geologici

Dott. Geol. Michele Sani

Quadro di Progetto o Conoscitivo

Relazione Idrologico-Idraulica

APPROVAZIONE

INDICE

1. Premessa	2
2. Inquadramento normativo	4
3. Cenni sugli studi idrologico-idraulici del Piano Operativo (2019).....	6
3.1 Introduzione.....	6
3.2 Corsi d'acqua studiati	7
3.3 Scenari di studio.....	8
3.4 Competenza sul Fiume Elsa	8
3.5 Sintesi della metodologia adottata.....	9
3.5.1 <i>Analisi idrologica</i>	9
3.5.2 <i>Verifiche idrauliche</i>	10
3.6 Conclusioni.....	11
4. Idrologia	13
5. Modellistica idraulica	19
6. Verifica idraulica dei fossi minori in Loc. Staggia.....	22
6.1 Singolarità dei corsi d'acqua.....	22
6.2 Documentazione fotografica.....	24
6.3 Idrologia	26
6.4 Idraulica.....	31
6.5 Risultati della modellazione	33
7. Verifica idraulica dei fossi minori in Loc. Foci.....	34
7.1 Singolarità dei corsi d'acqua.....	34
7.2 Documentazione fotografica.....	36
7.3 Idrologia	38
7.4 Idraulica.....	44
7.5 Risultati della modellazione	46
8. Verifica idraulica degli affluenti del Torrente Staggia nel capoluogo	48
8.1 Singolarità dei corsi d'acqua.....	48
8.2 Documentazione fotografica.....	50
8.3 Idrologia	51
8.4 Idraulica.....	55
8.5 Risultati della modellazione	59
9. Tabulati di calcolo dei modelli Papaiano e Melachecca	61

1. PREMESSA

Il presente studio è redatto a supporto del Piano Strutturale del Comune di Poggibonsi, in Provincia di Siena.

Esso ha principalmente due obiettivi:

1. Adeguare il quadro conoscitivo comunale vigente ai dettami delle Direttive Tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche di cui all'Allegato A del D.P.G.R. 5R/2020.
2. Integrare il quadro conoscitivo con nuovi studi su corsi d'acqua minori non analizzati con gli strumenti urbanistici precedenti.

Per quanto attiene agli aspetti idraulici, le più recenti indagini sul Comune di Poggibonsi risalgono agli studi redatti a supporto del Piano Operativo (approvato con D.C.C. n. 41 del 31/07/2019) e contestuale Variante al Piano Strutturale (approvata con il medesimo atto).

Dette indagini erano state redatte, sempre dallo scrivente, ai sensi del Regolamento D.P.G.R. 53R/2011, allora vigente.

Ma dal momento che la stesura del Piano Operativo è avvenuta a cavallo dell'entrata in vigore della L.R. 41/2018 (su cui si fondano adesso i criteri del Regolamento D.P.G.R. 5R/2020), non è stato possibile acquisirne ed applicarne i contenuti all'interno degli studi per il Piano.

Pertanto, dal punto di vista tecnico-metodologico il quadro conoscitivo del 2019 è da ritenersi pienamente conforme; lo stesso non può dirsi sotto il profilo della forma, in quanto il sopraggiunto D.P.G.R. 5R/2020 ha proposto una differente classificazione della pericolosità rispetto a quanto previsto dal D.P.G.R. 53R/2011 (modificandone, tra le altre cose, anche il "nome" – da pericolosità idraulica a pericolosità da alluvioni).

Inoltre il nuovo Regolamento ha definito in modo esplicito l'elenco delle cartografie tematiche da produrre a corredo di un Piano Strutturale; dette cartografie sono sostanzialmente già presenti tra gli elaborati del Piano Operativo vigente, ma ai sensi del D.P.G.R. 5R/2020 è il Piano Strutturale la sede in cui effettuare le indagini di quadro conoscitivo e produrre i relativi elaborati.

Alla luce di quanto detto, con il nuovo Piano Strutturale i risultati delle indagini e degli studi precedenti sono stati confermati in quanto a modellistica e perimetrazioni, ma adesso quei vengono tradotti nelle nuove classificazioni, definizioni ed elaborati, così come previsto dal D.P.G.R. 5R/2020 e dalla L.R. 41/2018.

Quella appena descritta rappresenta l'attività svolta per raggiungere il primo obiettivo in elenco.

Per quanto riguarda invece il secondo punto, è stato rilevato come negli studi degli anni precedenti l'attenzione fosse stata per lo più rivolta ai corsi d'acqua principali che interessano il capoluogo di Poggibonsi e l'area produttiva dei Foci; si fa riferimento, in particolare, al Fiume Elsa, al Torrente Staggia, al Torrente Foci, ma anche al Torrente Drove ed al Torrente Carfini.

A supporto del nuovo Piano Strutturale si è quindi provveduto ad integrare il quadro conoscitivo con ulteriori studi su corsi d'acqua minori.

Del resto, il D.P.G.R. 5R/2020 adesso chiede esplicitamente che le indagini idrauliche siano rivolte almeno al Territorio Urbanizzato; pertanto non ci si è potuti esimere dal prendere in considerazione anche altri corsi d'acqua interferenti con il T.U., come quelli che interessano l'abitato di Staggia, ed alcuni fossi minori presso l'area produttiva dei Foci, precedentemente trascurati.

Inoltre sono stati studiati gli affluenti destri del Torrente Staggia nel tratto urbano del capoluogo, ed in particolare il Borro di Papaiano, il Borro di Melachecca ed il cosiddetto Borro delle Pancole. I primi due sono stati già oggetto di studio nell'ambito del Piano Strutturale del 2014, mentre il terzo non era mai stato studiato in precedenza.

I nuovi studi hanno quindi permesso di integrare il quadro precedente di pericolosità da alluvione, nonché le carte tematiche dei battenti, delle velocità della corrente e della magnitudo idraulica, fornendo una fotografia più completa del rischio idraulico sul territorio comunale.

Rispetto alle tipiche indagini di supporto ad un Piano Strutturale con quadro conoscitivo da aggiornare completamente, il presente lavoro risulta abbastanza snello, e si articola come segue.

Innanzitutto è effettuata una breve sintesi normativa per porre l'attenzione sulle differenze tra i criteri di indagine dell'ex D.P.G.R. 53R/2011, su cui sono basati tutti gli studi precedenti, e quanto adesso previsto dal D.P.G.R. 5R/2020, chiarendo quindi i passaggi della conversione tra le cartografie redatte ai sensi dell'uno e dell'altro Regolamento.

Successivamente è sviluppata una breve sintesi degli studi idrologico-idraulici redatti a supporto del Piano Operativo del 2019, nonché dello *Studio idrologico idraulico sul Fiume Elsa da Loc. Castiglioni (Poggibonsi) allo scolmatore (Castelfiorentino)* che è stato redatto proprio in quegli anni portando all'aggiornamento del quadro di pericolosità da alluvione del PGRA su tutto il fondovalle del Fiume Elsa, motivandone la confermata validità.

Dopodiché la relazione affronta la trattazione più meramente tecnica relativa agli studi idrologico-idraulici integrativi sul reticolo minore; nei primi due capitoli sono illustrati gli approcci metodologici per l'idrologia e la modellazione idraulica mentre nei capitoli specifici sono forniti alcuni dettagli di inquadramento, documentazione fotografica, specifiche di modellazione e, infine, mostrati e commentati i risultati delle verifiche.

Gli elaborati "idraulici" del nuovo Piano Strutturale sono i seguenti:

- Relazione idrologico-idraulica
- Tavole I1N (Nord) e I1S (Sud) – Carta della pericolosità da alluvioni
- Tavole I2N e I2S – Carta della magnitudo idraulica
- Tavole I3N e I3S – Carta dei battenti
- Tavole I4N e I4S – Carta della velocità della corrente
- Tavole I5N e I5S – Carta delle aree presidiate da sistemi arginali, comprensiva delle aree di fondovalle fluviale.

2. INQUADRAMENTO NORMATIVO

Come appena anticipato, una delle attività salienti del presente lavoro è quella relativa al passaggio dalle cartografie con tematismi idraulici degli strumenti urbanistici precedenti, predisposte sulla base di studi fondati sui criteri dell'ex Regolamento 53R/2011, a quelle del nuovo Piano Strutturale fondate sulle disposizioni del Regolamento 5R/2020.

Entrambi i Regolamenti dettano Direttive per lo svolgimento delle indagini a supporto della strumentazione urbanistica comunale.

Per quanto concerne gli aspetti idraulici, le differenze principali tra i due testi stanno nelle definizioni e, soprattutto nelle classificazioni.

Fino all'entrata in vigore della L.R. 41/2018, la pericolosità di un territorio per fattori idraulici, secondo la Regione Toscana, era chiamata *pericolosità idraulica*.

L'ex D.P.G.R. 53/2011, in continuità con il precedente D.P.G.R. 23R/2007, fissava 4 classi di pericolosità idraulica sul territorio, basate per lo più sul concetto di tempo di ritorno.

Di seguito sono riportate esattamente delle aree a pericolosità idraulica secondo l'ex D.P.G.R. 53R/2011 (punto C.2 dell'Allegato A):

Pericolosità idraulica molto elevata (I.4):

aree interessate da allagamenti per eventi con $T_r > 30$ anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità molto elevata le aree di fondovalle non protette da opere idrauliche per le quali ricorrano contestualmente le seguenti condizioni:

- a) *vi sono notizie storiche di inondazioni;*
- b) *sono morfologicamente in situazione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.*

Pericolosità idraulica elevata (I.3):

aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $30 < T_r < 200$ anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità elevata le aree di fondovalle per le quali ricorra almeno una delle seguenti condizioni:

- a) *vi sono notizie storiche di inondazioni;*
- b) *sono morfologicamente in condizione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.*

Pericolosità idraulica media (I.2):

aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $200 < T_r < 500$ anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici rientrano in classe di pericolosità media le aree di fondovalle per le quali ricorrano le seguenti condizioni:

- a) *non vi sono notizie storiche di inondazioni;*
- b) *sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.*

Pericolosità idraulica bassa (I.1):

aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni:

- a) *non vi sono notizie storiche di inondazioni;*
- b) *sono in situazioni favorevoli di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.*

Delle 4 classi di pericolosità idraulica del 53R le più significative ai fini urbanistici sono le classi a maggiore pericolosità, ovvero I.4 e I.3.

Era tenuta in buona considerazione anche la classe I.2, tanto che spesso le verifiche idrauliche venivano condotte anche per l'evento di piena con tempo di ritorno di 500 anni, cosa che oggi è quasi del tutto abbandonata; per lo stesso Piano Strutturale 2014 del Comune di Poggibonsi sono state redatte anche verifiche idrauliche per lo scenario cinquecentennale, tanto che nella vigente Carta della Pericolosità Idraulica del Piano Strutturale ancora sono presenti poligoni di aree a pericolosità media I.2 perimetrate sulla base di appositi studi idraulici (come quelli sul Borro di Papaiano e sul Borro di Melachecca, qui oggetto di revisione), e non solo tracciati secondo criteri morfologici.

Come detto, la Carta della Pericolosità Idraulica del Piano Strutturale vigente è stata redatta ai sensi del D.P.G.R. 53R/2011, e quindi contiene tutte le classi di pericolosità suddette, comprese quelle frutto degli studi idraulici redatti a supporto del Piano Operativo del 2019.

Con l'emanazione della L.R. 41/2018 le definizioni della pericolosità per fattori idraulici sono state cambiate, anche in applicazione del D.Lgs. 49/2010 di recepimento della Direttiva Europea 2007/60/CE, la cosiddetta "Direttiva Alluvioni".

Nel frattempo, infatti, si è assistito al passaggio dalle Autorità di Bacino nazionali o regionali (come l'ex Autorità di Bacino del Fiume Arno, competente sul territorio di Poggibonsi) alle Autorità di bacino distrettuali, e quindi al passaggio tra l'ex Piano di Assetto Idrogeologico, in cui si parlava sempre di pericolosità idraulica, ma con classificazioni e codifiche diverse da quelle dei Regolamenti regionali, al Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA), in cui per la prima volta compare la dicitura "pericolosità da alluvioni" e le cui classi di limitano a 3 (pericolosità da alluvione elevata – P3, pericolosità da alluvione media – P2, e pericolosità da alluvione bassa – P1).

Tornando alla L.R. 41/2018, si riportano testualmente le definizioni di pericolosità da essa introdotte:

"aree a pericolosità per alluvioni frequenti": le aree classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del d.lgs. 49/2010 come aree a pericolosità per alluvioni frequenti o a pericolosità per alluvioni elevata;

"aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti": le aree classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del d.lgs. 49/2010 come aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti o a pericolosità per alluvioni media;

Nonostante la definizione delle aree a pericolosità sia diversa da quella del PGRA, la L.R. 41/2018 stabilisce l'associazione tra la definizione regionale (pericolosità per alluvioni frequenti o poco frequenti) e la definizione distrettuale (pericolosità per alluvioni elevata o media).

Inoltre la L.R. 41/2018 stabilisce anche l'associazione tra gli scenari a pericolosità ed i tempi di ritorno degli eventi di piena, come indicava il Regolamento 53R.

"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.

Visti i numerosi cambiamenti della normativa di settore in quegli anni, ad inizio 2020 è stato emanato anche il Regolamento 5R/2020, in sostituzione del Regolamento 53R/2011, recante le *Direttive Tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche*.

In analogia al precedente Regolamento, anche il 5R/2020 classifica le aree a pericolosità per fattori idraulici al punto C.2

Aree a pericolosità per alluvioni frequenti (P3), come definite dall'articolo 2, comma 1, lettera d) della l.r.41/2018

Aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti (P2), come definite dall'articolo 2, comma 1, lettera e) della l.r.41/2018

Aree a pericolosità da alluvioni rare o di estrema intensità (P1), come classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del d.lgs.49/2010.

Il D.P.G.R. 5R/2020 conferma la terminologia della L.R. 41/2018, richiamandola espressamente, ma per le classi a pericolosità adotta la sigla del PGRA.

Alla luce di quanto illustrato, la Carta della Pericolosità Idraulica del Piano Strutturale di Poggibonsi è sostituita dalla Carta della Pericolosità da Alluvioni.

La conversione tra classi di pericolosità è la seguente:

Pericolosità Idraulica I.4 (DPGR53R) --> Pericolosità per alluvioni frequenti P3 (DPGR5R e LR41) = Pericolosità da alluvione elevata P3 (PGRA) = aree allagate per tempo di ritorno non inferiore a 30 anni.

Pericolosità Idraulica I.3 (DPGR53R) --> Pericolosità per alluvioni poco frequenti P2 (DPGR5R e LR41) = Pericolosità da alluvione media P2 (PGRA) = aree allagate per tempo di ritorno non inferiore a 200 anni.

3. CENNI SUGLI STUDI IDROLOGICO-IDRAULICI DEL PIANO OPERATIVO (2019)

3.1 Introduzione

A supporto del Piano Operativo del Comune di Poggibonsi, approvato con D.C.C. n. 41 del 31/07/2019, sono stati effettuati studi idrologico-idraulici su gran parte del reticolo idrografico comunale.

Come anticipato in Premessa, è stato studiato solo il reticolo più significativo ed interferente con il capoluogo.

Si è trattato comunque di un lavoro complesso in quanto i corsi d'acqua di Poggibonsi sono di dimensioni rilevanti, a partire dal Fiume Elsa, e soprattutto si riversano uno nell'altro proprio in corrispondenza dell'abitato, nello spazio di poche centinaia di metri.

I tratti urbani di ciascun corso d'acqua sono comunque abbastanza lunghi, come numerosi sono anche gli attraversamenti.

Prima di questo lavoro, i medesimi corsi d'acqua (anzi, anche qualcuno in più) erano già stati studiati nell'ambito del Piano Strutturale approvato con D.C.C. n. 11 del 10/02/2014.

Ma per il Piano Operativo del 2019 si è reso necessario aggiornare nuovamente le modellazioni soprattutto per la sopraggiunta disponibilità delle nuove Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica sul territorio regionale.

A differenza degli studi del vecchio P.S., quelli del Piano Operativo sono stati affrontati mediante una modellazione congiunta di tutte le aste e con approccio mono-bidimensionale accoppiato, che proprio allora stava prendendo campo, nonostante la prima norma ad introdurre, ad esempio, il concetto di battente sia stata la L.R. 41/2018, uscita proprio a cavallo tra adozione ed approvazione del Piano Operativo vigente, quindi a studi già redatti (salvo modifiche ed integrazioni post-adozione).

Grazie agli studi idraulici del Piano Operativo è stata modificata, con apposita e contestuale Variante al Piano Strutturale, la Carta della Pericolosità Idraulica.

Inoltre il Piano Operativo, nonostante non fosse ancora uscito il D.P.G.R. 5R/2020, ma la L.R. 41/2018 sì, è stato corredato anche di carte dei battenti alla scala 1:2.000, di agevole consultazione e comprensione.

Successivamente all'approvazione, i risultati degli studi idraulici del P.O. sono stati trasmessi all'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale che, in data 30/06/2021 con D.S.G. n. 54, sanciva la revisione delle mappe del PGRA sul territorio comunale e, finalmente, colmava le discrepanze tra carte di pericolosità comunali e sovracomunali che avevano caratterizzato gli anni precedenti, causando spesso difficoltà di interpretazione tra gli operatori.

Per suffragare la scelta di confermare gli esiti degli studi del Piano Operativo nel presente Piano Strutturale, e quindi non procedere, a nuove verifiche se non quelle integrative, appare opportuno effettuare un breve riepilogo sull'approccio modellistico allora adottato.

Quanto di seguito riportato è ripreso, al netto qualche piccola rielaborazione o riduzione, dalla Relazione Idrologico-Idraulica del Piano Operativo.

3.2 Corsi d'acqua studiati

Innanzitutto, è fornito l'elenco dell'insieme dei corsi d'acqua studiati nel 2019:

- Fiume Elsa
- Torrente Staggia
- Torrente Foci
- Torrente Drove (Drove di Tattera e Drove di Cinciano)
- Torrente Carfini
- Fosso di Vallina
- Borro della Valle e Borro di Orneto

Il tratto studiato del Fiume Elsa parte da monte del capoluogo ed arriva a valle della confluenza con il Botro dell'Abese. Il tratto fino alla confluenza con il Torrente Foci è da considerarsi efficace ai fini delle nuove perimetrazioni di pericolosità, il tratto di valle è stato invece inserito al solo scopo di dare "sfogo" verso valle al modello, ma le relative aree allagate sono da considerarsi non congrue ai fini della restituzione in pericolosità idrauliche.

Rispetto agli studi del Piano Strutturale del 2014, nel precedente elenco non rientrano il Borro di Papaiano, il Borro di Melachecca ed il Botro di Bacchereto.

I tratti di monte dei primi due corsi d'acqua ricadevano in area non coperta dal rilievo LIDAR quindi il Piano Operativo non ha potuto aggiornarli in quanto avrebbero dovuto essere trattati in modo omogeneo al restante reticolo studiato. Per di più un loro aggiornamento sarebbe stato superfluo ai fini del Piano Operativo in quanto essi non interferivano con alcuna nuova previsione. Per quest'ultima ragione si è scelto anche di non aggiornare lo studio sul Botro di Bacchereto (posto sul confine comunale con San Gimignano, in territorio aperto).

Ma come anticipato in Premessa, anche grazie alla disponibilità del nuovo rilievo LIDAR (2021), l'aggiornamento degli studi del Borro di Papaiano e del Borro di Melachecca (oltre al Borro delle Pancole) è effettuato proprio nel nuovo Piano Strutturale.

L'insieme del reticolo di studio del Piano Operativo del 2019 è mostrato nella seguente figura, estratta dalla relativa Relazione Idrologico-Idraulica.

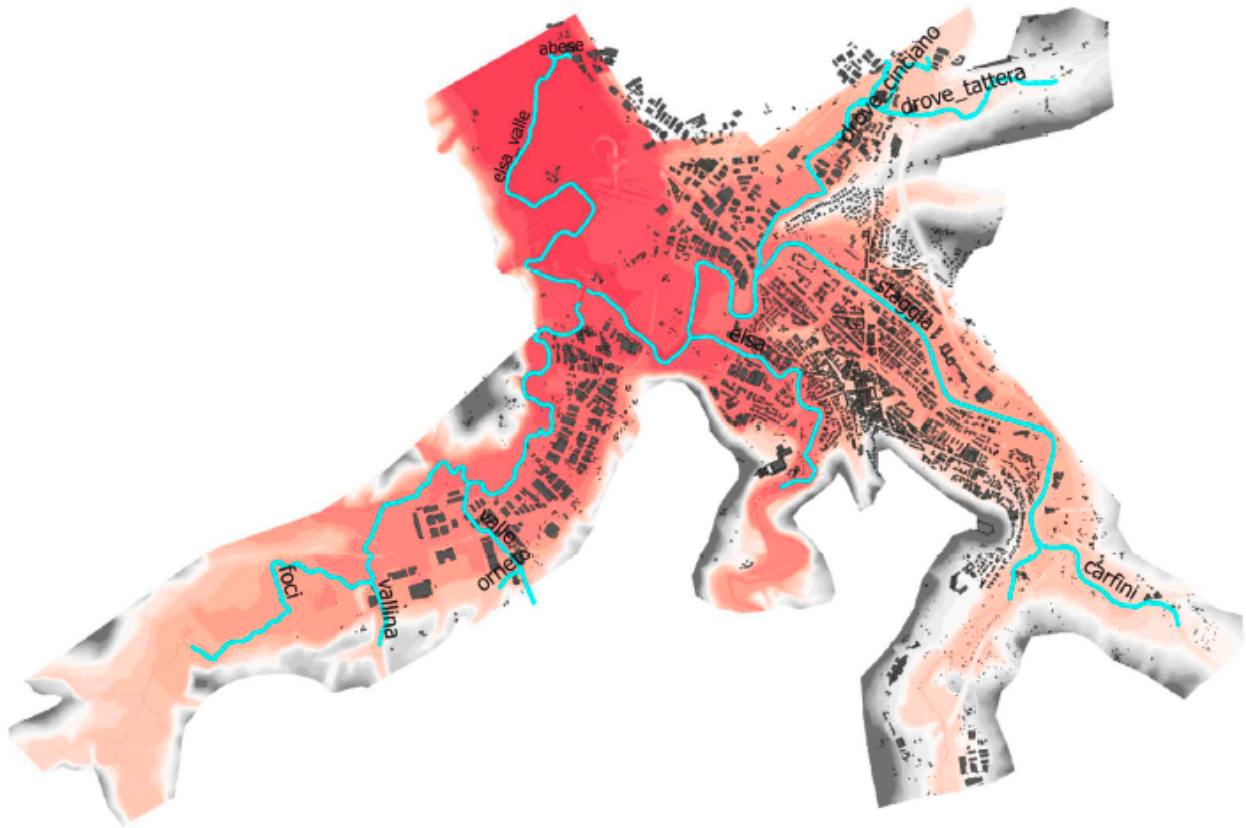


Fig. 1 – Reticolo studiato per il Piano Operativo di Poggibonsi (2019)

3.3 Scenari di studio

Gli studi idraulici del Piano Operativo sono stati condotti per eventi di piena con tempo di ritorno pari a 30 e 200 anni, così come previsto dal D.P.G.R. 53R/2011.

Rispetto al Piano Strutturale non è stato indagato lo scenario con TR100, all'epoca funzionale solo per l'adeguamento al Piano di Assetto Idrogeologico.

Non è stato eseguito aggiornamento neanche per lo scenario con TR500; tenuto conto degli studi del Piano Strutturale, comunque piuttosto recenti e completi, in cui le perimetrazioni per eventi con tempo di ritorno cinquecentennale sono disponibili, e considerata la scarsa rilevanza ai fini urbanistici di queste perimetrazioni (corrispondenti a pericolosità idraulica media I.2), è stato scelto di limitarsi ai tempi di ritorno più significativi.

3.4 Competenza sul Fiume Elsa

Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Appennino Settentrionale individua sul bacino del Fiume Arno un reticolo principale la cui competenza, per l'aggiornamento delle mappe di pericolosità, è assegnata all'Autorità Distrettuale medesima.

Il Fiume Elsa, per il tratto che va da Loc. Castiglioni (al confine tra Poggibonsi e Colle Val d'Elsa) alla confluenza con il Fiume Arno, appartiene a detto reticolo principale.

Pertanto nella redazione del nuovo strumento di pianificazione il Comune avrebbe di fatto la competenza per aggiornare, se necessario, gli studi idraulici su tutti i corsi d'acqua (ed è quello che è stato fatto) ad eccezione del Fiume Elsa.

Il reticolo idraulico sul territorio di Poggibonsi ha però caratteristiche assai particolari; nel raggio di pochi chilometri si incontrano le seguenti confluenze: Carfini-Staggia, Drove-Staggia, Staggia- Elsa, Foci-Elsa.

Trattasi di corsi d'acqua aventi bacini di dimensioni pari a circa 50 kmq o superiori che nel loro complesso generano un bacino complessivo di oltre 530 kmq.

Il Fiume Elsa rappresenta il corso d'acqua principale, ma alla confluenza tra Elsa e Staggia è il Torrente Staggia a presentare il bacino di maggior superficie.

Come già evidenziato negli studi del Piano Strutturale, questa peculiarità fa sì che le aree allagate in prossimità delle suddette confluenze siano strettamente dipendenti da entrambi i corsi d'acqua. Da qui l'esigenza di costruire una modellazione congiunta dei vari corsi d'acqua.

Nell'ottica di eseguire un modello idraulico congiunto in moto bidimensionale sarebbe stato complesso escludere il Fiume Elsa, adottandone solo le condizioni al contorno, peraltro riferite (*all'epoca della redazione degli studi del P.O.*) a studi non recenti e non aggiornati neanche dal punto di vista idrologico.

In virtù di ciò, in accordo con l'Autorità di Bacino Distrettuale, si è scelto comunque di studiare il Fiume Elsa nell'ambito di interesse in modo da rendere omogeneo e coerente il lavoro.

Tenuto conto del fatto che è attualmente (*all'epoca della redazione degli studi del P.O.*) in fase di redazione, da parte del Distretto, un nuovo studio idraulico del Fiume Elsa per l'intero tratto di competenza, il Comune avrà l'onere di aggiornare i propri strumenti urbanistici ai risultati di questo redigendo studio. Nelle more le perimetrazioni derivanti dal presente lavoro andranno a definire la pericolosità idraulica sul territorio anche rispetto alle aree allagate del Fiume Elsa.

Proprio perché le aree allagate del Fiume Elsa, e di conseguenza le relative pericolosità idrauliche, saranno in futuro (*all'epoca della redazione degli studi del P.O.*) sostituite da quelle risultanti dallo studio del Distretto, si è scelto di approcciare la modellazione del Fiume Elsa in modo cautelativo, onde evitare futuri incrementi o variazioni significative delle pericolosità idrauliche.

Si sottolinea comunque l'uniformità di metodo tra lo studio del Fiume Elsa del Distretto e il presente studio a supporto del Piano Operativo comunale; dal punto di vista idrologico è stata adottata la medesima metodologia di calcolo degli idrogrammi di piena (che risultano pienamente coerenti), dal punto di vista idraulico entrambe le modellazioni sono eseguite in moto bidimensionale e attraverso lo stesso software di calcolo (software Mike di DHI), anzi il modello idraulico per il Piano Operativo risulta assai più accurato e discretizzato perché limitato ad un ambito territoriale più ridotto.

3.5 Sintesi della metodologia adottata

In questo paragrafo sono brevemente accennati i principi metodologici su cui si fondano l'analisi idrologica e le verifiche idrauliche compiute negli studi del Piano Operativo vigente.

3.5.1 Analisi idrologica

L'analisi idrologica svolta nel presente studio ha un duplice obiettivo:

- Implementare per tutti i corsi d'acqua i parametri delle linee segnalatrici pubblicate nel 2014 dalla Regione Toscana (già utilizzati per gli studi più recenti sul Torrente Foci e suoi affluenti ma non ancora disponibili ai tempi degli studi del Piano Strutturale);
- Uniformare la modellistica idrologica di tutto il reticolo di studio, anche sotto l'aspetto dei parametri geomorfologici e di infiltrazione, nonché come procedura di calcolo degli idrogrammi.

Allo scopo sono stati quindi rianalizzati tutte le caratteristiche dei bacini dei corsi d'acqua studiati. Gli input idrologici al sistema si riferiscono all'intero bacino del Fiume Elsa chiuso alla confluenza con il Torrente Foci, quest'ultimo compreso, per una superficie totale pari a circa 536 kmq.

Di ogni bacino o interbacino insistente sul reticolo in esame (sia come immissione in testa alle aste studiate che come contributo laterale) sono stati ricalcolati i seguenti parametri:

- Superficie del bacino A
- Parametri n e k di Nash
- Coefficienti di infiltrazione I_a e K_s
- Parametri a e n delle LSPP
- Coefficiente di ragguglio areale K_r .

I suddetti parametri sono stati implementati per la stima degli idrogrammi mediante il metodo dell'idrogramma istantaneo unitario di Nash a partire da un input meteorico schematizzato con uno "ietogramma sintetico" costante; la pioggia efficace è ottenuta applicando il metodo di infiltrazione asintotico a soglia.

Come solutore delle formule matematiche che regolano le metodologie di cui sopra è stato utilizzato un apposito foglio di calcolo in ambiente Excel.

Nello stesso modello idraulico sono stati implementati idrogrammi relativi a 26 bacini o interbacini.

Per ogni corso d'acqua sono state valutate 11 differenti durate di precipitazione, sia per TR30 che per TR200.

Gli idrogrammi sono stati inoltre calcolati sulla base di diversi scenari di criticità di precipitazione, alternando, nel calcolo del coefficiente di ragguglio, ora il Fiume Elsa, ora il Torrente Staggia, ora il Torrente Foci, ora il Torrente Drove, come aste principali, su cui sono stati massimizzati gli idrogrammi.

In definitiva sono stati calcolati oltre 2000 idrogrammi.

A fronte di ciò si è scelto di eseguire la modellistica idraulica soltanto negli scenari di durata a cavallo di quella critica per ciascun corso d'acqua analizzato; ad esempio, per il Torrente Staggia, per il quale la durata che massimizza il picco di piena risulta pari a 6 ore a monte della confluenza con il Torrente Carfini e 7 ore alla confluenza con il Fiume Elsa, sono stati simulati gli eventi con durata pari a 5, 6 e 7 ore.

3.5.2 Verifiche idrauliche

Le verifiche idrauliche dei corsi d'acqua insistenti sul territorio comunale di Poggibonsi, dal punto di vista della geometria e della metodologia adottata negli studi degli anni precedenti, risultano omogenee e confrontabili.

Originariamente l'esigenza di aggiornare anche i modelli idraulici era legata esclusivamente alla necessità di implementarvi la nuova idrologia.

La volontà dell'Amministrazione è stata invece quella di spingere le verifiche idrauliche ad un livello di dettaglio superiore, adottando metodi di indagine più accurati, in grado di fornire risultati ancor più attendibili e completi.

Per questo motivo si è inteso studiare il reticolo di interesse mediante un modello idraulico bidimensionale a maglia ridotta (celle di 3 m x 3 m), in grado di simulare in modo fedele le dinamiche di propagazione delle esondazioni sul territorio, mettendo a disposizione battenti idrici e velocità della corrente puntuali.

La modellazione idraulica è stata eseguita mediante il software Mike di DHI, che accoppia nel modulo Mike Flood il calcolo in moto monodimensionale della corrente in alveo (Mike Hydro) al calcolo bidimensionale sul territorio circostante (Mike 21), attraverso collegamenti bidirezionali.

Dal punto di vista geometrico il modello idraulico è composto da una serie di aste fluviali e da una base topografica che rappresenta il territorio potenzialmente allagato (*bathymetry*).

Le aste studiate sono le 10 elencate in precedenza (a cui è da aggiungere l'asta di valle del Fiume Elsa).

Esse costituiscono un unico modello congiunto in quanto sono tra loro direttamente connesse; fa eccezione solo la confluenza tra Torrente Foci e Fiume Elsa, dove le tre aste non si incontrano fisicamente nel modello 1D, ma sono collegate solo attraverso la *bathymetry* del modello 2D.

Ciascuna asta è rappresentata da sezioni idrauliche proprie.

Le sezioni idrauliche utilizzate sono le stesse già adottate nei precedenti modelli idraulici, sia per il Piano Strutturale che per le successive Varianti al Regolamento Urbanistico.

Tali sezioni sono di diversa provenienza e datazione; le meno recenti sono quelle del Fiume Elsa, del Torrente Drove e del tratto di valle del Torrente Staggia (rilevate da R.F.I. o Provincia di Siena); per tutti gli altri corsi d'acqua si fa riferimento a sezioni rilevate, per conto del Comune di Poggibonsi o fornite al Comune di Poggibonsi, dal 2012 in poi; alcune sezioni lungo il tratto urbano del Fiume Elsa sono state modificate o sostituite da sezioni tracciate sul rilievo LIDAR.

In totale il reticolo studiato è costituito da circa n. 280 sezioni idrauliche.

Le condizioni di scabrezza delle sezioni sono le medesime adottate negli studi del Piano Strutturale, o nei successivi.

Lungo il reticolo studiato sono presenti numerosi attraversamenti.

In analogia con gli studi precedenti, tali attraversamenti sono stati schematizzati all'interno dei modelli d'alveo.

Complessivamente, tra ponti, guadi e tratti tombati, sono presenti nel modello circa 40 attraversamenti.

Come accennato, il grado di discretizzazione della base topografica del modello 2D è il massimo raggiungibile per studi bidimensionali di tale estensione.

L'area di studio è stata rappresentata mediante un modello digitale del terreno (*bathymetry*) fondato sul rilievo LIDAR (RT2008), appositamente ricampionato in celle a maglia quadrata di 3 m di lato; la superficie complessiva della *bathymetry* risulta pari a circa 16.6 kmq, per un totale di circa 1.850.000 celle.

Tenuto conto che un'ampia porzione della *bathymetry* ricade in area urbana, potenzialmente allagabile, essa è stata modificata inserendo tutti gli edifici come volumi chiusi, a partire dalla "rasterizzazione" delle sagome degli edifici della C.T.R. 1:2.000 in formato *shp*.

3.6 Conclusioni

A conclusione di questo riepilogo degli studi idraulici redatti per il Piano Operativo del 2019, i cui risultati, si ribadisce, sono interamente acquisiti e trasferiti nelle carte del nuovo Piano Strutturale, appare opportuno soffermarsi su quanto riportato nel precedente Par. 3.4.

Lì si indicava che durante la redazione degli studi del P.O. era stato avviato uno nuovo studio sul Fiume Elsa a livello di bacino idrografico, che sarebbe andato presto a sostituire lo studio effettuato sul solo tratto comunale proprio nel P.O.

Si tratta dello *Studio idrologico idraulico sul Fiume Elsa da Loc. Camaioni (Poggibonsi) allo Scolmatore (Castelfiorentino)*, redatto, tra gli altri, anche dallo scrivente professionista per conto dei Comuni di Poggibonsi e Certaldo, sotto il coordinamento dell'Autorità di bacino distrettuale.

La redazione di un nuovo studio sul Fiume Elsa si era resa necessaria per supportare le verifiche del reticolo minore dei comuni posti a valle di Poggibonsi, come San Gimignano e Certaldo.

Preso atto di questa esigenza, l'Autorità di bacino ha coinvolto i Comuni che stavano lavorando ai propri Piano Operativi, ed i tecnici che rispettivamente ne seguivano gli studi idraulici.

Lo studio idraulico sul Fiume Elsa, completato nel 2019, rappresenta ad oggi il più recente studio a livello di bacino idrografico su questo corso d'acqua, anche se in realtà non copre l'asta fino alla confluenza in Arno, ma si ferma a Castelfiorentino; il tratto studiato aveva comunque una lunghezza superiore ai 30 km.

Lo studio, di fatto, è stato composto in tre blocchi:

- La verifica del solo Fiume Elsa per tutto il tratto da Loc. Camaioni (confine tra Poggibonsi e Colle Val d'Elsa) e lo scolmatore di Castelfiorentino.
- Le verifiche del sistema dei corsi d'acqua di Poggibonsi, compreso il tratto urbano del Fiume Elsa, coincidenti con le verifiche del Piano Operativo di Poggibonsi.
- Le verifiche dei corsi d'acqua minori di Certaldo unitamente all'asta dell'Elsa nel tratto antistante (coincidenti con le verifiche del Piano Operativo di Certaldo).

In sostanza, gli studi del Piano Operativo di Poggibonsi sono confluiti integralmente in questo studio sul Fiume Elsa.

Vista la complessità del lavoro e la mole dei dati prodotti, e nell'attesa che entrambi i comuni (Poggibonsi e Certaldo) approvassero la loro strumentazione urbanistica, la revisione delle mappe del PGRA con i risultati di questo lavoro (o, per meglio dire, di questi lavori) ha tardato ad arrivare, ed è stata ratificata, come detto, soltanto nel Giugno del 2021.

Per maggiore chiarezza, di seguito è mostrato un estratto cartografico in cui sono messe in evidenza le sole perimetrazioni di pericolosità da alluvioni del PGRA sul territorio di Poggibonsi frutto dell'aggiornamento delle mappe a seguito della conclusione dello studio sul Fiume Elsa e dei procedimenti urbanistici dei due Comuni.

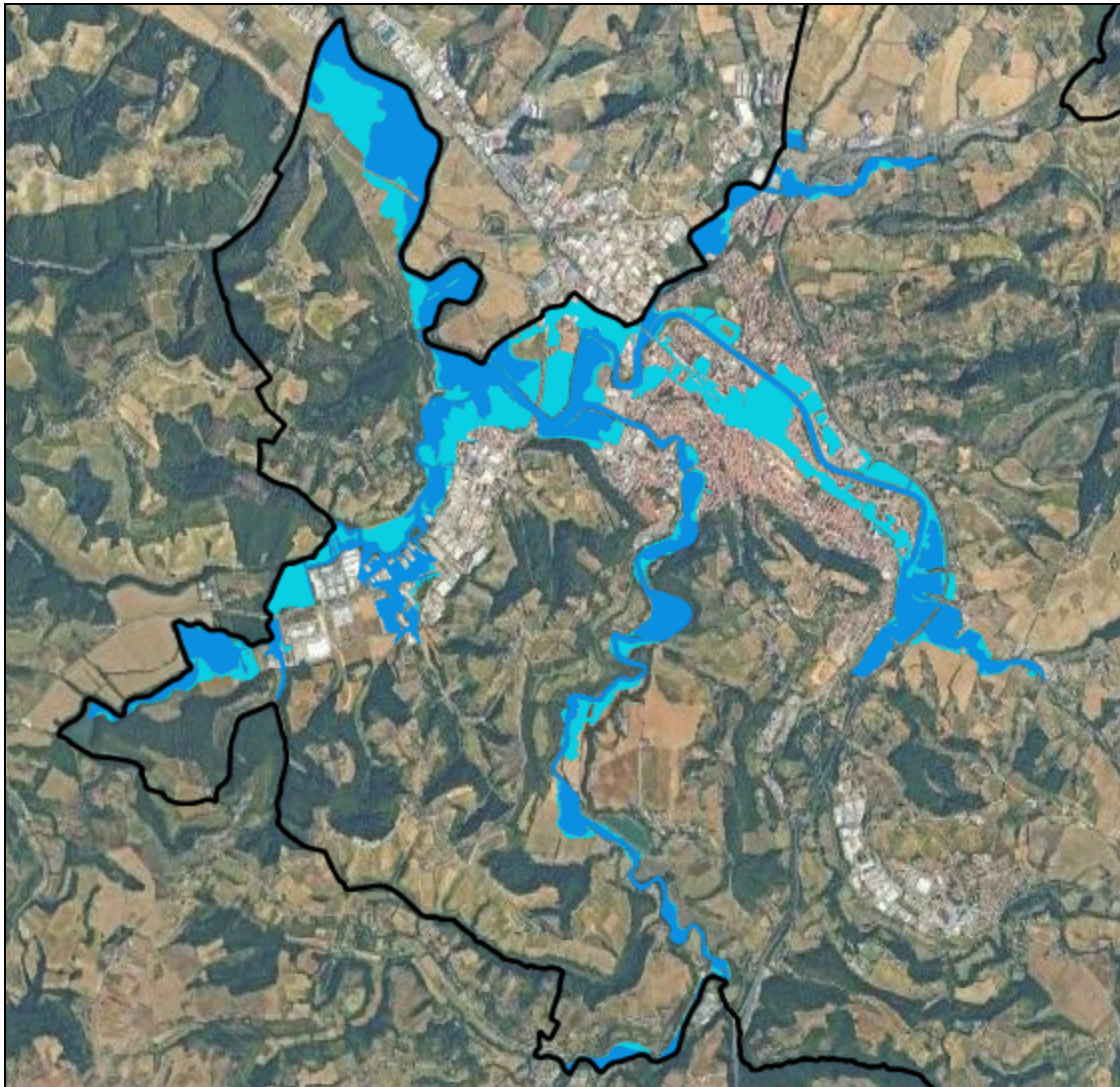


Fig. 2 – Pericolosità da alluvione del PGRA sul Comune di Poggibonsi (solo mappature da D.S.G. 54/2021)

Di fatto le perimetrazioni evidenziate sono quelle che, senza alcuna revisione, sono adesso confermate ed introdotte nella Carta della Pericolosità da Alluvione del nuovo Piano Strutturale del Comune di Poggibonsi (al netto delle integrazioni dei fossi minori, di cui ai capitoli successivi).

Oltre alle perimetrazioni di pericolosità, anche le carte dei battenti, della velocità della corrente e della magnitudo idraulica sono state integrate acquisendo i risultati del suddetto studio sul Fiume Elsa.

4. IDROLOGIA

In questo capitolo è illustrato l'approccio metodologico utilizzato per l'analisi idrologica dei corsi d'acqua di interesse.

Innanzitutto, si anticipa che i corsi d'acqua studiati appartengono a tre blocchi che ricadono rispettivamente in Loc. Staggia, in Loc. Foci e nell'area urbana del capoluogo.

Gli studi in Loc. Staggia e in Loc. Foci, che riguardano corsi d'acqua di piccole dimensioni, hanno adottato gli stessi criteri di indagine idrologica, che sono seguiti illustrati.

Invece gli studi in area urbana, che interessano corsi d'acqua leggermente più strutturati e già valutati, almeno a livello idrologico, negli studi del Piano Operativo vigente, sono stati effettuati adottando proprio l'approccio idrologico del 2019, ovvero quello sintetizzato nel Par. 3.5.1, a cui si rimanda.

Il criterio prescelto per l'idrologia dei corsi d'acqua in Loc. Staggia e Foci è quello del metodo SCS, utilizzato sia per la depurazione delle piogge (basata sul parametro *Runoff Curve Number*), che per la trasformazione afflussi-deflussi (idrogramma unitario adimensionale SCS).

Tale metodo è stato ritenuto più pertinente per la specificità e dei bacini in esame.

Infatti sarebbe stato difficoltoso, e forse improprio, studiare questi fossi con le stesse modalità con cui, nel Piano Operativo, sono stati studiati il Fiume Elsa, il Torrente Staggia, o il Torrente Foci (Par. 3.5.1).

E' noto come l'adozione del metodo dell'idrogramma unitario di Nash sia preferibilmente utilizzato per bacini di medie-grandi dimensioni, ove vi è una buona gerarchizzazione del reticolo; in questo caso, invece, le aste studiate sono, al più, del secondo ordine gerarchico.

Invece per i corsi d'acqua in area urbana (Borro di Papaiano, il Borro di Melachecca ed il Borro delle Pancole) il metodo dell'idrogramma unitario di Nash e la depurazione delle piogge mediante il metodo asintotico a soglia sono apparsi ancora pertinenti.

Per l'analisi idrologica dei corsi d'acqua e dei bacini di interesse in Loc. Staggia ed in Loc. Foci è stato predisposto un modello idrologico unico, adottando come solutore delle equazioni di calcolo il software HEC HMS.

Per quanto riguarda gli aspetti pluviometrici, sono stati implementati i dati dello studio *Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme* (Regione Toscana, 2014), che fornisce i valori dei parametri a ed n delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica come *raster* a maglie di 1 kmq, elaborabili in ambiente *Gis*.

L'afflusso meteorico (altezza lorda di precipitazione) su un bacino di riferimento, per un dato tempo di ritorno e una data durata di pioggia, è stimato attraverso la seguente relazione:

$$h = a \cdot t^n \quad (1)$$

con a ed n caratteristiche dell'intero bacino e funzione del tempo di ritorno prescelto.

Considerato che la pubblicazione regionale fornisce i valori di a ed n sotto forma di dati discreti e diversi per celle di 1 kmq, per definire l'altezza di precipitazione su un determinato bacino idrografico risulta necessario valutare la media delle singole altezze di precipitazione di ciascuna cella ricadente, anche in misura modesta, all'interno del bacino stesso.

Infatti non è proceduralmente corretto mediare sul bacino i coefficienti a ed n forniti dalla Regione, bensì mediare, sempre sul bacino, la relativa altezza di pioggia h , e successivamente, se necessario, procedere a ritroso e ricavare i relativi valori di a ed n per così dire "medi" e caratteristici del bacino.

Per semplificare il calcolo ed essere comunque cautelativi, nel caso del presente studio sono state prelevate le altezze di precipitazione massime tra quelle ricadenti sui bacini (viste le modeste dimensioni dei bacini, le celle insistenti su di essi risultano assai poche, e spesso con valori di h molti simili).

Per entrambe le località di studio è stata assegnata un'altezza di precipitazione comune a tutti i bacini su di esse insistenti.

I tempi di ritorno analizzati sono quelli di 30 e 200 anni.

L'analisi idrologica si è limitata a scenari di pioggia di breve durata, ovvero pari a 0,5, 1 e 2 ore. Nella maggior parte dei casi la durata critica di precipitazione dei bacini è prossima ai 30 minuti; probabilmente alcuni di essi presentano durate critiche anche inferiori, ma si è ritenuto eccessivamente forzato effettuare simulazioni con durata di pioggia troppo breve.

La seguente figura mostra un esempio della distribuzione delle altezze di precipitazione sul territorio regionale, con evidenziazione del confine comunale di Poggibonsi e dei bacini in esame (anche se a questa scala di rappresentazione i bacini sembrano dei punti soltanto).

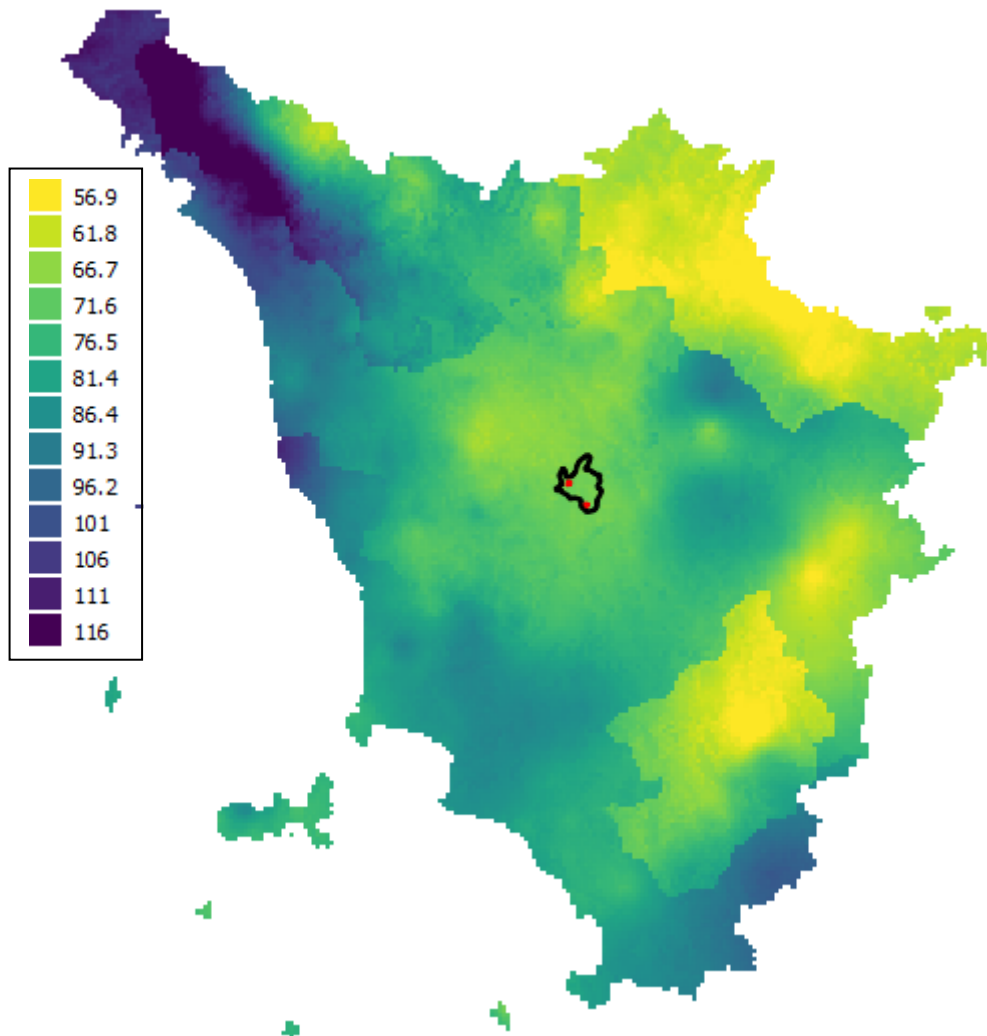


Fig. 3 – Distribuzione delle altezze di pioggia sul territorio regionale (es. TR100, durata 1ora)

Nell'analisi idrologica l'afflusso meteorico è stato schematizzato attraverso ietogrammi di forma triangolare, con picco centrale.

Viste le modeste dimensioni dei bacini, l'afflusso meteorico non è stato ragguagliato alla superficie, adottando quindi un coefficiente di ragguaglio K_r pari ad 1.

Nel modello idrologico la trasformazione tra pioggia "lorda" e pioggia efficace, o "netta", è stata effettuata mediante la stima e l'implementazione del parametro del *Runoff Curve Number (CN)*.

I valori del CN sono funzione della tessitura e dell'umidità iniziale del suolo, nonché del suo uso e/o copertura vegetale.

Il metodo SCS stima la precipitazione netta come funzione della precipitazione lorda cumulata secondo la seguente relazione:

$$P_n = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (2)$$

in cui P_n rappresenta la precipitazione netta al tempo t , P la cumulata lorda al medesimo tempo, e I_a la perdita iniziale (dovuta ad intercettazione e detenzione superficiale, e infiltrazione fino all'inizio dello scorrimento, mm).

S rappresenta invece la cosiddetta ritenzione potenziale, ovvero il massimo volume specifico d'acqua (mm) che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione, ed è calcolato mediante la seguente relazione:

$$S = 25.4 \cdot [(1000/CN) - 10] \quad (3)$$

in cui ritroviamo proprio il valore del Curve Number caratteristico del bacino.

Anche il valore di I_a è funzione del CN, secondo la seguente relazione:

$$I_a = \beta \cdot S \quad (4)$$

Al coefficiente β è stato assegnato il valore di 0.2, come comunemente utilizzato.

Ad ogni intervallo di tempo t , la precipitazione netta P_n coincide con il valore calcolato mediante la precedente formula (2) solo per $P > I_a$; in caso contrario, ovvero per $P \leq I_a$, P_n sarà pari a zero.

Per quanto detto, l'unico coefficiente da cui è fatta dipendere la precipitazione netta, ad ogni intervallo di tempo, è proprio il Curve Number.

Per la valutazione del CN caratteristico di ogni singolo bacino in esame si è proceduto come segue.

Innanzitutto, occorre specificare che il CN varia in funzione delle caratteristiche di permeabilità del terreno ed uso e copertura del suolo.

Come suggerito dallo studio del Prof. Castelli *Modellazione idrologica caso pilota. Implementazione modello distribuito per la Toscana MOBIDIC. Addendum: Parametrizzazione HMS (2014)* redatto nell'ambito dell'Accordo di Collaborazione Scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Firenze per Attività di Ricerca per la Mitigazione del Rischio Idraulico nella Regione Toscana, per l'assegnazione dei valori di CN si è fatto riferimento alle corrispondenze della seguente tabella.

Corine LIVELLO 3	SCS-CN per diversi HSG				Rif. USDA 1986
	A	B	C	D	
111 - Tessuto urbano continuo	89	92	94	95	Commercial and business (85% imp.)
112 - Tessuto urbano discontinuo	77	85	90	92	1/8 acre or less (town houses) (65% imp.)/small>
121 - Unità industriali o commerciali	81	88	91	93	Industrial (72% imp.)
122 - Reti di strade e binari e territori associati	98	98	98	98	Paved parking lots, roofs, driveways, etc.
123 - Aree portuali	98	98	98	98	Paved parking lots, roofs, driveways, etc.
124 - Aeroporti	98	98	98	98	Paved parking lots, roofs, driveways, etc.
131 - Luoghi di estrazioni di minerali	76	85	89	91	Gravel (including right of way)
132 - Discariche	81	88	91	93	Industrial (72% imp.)
133 - Luoghi di costruzione	77	86	91	94	Newly graded areas (pervious areas only, no vegetation)
141 - Aree di verde urbano	49	69	79	84	Fair condition (grass cover 50 to 75%)
142 - Strutture di sport e tempo libero	68	79	86	89	Poor condition (grass cover <50%)

211 - Seminativi non irrigati	61	73	81	84	Contoured (C)
212 - Suolo permanentemente irrigato	67	78	85	89	Straight row (SR)
213 - Risaie	62	71	78	81	Contoured & terraced (C&T)
221 - Vigneti	76	85	90	93	Crop residue cover
222 - Frutteti e frutti minori	43	65	76	82	Woods—grass combination (orchard or tree farm)
223 - Oliveti	43	65	76	82	Woods—grass combination (orchard or tree farm)
231 - Pascoli	49	69	79	84	Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing.
241 - Colture annuali associate a colture permanenti	61	73	81	84	Small grain
242 - Coltivazione complessa	61	73	81	84	Small grain
243 - Suoli principalmente occupati dall'agricoltura	61	73	81	84	Small grain
244 - Aree di agro-selvicoltura	43	65	76	82	Small grain
311 - Foreste a latifoglie	36	60	73	79	Woods
312 - Foreste a conifere	36	60	73	79	Woods
313 - Foreste miste	36	60	73	79	Woods
321 - Prateria naturale	49	69	79	84	Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing.
322 - Lande e brugheria	49	69	79	84	Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing.
323 - Vegetazione sclerofila	35	56	70	77	Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element
324 - Transizione suolo boscoso/arbusti	35	56	70	77	Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element
331 - Spiagge, dune e piani di sabbia	46	65	77	82	12% imp.
332 - Roccia nuda	96	96	96	96	Artificial desert landscaping
333 - Aree scarsamente vegetate	63	77	85	88	Natural desert landscaping (pervious area only)
334 - Aree bruciate	63	77	85	88	Natural desert landscaping (pervious area only)
335 - Ghiacciai e nevi perenni	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
411 - Paludi interne	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
412 - Torbiere	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
421 - Paludi di sale	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
422 - Saline	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
423 - Piani intertidali	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
511 - Corsi d'acqua	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
512 - Corpi d'acqua	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
521 - Lagune costiere	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
522 - Estuari	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies
523 - Mare	98	98	98	98	Impervious surfaces, water bodies

Tab. 1 – Valori del CN da "Implementazione modello distribuito per la Toscana MOBIDIC" (Accordo di collaborazione scientifica tra la R.T. e Università di Firenze, 2014).

Come si evince anche dalla precedente tabella, il metodo SCS suddivide i suoli in 4 gruppi (dal gruppo A, suolo molto permeabile, al gruppo D, suolo quasi impermeabile), ed "incrocia" tali valori con le caratteristiche di uso e copertura dei suoli.

Per la classificazione dei suoli sui bacini in esame si è fatto riferimento alle indicazioni del Database Pedologico della Regione Toscana (2017), e non alla classificazione dei suoli del Database regionale proposto dal Prof. Castelli nell'ambito del citato *studio Implementazione di modello idrologico distribuito per il territorio toscano (suoli_toscana.shp)*. Questa scelta è stata effettuata in continuità con quanto già fatto in altri studi, ed anche perché questa seconda classificazione pare meno diversificata e dettagliata rispetto a quelle del Database Pedologico.

Si noti che il Database Pedologico non assegna classi di suolo alle aree urbane; ad esse, in via cautelativa, è stata assegnata la classe a minore permeabilità (D).

La distribuzione delle classi di suolo sui bacini in esame è mostrata nei capitoli relativi alle singole verifiche idrologico-idrauliche.

Per la classificazione dell'uso del suolo si è invece fatto riferimento al Database regionale di Uso e Copertura del Suolo, nella versione dell'anno 2019 (UCS 2019).

Anche in questo caso, la distribuzione delle classi di uso del suolo (codici *Corine*) sui bacini in esame è mostrata nei capitoli specifici.

Una volta ricavate le distribuzioni delle classi di suolo SCS (da Database Pedologico) e di uso e copertura del suolo (da UCS2019) si è proceduto incrociando i dati sulla base della precedente Tab. 1 ottenendo i relativi valori medi di CN per tutti i bacini di studio.

Questi valori si riferiscono però al CN II (condizioni di media umidità del suolo), pertanto è stata implementata la seguente formulazione:

$$CN(III) = \frac{23 CN(II)}{10 + 0.13 CN(II)} \quad (5)$$

ed ottenuti i valori finali di CN III (condizioni di elevata umidità del suolo) per tutti i bacini in esame.

Applicando dunque le precedenti (2) (3) (4) mediante apposito modello idrologico con HEC HMS 4.6.1 a partire da un afflusso meteorico di forma triangolare è stata calcolata la precipitazione netta su ciascun bacino.

Come anticipato, anche per la trasformazione da afflussi meteorici a deflussi di piena si è fatto ricorso al metodo SCS, che si basa sull'applicazione dell'idrogramma unitario adimensionale.

Esso è rappresentato nella seguente figura.

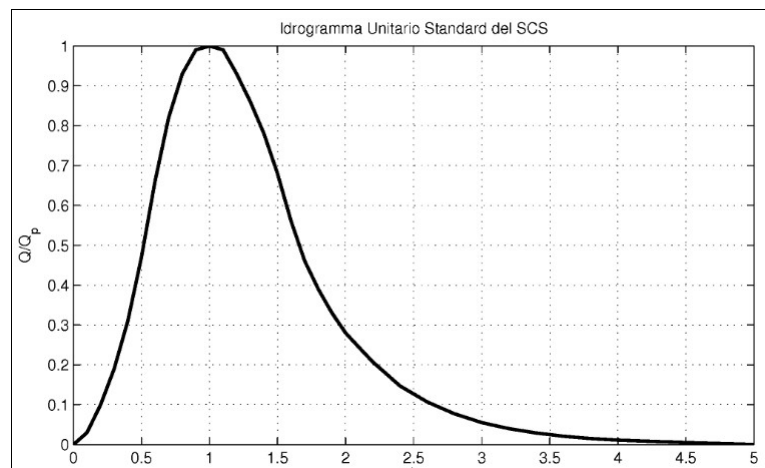


Fig. 4 – Idrogramma unitario adimensionale SCS

Il tempo di picco di detto idrogramma è funzione del tempo di ritardo T_l , che a sua volta è legato al tempo di corrivazione T_c del bacino, secondo la seguente relazione:

$$T_l = 0.6 T_c \quad (6)$$

Per il calcolo del tempo di corrivazione sono state valutate diverse formulazioni empiriche di uso comune, fondate su dati geomorfologici caratteristici dei bacini idrografici.

I tempi di corrivazione (ore) sono stati calcolati mediante i seguenti metodi:

SCS

$$T_c = 0,57 \cdot L_{max}^{0,8} \cdot (1000/CN-9)^{0,7} \cdot i_{bac\%}^{-0,5} \quad (7)$$

PEZZOLI

$$T_c = 0,55 \cdot L \cdot i_{asta\%}^{-0,5} \quad (8)$$

PUGLISI

$$T_c = 6 \cdot L^{2/3} \cdot (H_{max} - H_0)^{-1/3} \quad (9)$$

FERRO

$$T_c = 0,675 \cdot A^{0,5} \quad (10)$$

GIANDOTTI

$$T_c = (4 \cdot A^{0,5} + 1,5 \cdot L_{max}) / (0,8 \cdot \Delta H_{mean0}^{0,5}) \quad (11)$$

KIRPICH

$$T_c = (0,0662 \cdot L_{max}^{0,77} \cdot i_{percmax\%}^{-0,385}) \quad (12)$$

REGIONALIZZAZIONE

$$T_c = (1,66 \cdot L^{0,82} \cdot H_{mean}^{-0,188}) \quad (13)$$

in cui L_{max} (km) rappresenta la massima distanza percorsa dall'acqua, L (km) la lunghezza dell'asta principale, A (kmq) la superficie del bacino, $i_{percmax}$, $i_{asta\%}$ e $i_{bac\%}$ rispettivamente le pendenze medie, espresse in percentuale, della massima distanza percorsa dall'acqua, dell'asta principale e del bacino, H_{max} , H_{mean} e H_0 (m s.l.m.) rispettivamente l'altitudine massima e media del bacino e l'altitudine alla sezione di chiusura, e ΔH_{mean0} (m) l'altezza media sulla sezione di chiusura.

Mediante analisi geomorfologica dei bacini in ambiente Gis sono stati calcolati tutti i parametri necessari per applicare le formulazioni sopra riportate e stimata la media.

Nei paragrafi inerenti i singoli modelli idrologico-idraulici sono riportati i valori finali dei tempi di corrvazione assunti per ciascun bacino di interesse, calcolati in base alla media aritmetica dei singoli T_c valutati mediante le precedenti espressioni.

Una volta determinato il tempo di corrvazione, mediante l'ausilio del software HEC HMS sono stati stimati gli idrogrammi di piena per le varie durate di precipitazione ed i tempi di ritorno pari a 30 e 200 anni.

A titolo puramente informativo è di seguito mostrata la schematizzazione del modello idrologico di HMS che contiene i bacini di entrambe le zone di studio, benché distanti tra loro.

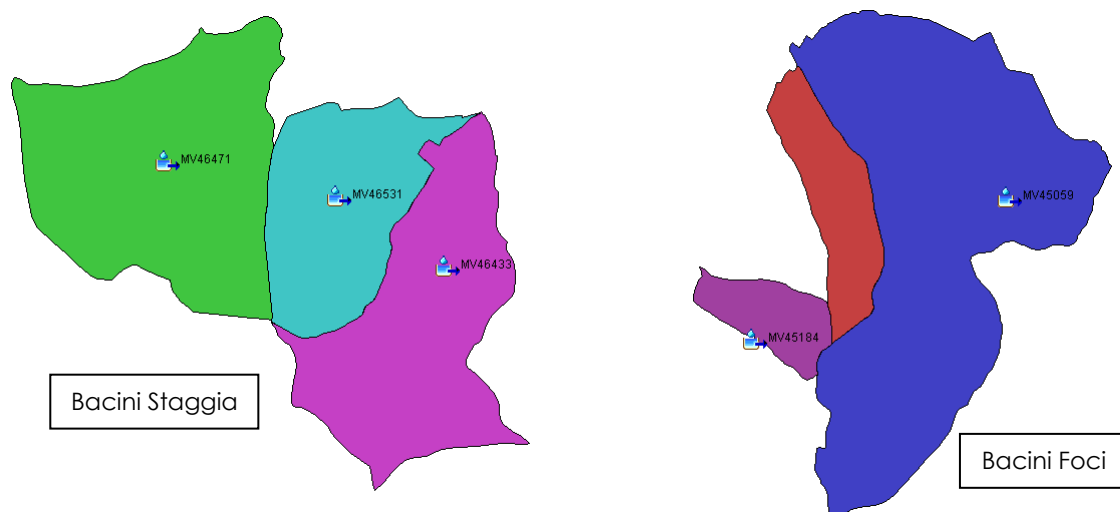


Fig. 5 – Schematizzazione del modello idrologico

Tra i bacini in Loc. Foci è mostrato, in marrone, anche un bacino privo di *subbasin*; si tratta di un fosso poi non studiato, per motivi che sono chiariti nel prosieguo.

5. MODELLISTICA IDRAULICA

Le verifiche idrauliche dei corsi d'acqua minori in Loc. Staggia, Loc. Foci e nell'area urbana di Poggibonsi sono state eseguite per lo più mediante modelli puramente bidimensionali, in cui tutti i manufatti di attraversamento ed altri elementi antropici significativi (ad esempio, muretti di contenimento) sono stati introdotti nella geometria mediante oggetti del tipo *2DSA_conn*.

Soltanto per il Borro di Papaiano e il Borro di Melachecca, lungo i quali risultavano disponibili le sezioni rilevate a supporto del Piano Strutturale del 2014 (ancora valide e rappresentative), è stata predisposta una più classica modellazione accoppiata mono-bidimensionale.

Nel caso di Staggia la decisione di optare per un modello solo bidimensionale è stata effettuata dopo innumerevoli tentativi di stabilizzare un modello mono-bidimensionale accoppiato, basato su un'ampia gamma di sezioni resesi disponibili e rilevate *ad hoc*.

Ma la complessità del reticolo, la presenza di manufatti e le ridottissime dimensioni di alcune sezioni hanno fatto propendere per il bidimensionale puro; però è stato fatto tesoro delle tante sezioni a disposizione ed è stato ricreato un DTM di dettaglio capace di riprodurre piuttosto fedelmente le forme degli alvei.

Nel caso dei fossi in Loc. Foci, invece, la scelta del modello bidimensionale è stata effettuata immediatamente a seguito dei sopralluoghi sul posto, una volta appurato che si trattava di aste quasi interamente tombate.

Lo stesso principio è stato applicato allo studio del Borro delle Pancole, anch'esso caratterizzato da un lungo tratto tombato e dal sottopasso del raccordo Firenze-Siena, alternati dalla presenza di brevi tratti a cielo aperto.

Mentre solo per il Borro di Papaiano ed il Borro di Melachecca si è riusciti ad implementare una modellistica accoppiata.

Come detto, le verifiche idrauliche sono state predisposte in tre distinti "blocchi modellistici".

In coerenza con quanto suggerito dall'Allegato 3 della Disciplina del P.G.R.A., le verifiche idrauliche sono state eseguite mediante il software non proprietario HEC RAS (versione 6.4.1).

Ormai comunemente utilizzato e consolidato, il codice di calcolo Hec Ras consente la risoluzione numerica delle equazioni del moto e di continuità per una corrente liquida in condizioni non stazionarie, assumendo la gradualità spazio-temporale del fenomeno e quindi valutando sia le perdite di carico distribuite che quelle localizzate (contrazione-espansione della sezione).

Al fine di non appesantire la trattazione, per maggiori dettagli circa i fondamenti teorici alla base del funzionamento e della risoluzione delle equazioni del moto vario del codice di calcolo si rimanda alla consultazione del relativo manuale d'uso, disponibile anche all'indirizzo URL <http://www.hec.usace.army.mil>.

Il codice di calcolo consente di accoppiare il modello monodimensionale d'alveo con la modellazione bidimensionale delle aree golenali e/o aree adiacenti ai corsi d'acqua.

Le equazioni che descrivono il moto bidimensionale sono quelle di De Saint Venant, derivate a partire dalla formulazione completa di Navier-Stokes.

Le equazioni si ottengono imponendo la conservazione della massa (equazione di continuità) e della quantità di moto nelle due direzioni principali x e y all'interno di un generico volume di controllo. Il software permette la modellazione bidimensionale del flusso idrico sia utilizzando le equazioni complete di De Saint Venant, sia il modello semplificato diffusivo (nel presente lavoro i nuovi modelli prevedono la risoluzione delle equazioni complete).

Le aree adiacenti al corso d'acqua sono quindi rappresentate attraverso un insieme di celle (*mesh*) strutturate o non strutturate, quindi di diversa forma e dimensione, su aree definite come *2D Flow Area*.

In caso di superamento da parte della corrente in alveo (modello monodimensionale) delle sommità arginali o dei cigli di sponda i volumi in eccesso sono trasferiti nelle celle della base 2D attraverso gli elementi di collegamento 1D-2D, ovvero le *Lateral Structure*, che seguono la legge dello stramazzone in parete grossa.

Il trasferimento "a campagna", tra cella e cella, dei volumi fuoriusciti è valutato con il metodo dei "volumi finiti", in caso di utilizzo delle equazioni complete di De Saint Venant; in alternativa, per il modello diffusivo, il software consente anche di adottare il metodo di risoluzione alle differenze finite. In entrambi i casi, lo schema risolutivo è quello semi-implicito generalizzato di Crank-Nicholson.

Per ulteriori approfondimenti circa i principi teorici del moto bidimensionale, e accoppiato, secondo lo schema di calcolo di HEC RAS si rimanda nuovamente alla consultazione del relativo manuale.

Di quanto brevemente riportato, nel presente lavoro trova applicazione la sola componente bidimensionale, ad eccezione del Borro di Papaiano e del Borro di Melachecca in cui viene rappresentata anche l'asta fluviale mediante apposite sezioni.

La base bidimensionale dei modelli (*terrain*) è fondata sul rilievo LIDAR; pur disponendo anche della versione più recente del LIDAR (anno 2021, disponibile solo per gli enti pubblici), per le modellazioni in Loc. Staggia ed in Loc. Foci è stata utilizzata la versione scaricabile liberamente dal portale regionale, nonostante sia più datata (2008), in quanto ritenuta più appropriata e precisa.

Soltanto per lo studio degli affluenti destri del Torrente Staggia in area urbana (Borro di Papaiano, Borro di Melachecca e Borro delle Pancole) si è reso necessario integrare la base LIDAR 2008 con quella del LIDAR 2021 nelle parti di monte delle rispettive aree di studio; si ricorderà che proprio l'assenza di copertura completa del LIDAR 2008 lungo questi corsi d'acqua è stato il motivo del mancato aggiornamento nell'ambito del Piano Operativo del 2019.

Per tutti i modelli, sulle aree di modellazione sono state costruite le *2DFlowArea*, discretizzate mediante una *mesh* di calcolo a maglia 3x3 mt, localmente infittita.

Per quanto riguarda la scabrezza della base 2D si è fatto riferimento alle associazioni tra codici *Corine* di uso del suolo e valori del coefficiente *n* di Manning di cui alla seguente tabella.

Code	Designation	n
111	Continuous urban fabric	0.230
112	Discontinuous urban fabric	0.115
121	Industrial or commercial units	0.230
122	Roads and rail networks and associated land	0.038
124	Airports	0.230
131	Mineral extraction sites	0.104
132	Dump sites	0.115
133	Construction sites	0.115
142	Sport and leisure facilities	0.023
211	Non-irrigated arable land	0.043
212	Permanently irrigated land	0.043
213	Rice fields	0.023
221	Vineyards	0.043
222	Fruit trees and berry plantations	0.043
223	Olive groves	0.043
231	Pastures	0.298
241	Annual crops associated w/permanent crops	0.043
242	Complex cultivation patterns	0.023
243	Agriculture, w/significant natural vegetation	0.058
244	Agro-forestry areas	0.058
311	Broad-leaved forest	0.230
312	Coniferous forest	0.127
313	Mixed forest	0.230
321	Natural grasslands	0.039
322	Moors and heathland	0.058
323	Sclerophyllous vegetation	0.058
324	Transitional woodland-shrub	0.058
331	Beaches, dunes, sands	0.138
332	Bare rocks	0.104
333	Sparsely vegetated areas	0.104
334	Burnt areas	0.104
411	Inland marshes	0.115
511	Water courses	0.035
512	Water bodies	0.035

Tab. 2 – Resistenza del terreno (Pestana e al., 2013), espressa come coefficiente n di Manning ($\text{sm}^{-1/3}$)

Ai valori di Tab. 2 è stata apportata la sola correzione al codice 231, recante il valore di scabrezza più alto di tutti, nonostante in corrispondenza di questo uso del suolo (*pastures*, letteralmente pascoli), fortunatamente non troppo diffuso, spesso siano presenti aree piuttosto libere e scarsamente vegetate.

Al codice 231 è stata assegnata la scabrezza di Manning di $0.058 \text{ sm}^{-1/3}$, decisamente più appropriata.

Tutte le verifiche idrauliche sono state eseguite rispetto ai due eventi di piena di riferimento per il D.P.G.R. 5R/2020 ed il P.G.R.A., ovvero gli eventi con tempo di ritorno di 30 e 200 anni, a cui sono fatte rispettivamente corrispondere la pericolosità per alluvioni frequenti (detta anche pericolosità da alluvione elevata, P3, secondo il P.G.R.A.) e la pericolosità per alluvioni poco frequenti (detta anche pericolosità da alluvione media, P2).

Le simulazioni dei corsi d'acqua in Loc. Staggia e Foci sono state eseguite, per entrambi i tempi di ritorno, per i seguenti scenari di precipitazione; 0.5 ore, 1 ora e 2 ore.

Invece le modellazioni degli affluenti del Torrente Staggia sono state condotte per durate più lunghe (1, 2 e 3 ore, più prossime alle durate critiche di questi corsi d'acqua), ma anche per le durate di 5 e 6 ore (più prossime alla durata critica del Torrente Staggia, al fine di valutare l'eventuale rigurgito di quest'ultimo nei tratti di confluenza).

Le condizioni al contorno dei modelli sono state assegnate sia direttamente sulla base bidimensionale, sia in corrispondenza delle sezioni di chiusura (per il solo Borro di Papaiano e di Melachecca).

In uscita dai domini di calcolo, in corrispondenza degli alvei dei corsi d'acqua "ricettori" dei tre modelli (Torrente Staggia e Torrente Foci), sono state inserite delle *BCL*Line assegnandovi condizioni di pendenza di moto uniforme (*normal depth*), in base alla pendenza locale dei corsi d'acqua, oppure, solo per lo studio degli affluenti in area urbana, e solo per gli scenari con

durate di precipitazione lunghe, i massimi livelli attesi nel Torrente Staggia (*stage hydrograph*), ricavati dalle modellazioni del Piano Operativo.

Anche nei casi in cui sono state previste *BCLine interne*, ovvero quelle con cui sono stati inseriti gli idrogrammi di piena a campagna, la condizione di immissione assunta è stata quella della pendenza dell'asta.

6. VERIFICA IDRAULICA DEI FOSSI MINORI IN LOC. STAGGIA

In questo capitolo è descritto il sub-modello idrologico-idraulico dei corsi d'acqua interferenti con l'abitato di Staggia.

6.1 Singolarità dei corsi d'acqua

L'abitato di Staggia è interessato principalmente dalla presenza di tratti tombati.

Il reticolo idrografico identifica solo tre corsi d'acqua interferenti, due dei quali confluiscono l'uno nell'altro prima del tombamento.

Si tratta di piccoli fossi che provengono dal versante collinare ed entrano in tombamento a monte dell'area urbana.

L'andamento delle aste nel reticolo idrografico regionale sembra non del tutto corretto, soprattutto in relazione allo sviluppo dei tratti tombati; perciò, è stato consultato anche il database comunale delle fognature urbane, dal quale però non si riuscì a ricostruire perfettamente l'andamento del sistema fognario, in cui (questo è palese) confluiscono i corsi d'acqua.

Nessuno di questi fossi è identificato da uno specifico toponimo nel reticolo idrografico regionale. Per quanto meno intuitivo, risulta necessario indicarli con il solo codice del reticolo.

Da Nord verso Sud, si rilevano i seguenti fossi:

- MV46471
- MV46531
- MV46433.

Gli ultimi due sono quelli che confluiscono l'uno nell'altro prima che abbia inizio il tombamento.

A monte della loro confluenza questi fossi sottopassano la nuova viabilità in costruzione (Variante di Staggia della S.R. n. 2 Cassia); gli attraversamenti della nuova viabilità sono piuttosto grandi, ma a monte di essi, risalendo il versante collinare, sono presenti altri due piccoli attraversamenti, ma soprattutto le dimensioni degli alvei diventano davvero minime, alla stregua di semplici scoline di campo.

Nella modellazione bidimensionale è stato tenuto della presenza del nuovo rilevato stradale, decisamente più alto rispetto al piano campagna circostante.

La geometria del rilevato e degli alvei dei corsi d'acqua è stata ricostruita in apposito DTM, successivamente integrato con il LIDAR.

Come anticipato, lungo questi due corsi d'acqua è stato eseguito un rilievo topografico ed è stato acquisito anche il piano quotato battuto a supporto del progetto stradale, il che ha reso possibile ricavare una base bidimensionale piuttosto dettagliata.

L'altro corso d'acqua interferente con l'abitato di Staggia è quello individuato dal codice MV46471.

Esso scende dal versante collinare in prossimità della Strada Provinciale di accesso alla frazione. In corrispondenza del primo caseggiato (una lottizzazione residenziale piuttosto recente) il fosso entra in tombamento.

Per quanto brevemente descritto, le possibili problematiche idrauliche della zona (non si hanno notizie di eventi alluvioni o anche solo allagamenti parziali) sono legate sia alla presenza dei tombamenti, sia al mancato contenimento delle acque in alveo a monte di essi.

Le esigue dimensioni degli alvei nel primo tratto collinare rappresentano un elemento di forte criticità in ambito di modellazione; questo è uno dei motivi per i quali la modellazione puramente bidimensionale è apparsa la migliore soluzione modellistica da adottare per rappresentare i fenomeni esondativi.

La seguente figura individua i fossi di interesse sia nella rappresentazione del reticolo regionale che nell'interpretazione proposta; è inoltre presente la Variante di Staggia in costruzione.

La figura successiva mostra in modo più chiaro la differenza tra il reticolo regionale (in azzurro, tratteggiato per i tombamenti) e l'andamento suggerito dall'analisi del sistema fognario locale.

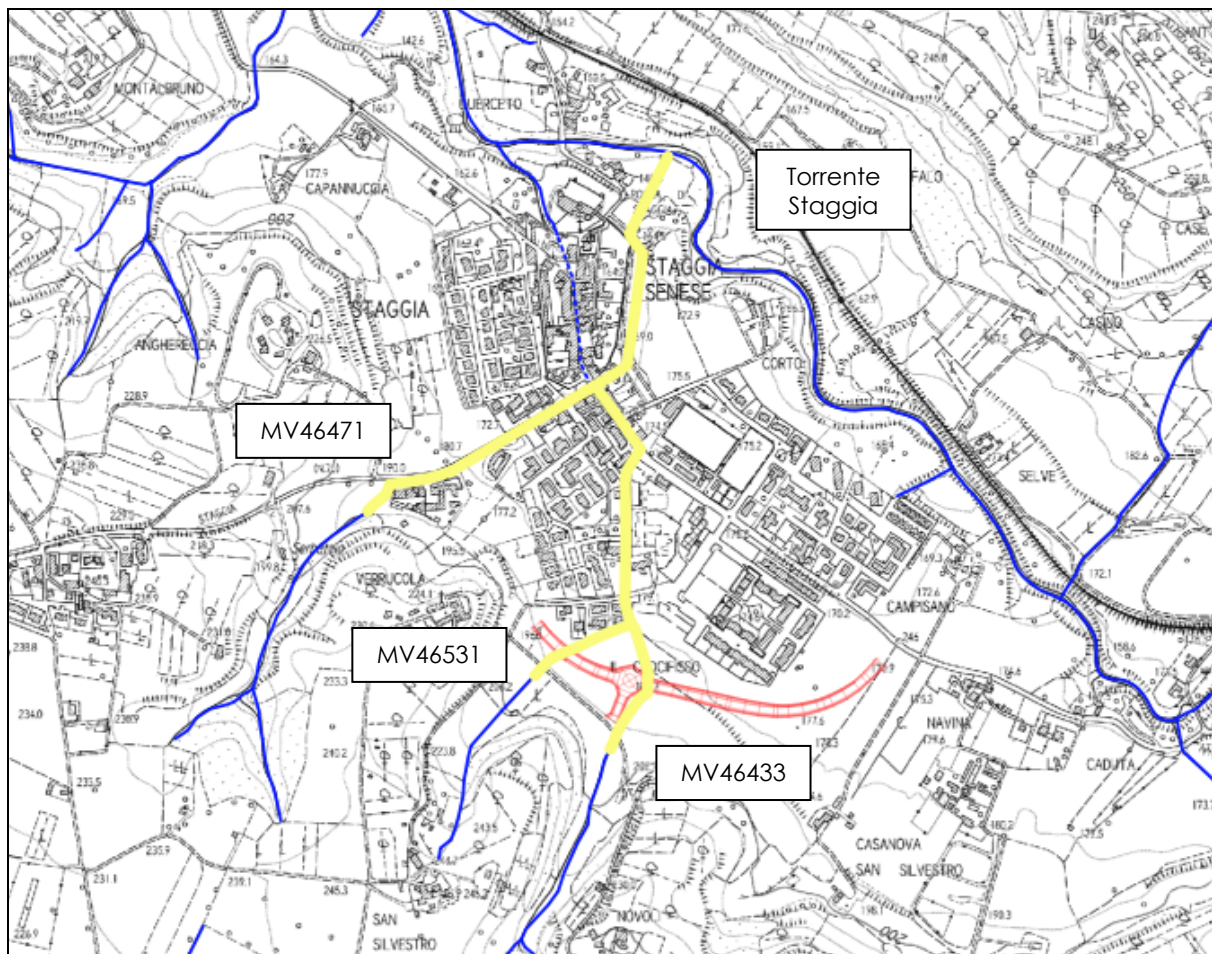


Fig. 6 – Planimetria del reticolo superficiale e tombato in Loc. Staggia

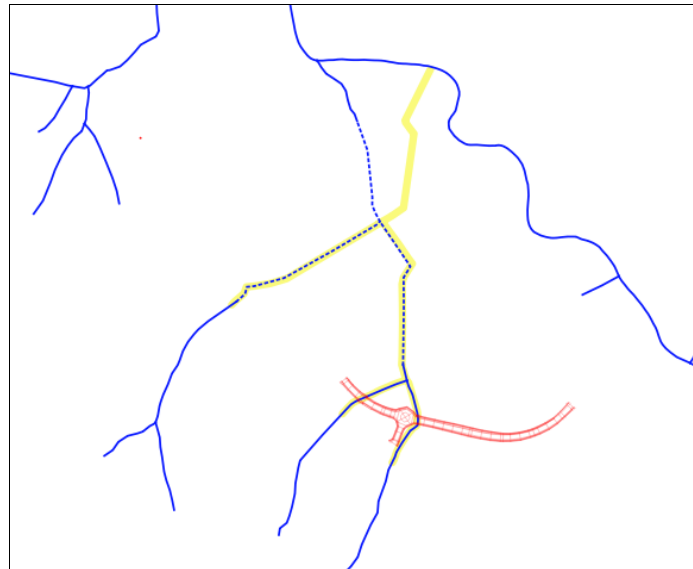


Fig. 7 – Schema semplificato del reticolo

6.2 Documentazione fotografica

Di seguito sono riportate alcune fotografie rappresentative dei corsi d'acqua oggetto di studio.



Nuovo attraversamento di MV46433 su Variante SR2



Alveo di MV46531 a monte dell'attraversamento su Variante SR2



Alveo di MV46433 a monte della Variante SR2



Alveo di MV46433 a valle della Variante SR2



Alveo di MV46531 a valle della Variante SR2



Alveo di MV46433 a valle della confluenza con MV46531, appena prima del tombamento



Uscita attraversamento su strada campestre di MV46531 a monte della Variante SR2



Imbocco del tombamento su fosso MV46471

6.3 Idrologia

L'analisi idrologica dei tre corsi d'acqua di Staggia è compiuta secondo i criteri di cui al precedente Cap. 4.

In questo paragrafo sono mostrati alcuni dettagli planimetrici dei bacini e fornite tutte le parametrizzazioni di calcolo; infine sono riportati gli idrogrammi di piena stimati.

Innanzitutto, è mostrata la planimetria dei bacini, a cui è stata assegnata la stessa denominazione dei rispettivi corsi d'acqua.



Fig. 7 – Bacini dei corsi d'acqua in Loc. Staggia, chiusi a monte dei tratti tombati

Seguono le distribuzioni dell'uso del suolo e delle classi di suolo SCS sui bacini.

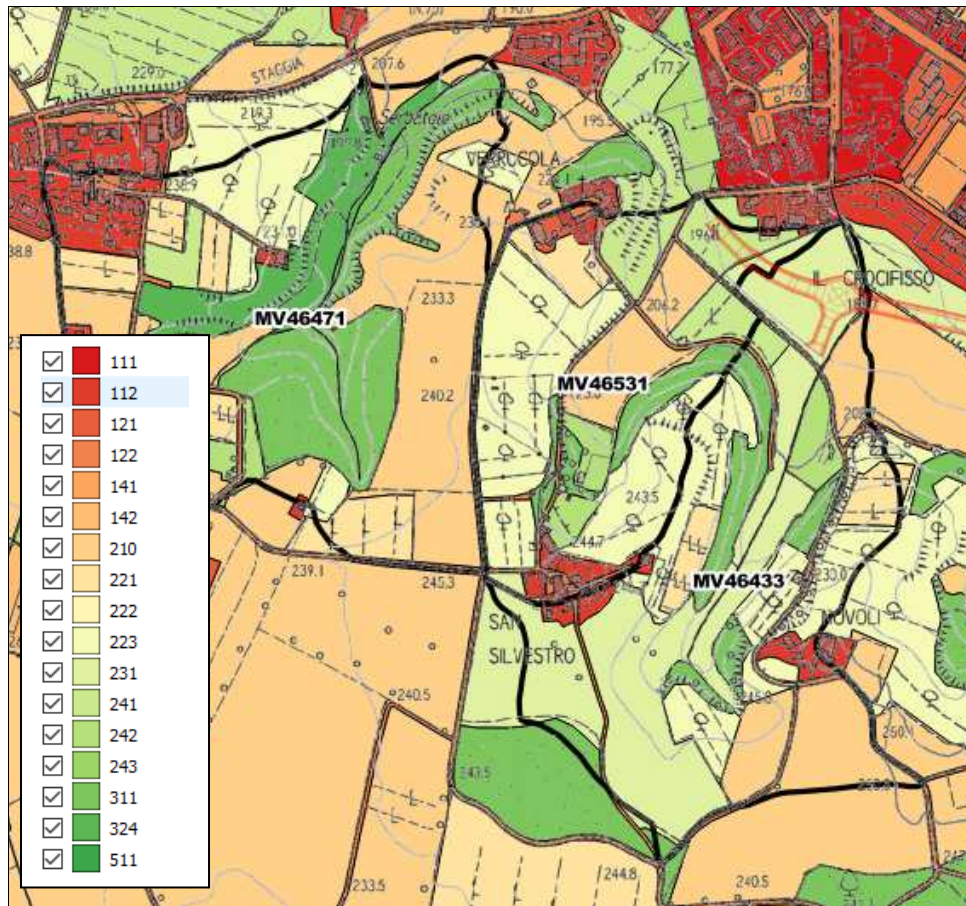


Fig. 8 – Distribuzione dell'uso del suolo sui bacini dei corsi d'acqua in Loc. Staggia

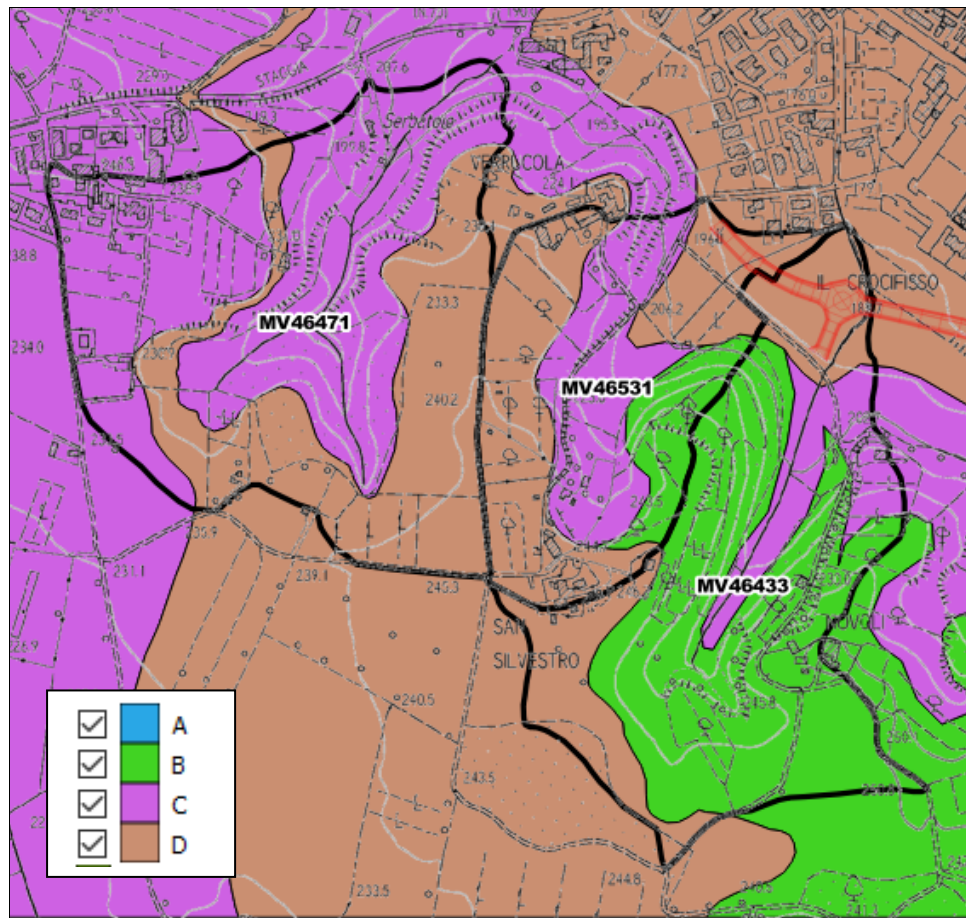


Fig. 9 – Distribuzione delle classi di suolo SCS sui bacini dei corsi d'acqua in Loc. Staggia

Seguendo i criteri metodologici del Cap. 4 è stato stimato il valore caratteristico del CN su ciascuno dei bacini.

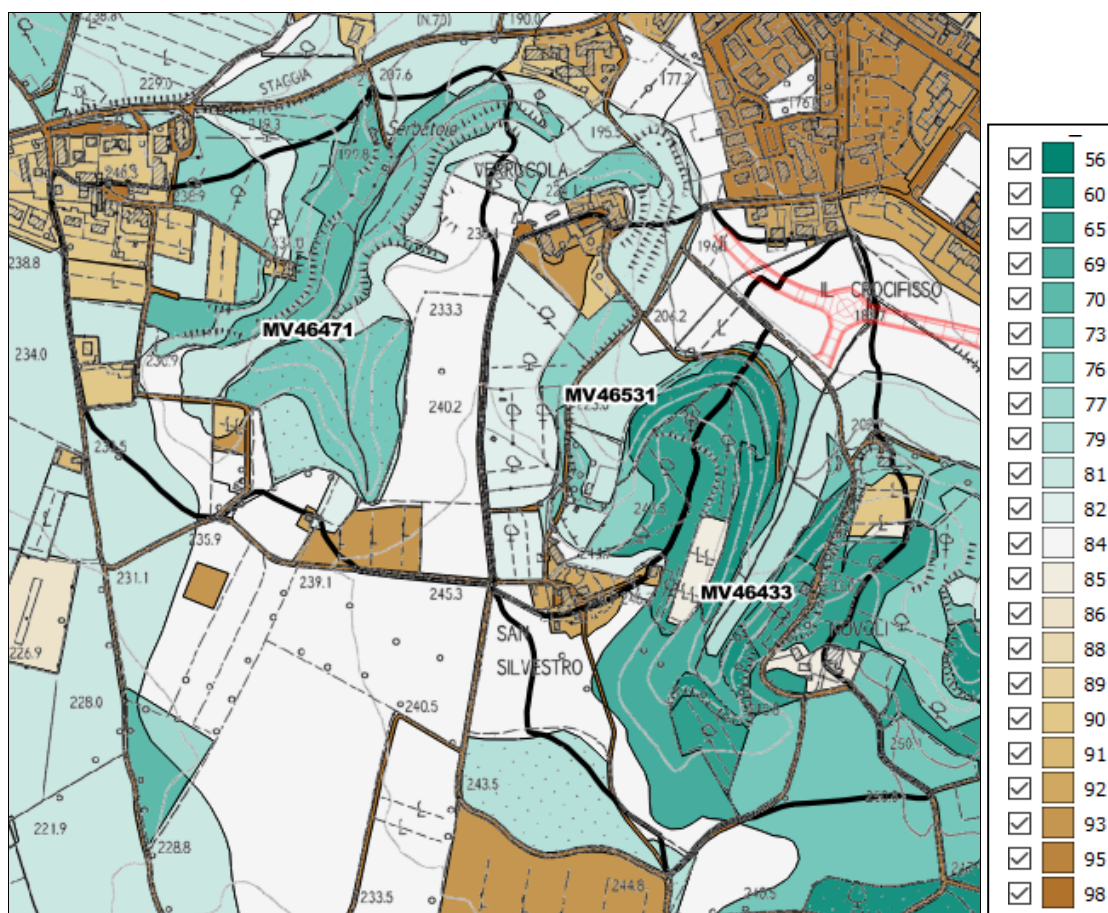


Fig. 10 – Distribuzione del CN (III) sui bacini dei corsi d'acqua in Loc. Staggia

Per quanto riguarda le forzanti meteoriche sono state acquisite, a partire dai parametri a ed n delle LSPP regionali, delle altezze di pioggia omogenee sul bacino complessivo (somma dei due bacini), per le varie durate di precipitazione (0.5, 1, e 2 ore) e tempi di ritorno considerati.

Bacino	H_30_0.5 (mm)	H_30_1 (mm)	H_30_2 (mm)	H_200_0.5 (mm)	H_200_1 (mm)	H_200_2 (mm)
Bacini in Loc. Staggia	41.65	50.59	61.45	56.94	70.40	87.04

Tab. 3 – Altezze medie di precipitazione sui bacini in Loc. Staggia

Segue una tabella di riepilogo in cui sono indicate le superfici dei bacini, il valore del CN (III) ed il tempo di corrivazione in ore; si ricorda che il T_c è stato stimato attraverso la media aritmetica delle 7 formulazioni di cui al Cap. 3.

Bacino	Area (kmq)	CN (III)	Tempo di corrivazione assunto T_c (h)
MV46433	0.2	86.9	0.31
MV46531	0.13	90.4	0.27
MV46471	0.25	90.5	0.35

Tab. 4 – Superficie, CN e tempo di corrivazione dei vari bacini in Loc. Staggia

Tutti i parametri geomorfologici ed idrologici stimati sono stati implementati nel modello idrologico con il software HEC HMS per il calcolo degli idrogrammi di piena.

La successiva tabella mostra la sintesi dei valori al colmo delle portate di piena per tutti i sottobacini e tutti gli scenari idrologici esaminati.

Segue la graficizzazione di tutti gli idrogrammi di *output* del modello idrologico.

Bacino	Q_30_0.5 (mc/s)	Q_30_1 (mc/s)	Q_30_2 (mc/s)	Q_200_0.5 (mc/s)	Q_200_1 (mc/s)	Q_200_2 (mc/s)
MV46433	2.54	2.42	1.91	4.35	4.06	3.18
MV46531	2.20	1.95	1.47	3.49	3.11	2.34
MV46471	3.72	3.52	2.76	5.92	5.60	4.35

Tab. 5 – Valori al colmo delle portate di piena nei diversi scenari studiati

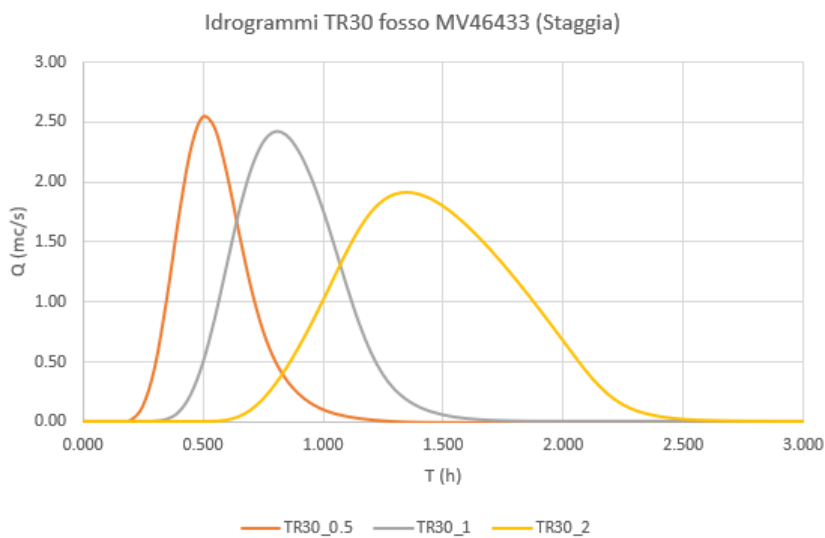


Fig. 11 – Idrogrammi MV46433 TR30

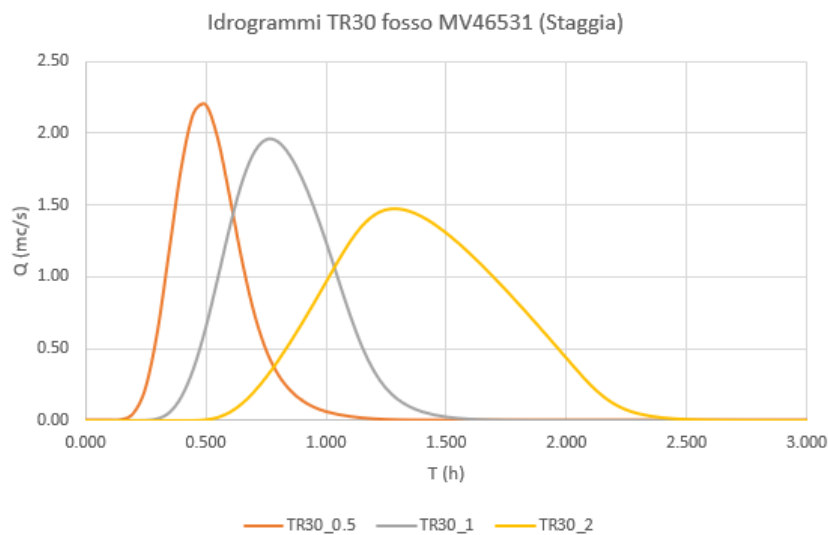


Fig. 12 – Idrogrammi MV46531 TR30

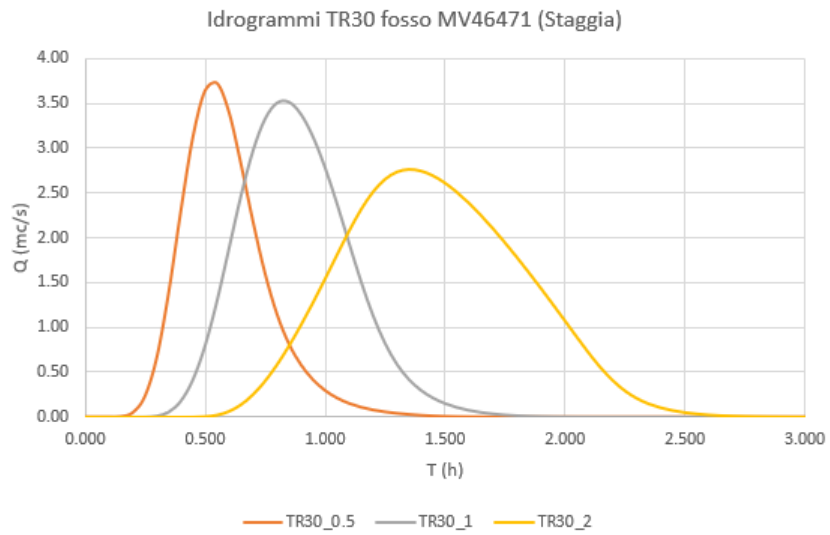


Fig. 13– Idrogrammi MV46471 TR30

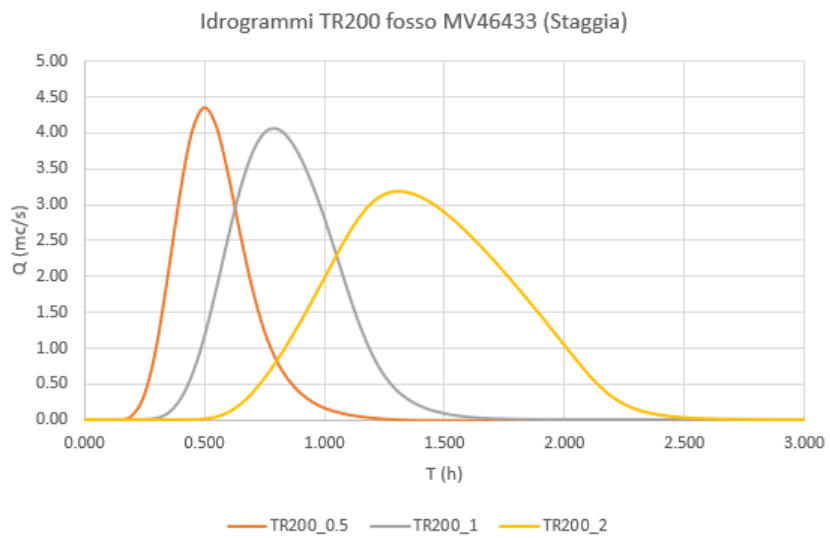


Fig. 14 – Idrogrammi MV46433 TR200

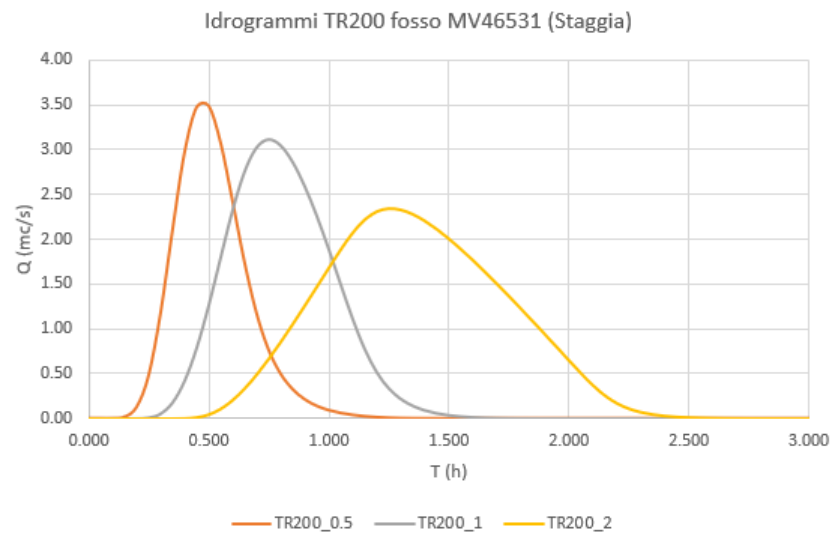


Fig. 15 – Idrogrammi MV46531 TR200

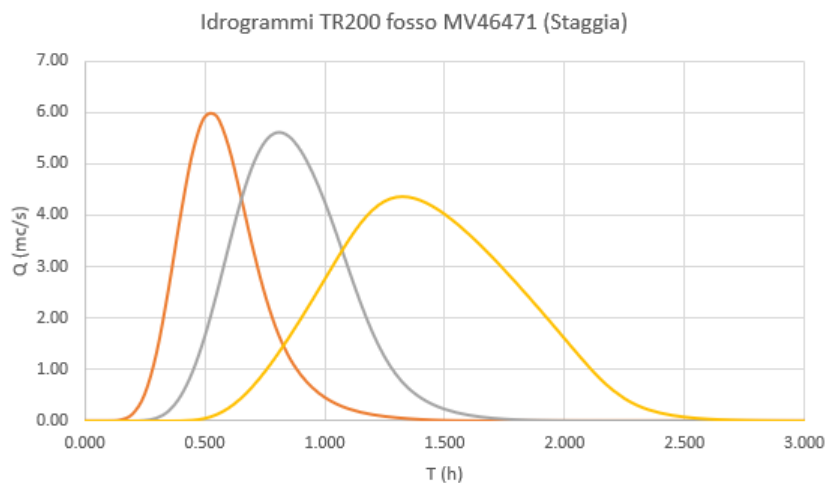


Fig. 16 – Idrogrammi MV46471 TR200

6.4 Idraulica

Per il modello idraulico dei fossi di Staggia la base bidimensionale utilizzata è rappresentata da un mosaico di DTM.

Mediante gli elaborati del progetto stradale è stato ricostruito il modello digitale del rilevato, e dei fossi di guardia.

Grazie al rilievo topografico appositamente effettuato e ai punti quotati disponibili sempre nel progetto stradale è stato possibile tracciare numerose sezioni d'alveo, e da qui confezionare un DTM del solo alveo inciso.

Quindi si è proceduto ad effettuare un mosaico delle basi 2D (DTM stradale, DTM d'alveo e base LIDAR), ottenendo il *terrain model* da adottare nel modello.

Trattandosi di modello puramente bidimensionale, i manufatti di attraversamento sono stati introdotti mediante gli oggetti *2DSA_conn*, che consentono di rappresentare elementi verticali (muri, rilevati etc) con tombini sottopassanti.

Per quanto riguarda i due tombamenti lunghi che attraversano l'abitato di Staggia (MV46433 e MV46471) si è dovuto necessariamente procedere a mantenerli separati, anche se verosimilmente le due tubazioni si incontrano presso l'intersezione stradale tra "Vecchia Cassia" e Strada Provinciale.

Del resto, l'unione di *culvert* non è un'operazione consentita dal software di modellazione.

E' anche vero che la simulazione dei tombamenti di valle non costituisce un elemento determinante; i tratti di maggiore interesse sono quelli di monte fino all'imbocco delle tubazioni.

La seguente figura mostra lo schema modellistico del sistema di corsi d'acqua in Loc. Staggia.

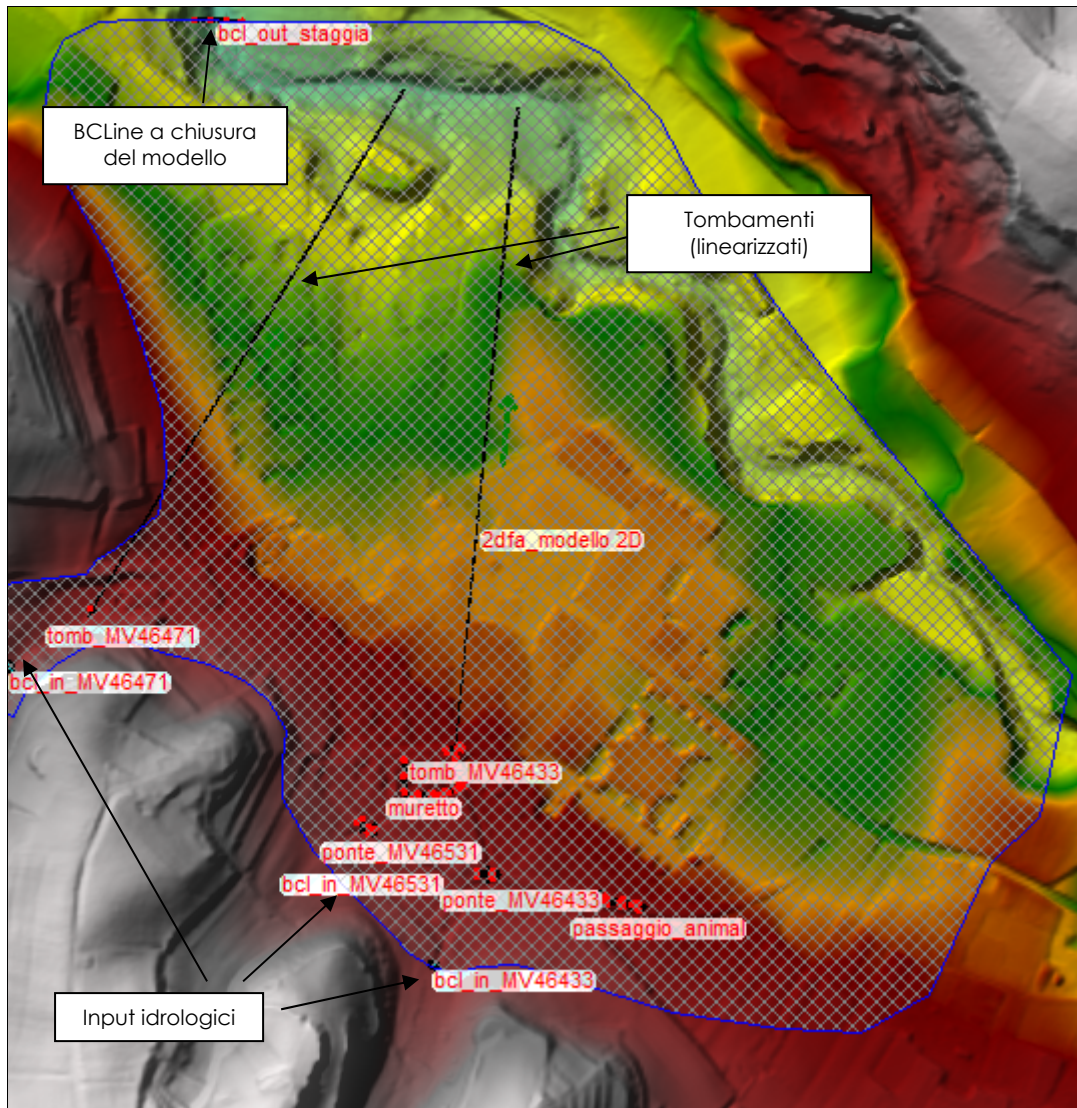


Fig. 17 – Schema del modello idraulico in Loc. Staggia

Come si può vedere dallo schema di Fig. 17, nel modello sono presenti anche ulteriori elementi non precedentemente citati, come un muretto a protezione di una serie di villette in adiacenza ai fossi MV46531 e MV46433, ed un ulteriore attraversamento della strada in progetto, avente la funzione di passaggio per animali.

Per il resto, si ricorda che l'attribuzione delle scabrezze di cui alla precedente Tab. 1 tiene già conto della presenza di manufatti nelle aree urbane, tanto che i valori di n di Manning per determinati codici *Corine* sono molti elevati.

6.5 Risultati della modellazione

Nel seguente estratto sono riportate le sole aree allagate per eventi di piena con tempo di ritorno di 30 e 200 anni in esito alle verifiche compiute, corrispondenti rispettivamente ad aree a pericolosità per alluvioni frequenti e poco frequenti; sono omesse le pericolosità preesistenti del PGRA o del PS, che comunque in questa zona sono praticamente assenti, salvo nell'alveo del Torrente Staggia o nelle sue strette adiacenze.

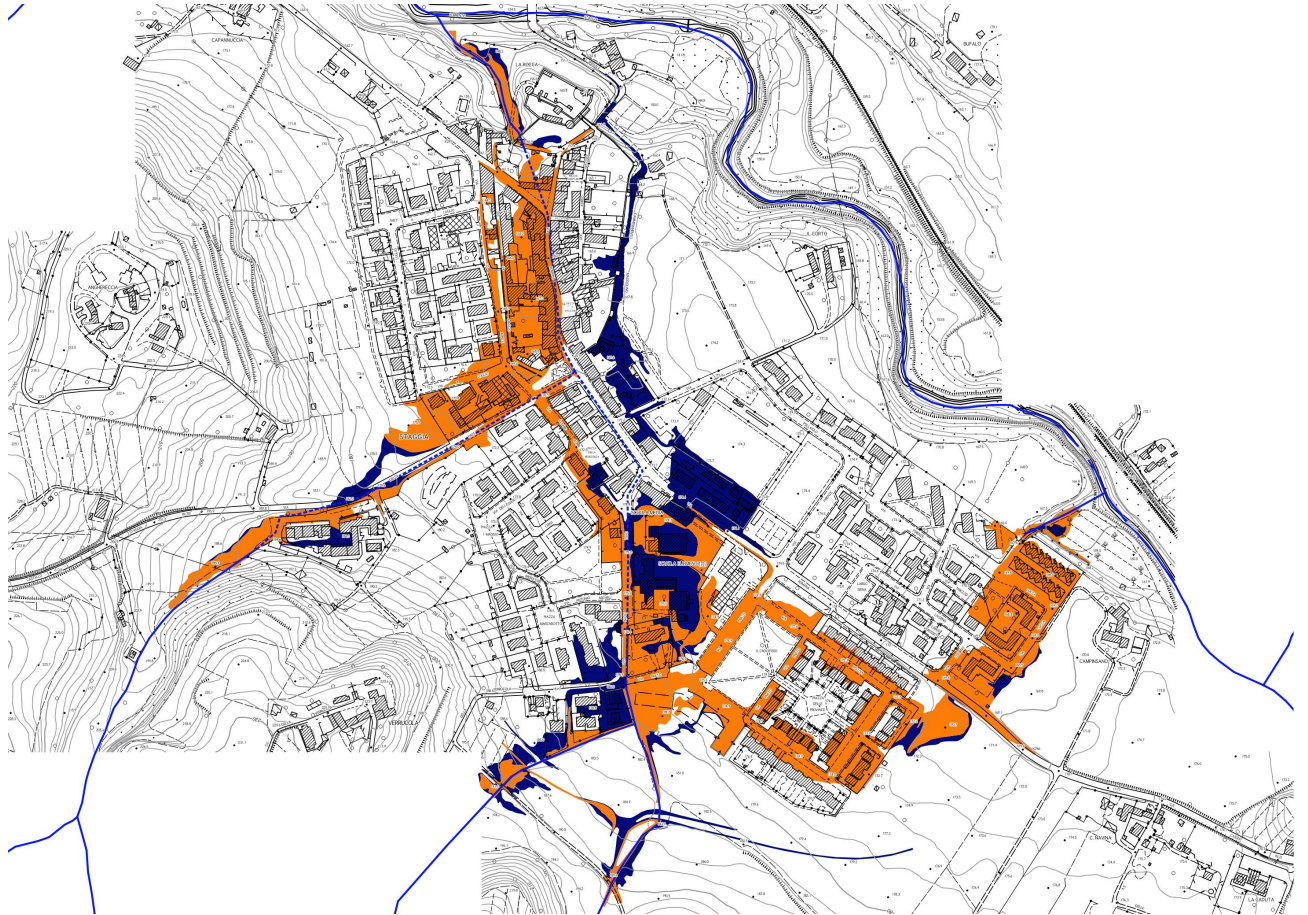


Fig. 18 – Pericolosità da alluvione in Loc. Staggia

Come ampiamente atteso, le aree allagate dei fossi di Staggia si estendono in modo diffuso sul territorio urbano, andando a ricercare le pendenze per raggiungere il Torrente Staggia.

In linea generale, però, si tratta di fenomeni alluvionali caratterizzati da battenti piuttosto modesti, ed anche estremamente rapidi.

Salvo le abitazioni più esposte, perché poste a quote più depresse o in prossimità dei punti di esondazione, la criticità idraulica della frazione di Staggia risulta abbastanza contenuta, ed in ogni caso inevitabile, data la presenza di tombamenti sottodimensionati.

7. VERIFICA IDRAULICA DEI FOSSI MINORI IN LOC. FOCI

In questo capitolo è descritto il sub-modello idrologico-idraulico dei corsi d'acqua minori interferenti con l'area produttiva dei Foci.

Come indicato nel precedente Cap. 3, nell'ambito degli studi del Piano Operativo comunale del 2019 le verifiche idrauliche avevano riguardato non solo i corsi d'acqua principali, ma anche alcuni corsi d'acqua secondari. Tra essi, vi erano anche il Fosso di Vallina, il Borro della Valle ed il Borro di Orneto, anch'essi insistenti sull'area produttiva I Foci.

Erano però stati tralasciati alcuni fossi di dimensioni ancora inferiori, per lo più tombati, che vengono adesso esaminati.

7.1 Singolarità dei corsi d'acqua

L'area produttiva I Foci si sviluppa in adiacenza al Torrente Foci (destra idraulica) lungo il suo tratto terminale per circa 3 km di lunghezza d'asta.

In questo tratto confluiscono nel Torrente Foci diversi affluenti di medio-piccole dimensioni, che tagliano ortogonalmente l'area urbanizzata, spesso con tratti tombati.

Rispetto ai corsi d'acqua studiati col Piano Operativo restavano esclusi alcuni piccoli fossi, che in questa sede sono stati presi in considerazione.

Si tratta di aste di piccole e piccolissime dimensioni, che in alcuni casi fanno "impropriamente" parte del reticolo idrografico regionale.

Come nel caso di Staggia, nessuno di questi fossi è identificato da uno specifico toponimo, almeno in via ufficiale, pertanto essi sono identificati attraverso il codice del reticolo idrografico regionale:

- MV45059
- MV45144
- MV45188 (e MV45199).

Il primo fosso è quello che confluisce nel Torrente Foci più a valle, ed è anche quello con le dimensioni del bacino maggiori.

Esso passa attraverso l'impianto di trasformazione di ENEL, lungo la S.P. n. 1 di San Gimignano, ed è visibile anche dalla strada.

Quando questo fosso giunge all'impianto ENEL, lo sottopassa con un primo tombamento, per poi tornare per pochi metri a cielo aperto fino alla Strada Provinciale, in un alveo artificiale. Da qui si diparte il secondo tombamento, che lo porta fino al Torrente Foci.

Il secondo fosso in elenco si trova appena a monte (o a Sud) del primo.

Esso sembra provenire dai medesimi rilievi, ma presenta un bacino di dimensioni assai inferiori. Il punto in cui questo fosso attraversa la S.P. n. 1 non è chiaro, dal momento che in corrispondenza del presunto punto di attraversamento della strada è presente un muro di sostegno abbastanza alto, ed a valle della strada non si rilevano tracce del passaggio di alcuna tubazione.

Appare più probabile che questo fosso sia stato deviato verso Nord e ricondotto in fognatura, o direttamente nel tombamento del fosso MV45059 di cui sopra. Come nel caso dei fossi di Staggia, il database delle fognature urbane non ha contribuito a fare chiarezza sull'effettiva sussistenza del corso d'acqua.

Stante l'impossibilità di individuare chiaramente un'asta fluviale da studiare, e viste le modeste dimensioni del bacino, si è deciso di trascurare questo fosso, tanto più che storicamente non si ricordano particolari problematiche né segnalazioni a riguardo.

Il terzo fosso è posto leggermente più a monte del secondo, ed anche in questo caso è caratterizzato da un bacino di dimensioni assai modeste.

In realtà, secondo il reticolo regionale, questo fosso riceverebbe le acque di un piccolo affluente (MV45199); dai sopralluoghi effettuati non si è però trovata traccia di questa asta.

Probabilmente ai piedi del versante collinare è, o era, presente un piccolo canale di raccolta acque, ma l'andamento suggerito nel reticolo idrografico regionale, sulla base di quanto osservato, pare piuttosto improbabile.

Anche analizzando la morfologia dei rilievi collinari da cui hanno origine questi piccoli fossi, si osservano alcuni settori tra un corso d'acqua e l'altro in cui non si ha evidenza di specifici impluvi, piuttosto si assiste al ruscellamento superficiale delle acque che poi, in corrispondenza delle aree urbanizzate di valle, vengono in qualche modo regimate e ricondotte in fognatura. Non si può però parlare di corsi d'acqua.

Invece il fosso MV45188, seppur di dimensioni modeste, è comunque visibile, ed una volta giunto a valle (nell'area di parcheggio camper) risulta canalizzato in modo chiaro, anche se si pongono dubbi sull'efficacia della canalizzazione, costituita da una serie alternata di tombini di dimensioni anche molto variabili.

Questo fosso arriva fino alla Strada Provinciale, con le sembianze di un semplice fossetto di guardia, e da qui entra in tombamento, in modo analogo al fosso MV45059.

A causa della complessità nel ricostruire le aste di MV45059 e MV45188 nei pochi tratti a cielo aperto per presenza di vegetazione e di proprietà private, nonché per la presenza dei tratti tombati con imbocchi scarsamente protetti che fanno pensare ad una certa propensione all'ostruzione ed all'intasamento all'imbocco di questi tombamenti, si è ritenuto corretto optare per la soluzione di indagare questi sistemi con modellazione puramente bidimensionale rappresentando eventuali elementi antropici o attraversamenti mediante le 2DSA_conn, come nel modello di Staggia.

In definitiva, i fossi studiati sono due, ovvero MV45059 e MV45184.

La seguente figura individua i fossi di interesse secondo la rappresentazione del reticolo idrografico.

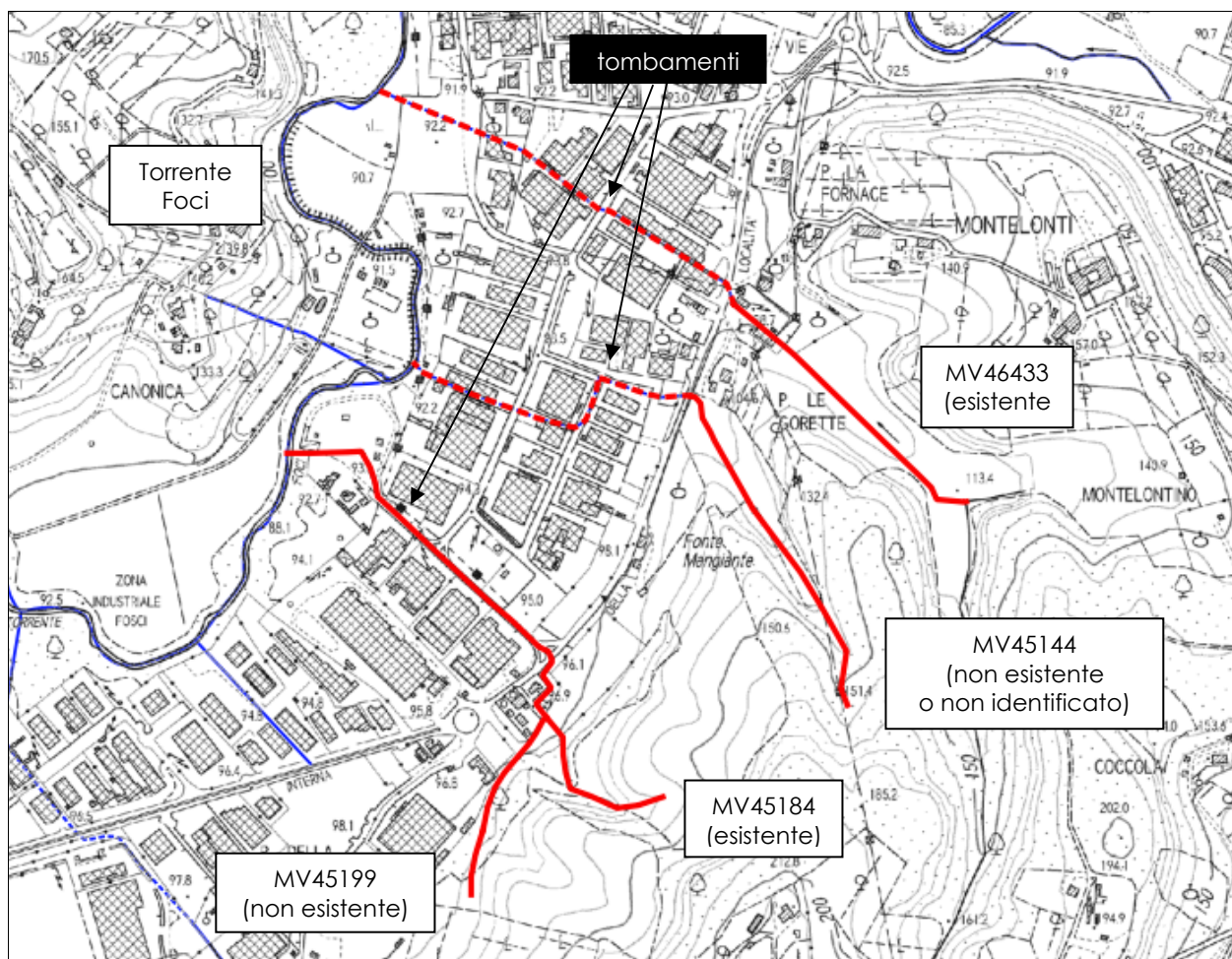


Fig. 19 – Planimetria del reticolo superficiale e tombato in Loc. Foci

7.2 Documentazione fotografica

Di seguito sono riportate alcune fotografie rappresentative dei corsi d'acqua oggetto di studio.



Alveo di MV45184 in arrivo dal versante collinare, vista verso monte



Prima tubazione lungo MV45184 all'altezza del parcheggio dei camper, vista verso valle



Arrivo del fosso MV45184 sulla SP1 (freccia rossa) ed inizio del tratto tombato di valle (freccia gialla)



Muro di sostegno lungo la SP1 da cui, presumibilmente, dovrebbe giungere il fosso MV45144



Imbocco tombamento su SP1 in adiacenza a impianto ENEL del fosso MV45059, vista verso valle



Canalizzazione di MV45059 in uscita dal primo tombamento all'interno dell'impianto ENEL, vista verso monte



Panoramica della parte tergaie dell'impianto ENEL,
con indicazione del punto di arrivo del fossato
MV45059



Imbocco del primo tombamento
su fossato MV45059 in corrispondenza dell'impianto
ENEL, vista verso valle

7.3 Idrologia

L'analisi idrologica dei due corsi d'acqua studiati in zona Foci (MV45059 e MV45184) è compiuta secondo i criteri di cui al precedente Cap. 4.

In questo paragrafo sono mostrati alcuni dettagli planimetrici dei bacini e fornite tutte le parametrizzazioni di calcolo; infine sono riportati gli idrogrammi di piena stimati.

Innanzitutto, è mostrata la planimetria dei bacini, a cui è stata assegnata la stessa denominazione dei rispettivi corsi d'acqua; il simbolo presente sul bacino del fosso MV45144 è solo a ricordare che questo bacino e questa asta non sono stati studiati per i motivi sopra esposti.

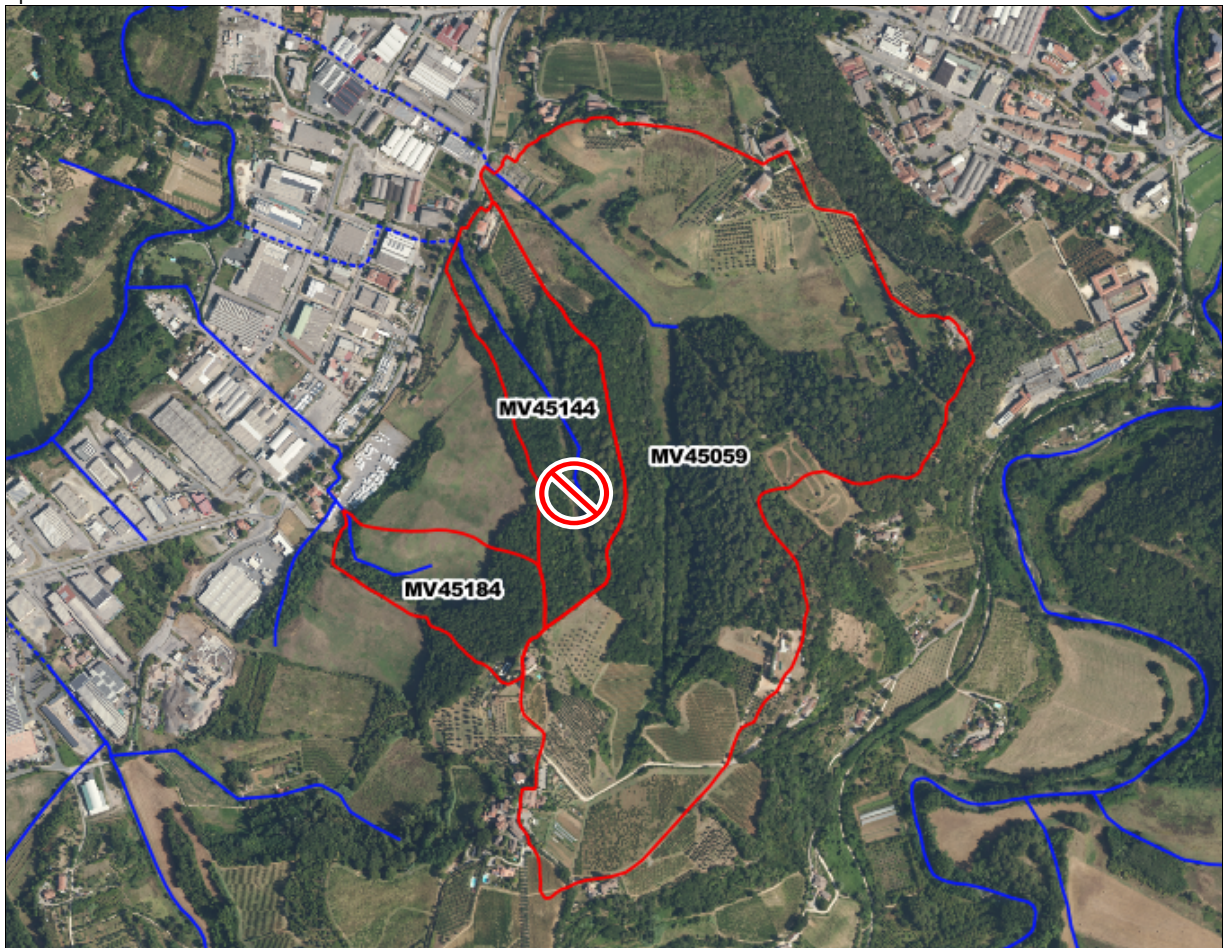


Fig. 20 – Bacini dei corsi d'acqua in Loc. Foci, chiusi a monte dei tratti tombati

Seguono le distribuzioni dell'uso del suolo e delle classi di suolo SCS sui bacini.

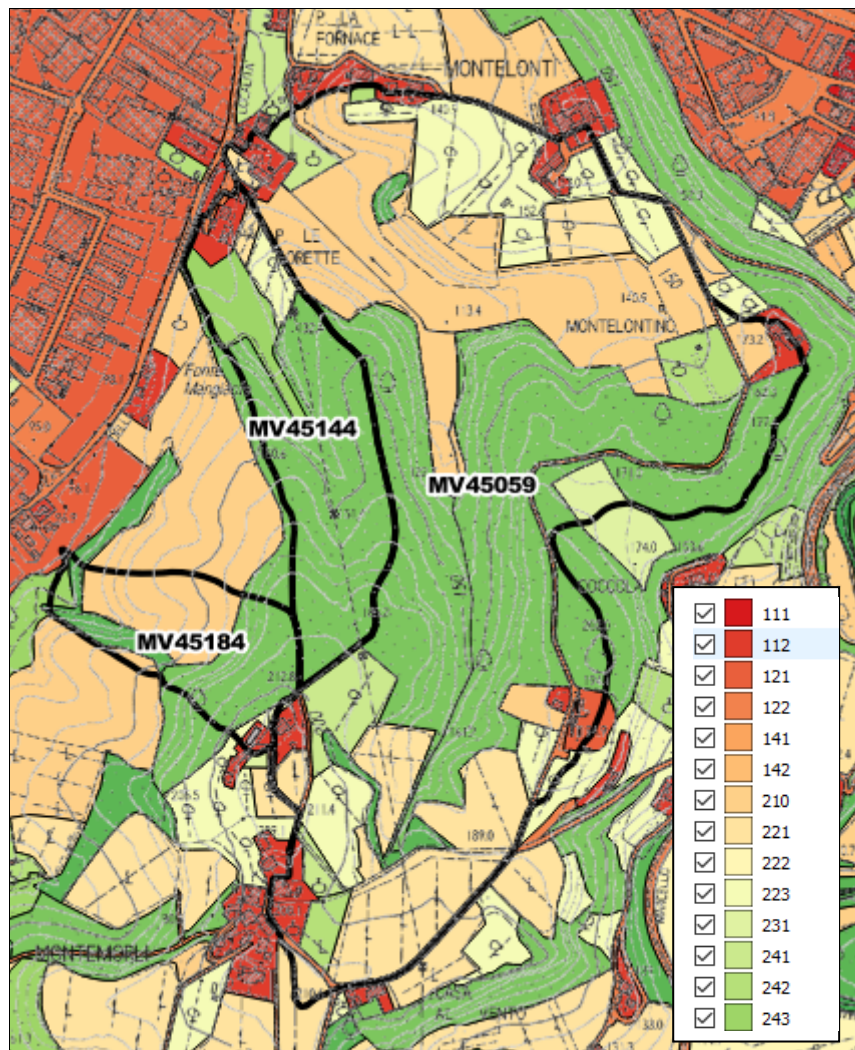


Fig. 21 – Distribuzione dell'uso del suolo sui bacini dei corsi d'acqua in Loc. Foci

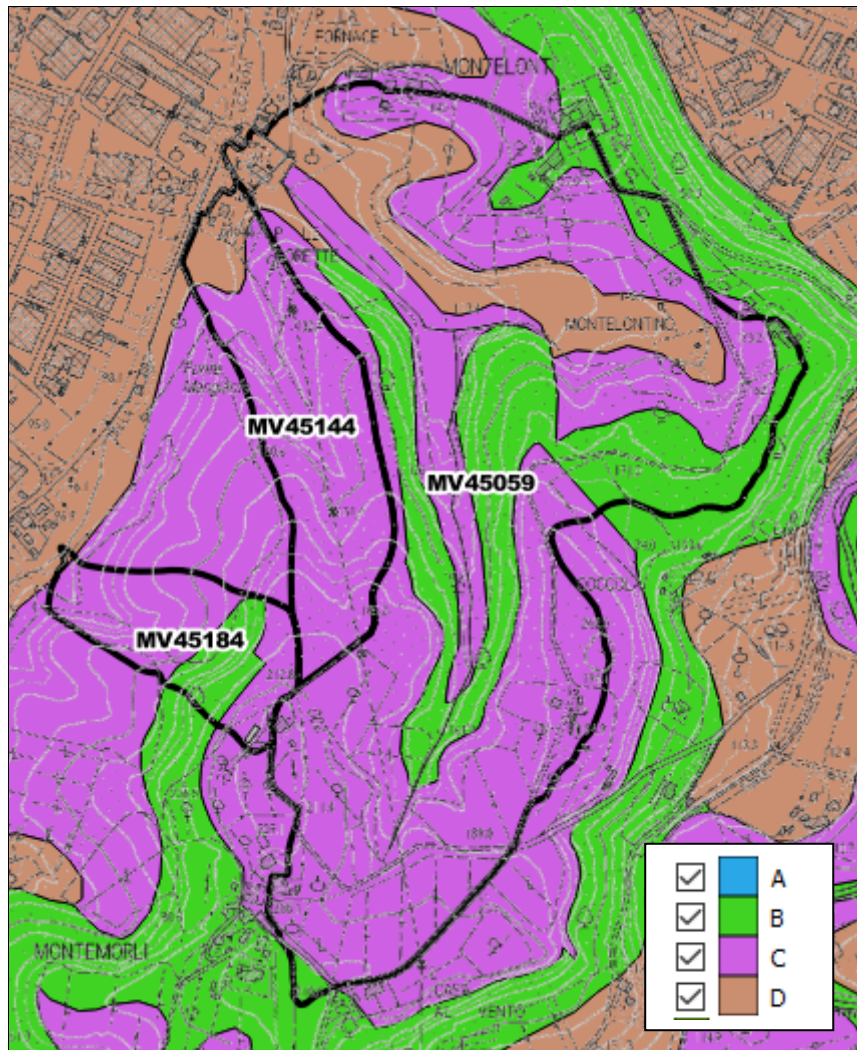


Fig. 22 – Distribuzione delle classi di suolo SCS sui bacini dei corsi d'acqua in Loc. Foci

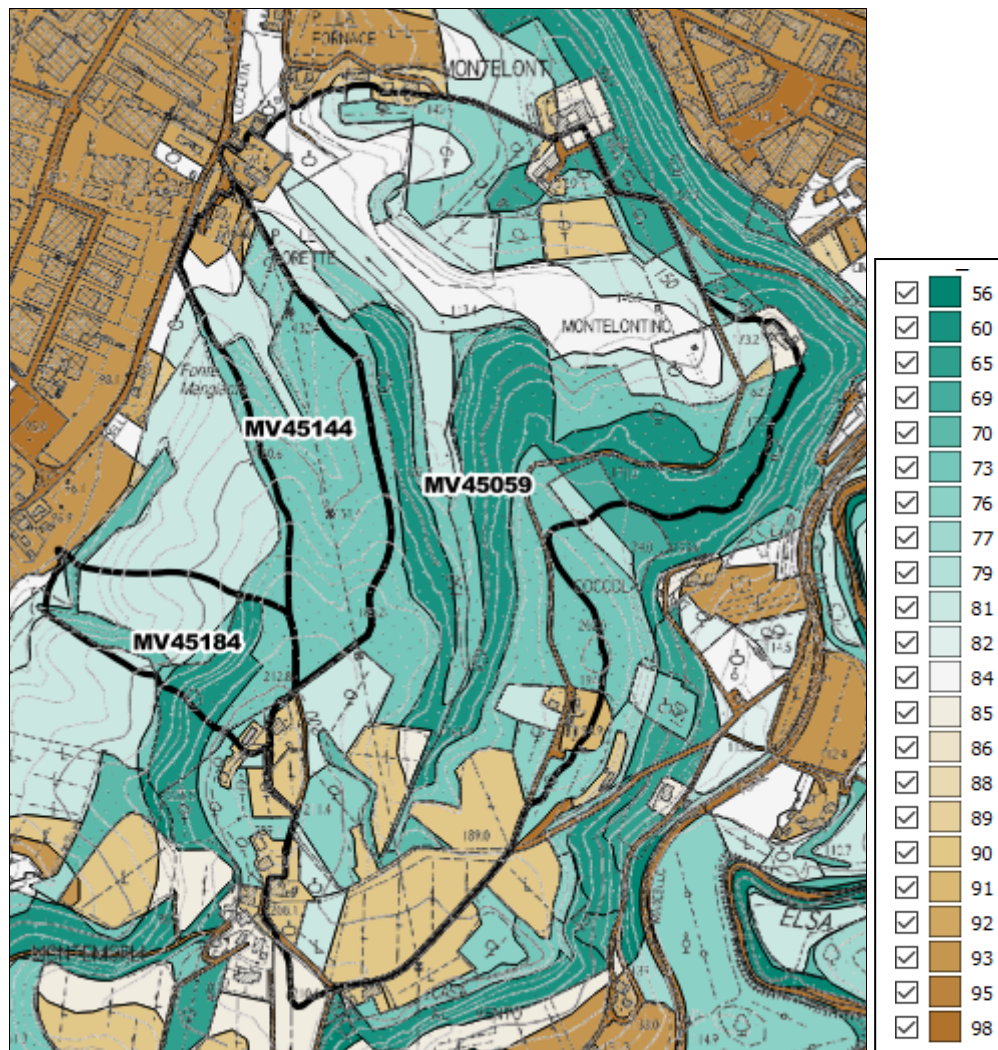


Fig. 23 – Distribuzione delle classi di suolo SCS sui bacini dei corsi d'acqua in Loc. Foci

Per quanto riguarda le forzanti meteoriche sono state acquisite, a partire dai parametri a ed n delle LSPP regionali, delle altezze di pioggia omogenee sul bacino complessivo (somma dei due bacini), per le varie durate di precipitazione (0.5, 1, e 2 ore) e tempi di ritorno considerati.

Bacino	H_30_0.5 (mm)	H_30_1 (mm)	H_30_2 (mm)	H_200_0.5 (mm)	H_200_1 (mm)	H_200_2 (mm)
Bacini in Loc. Foci	41.98	50.61	61.00	57.39	70.42	86.41

Tab. 6 – Altezze medie di precipitazione sui bacini in Loc. Foci

Segue una tabella di riepilogo in cui sono indicate le superfici dei bacini, il valore del CN (III) ed il tempo di corrivazione in ore; si ricorda che il T_c è stato stimato attraverso la media aritmetica delle 7 formulazioni di cui al Cap. 4.

Bacino	Area (kmq)	CN (III)	Tempo di corrivazione assunto T_c (h)
MV45059	0.57	88	0.43
MV45184	0.06	86.4	0.18

Tab. 7 – Superficie, CN e tempo di corrivazione dei vari bacini in Loc. Foci

Tutti i parametri geomorfologici ed idrologici stimati sono stati implementati nel modello idrologico con il software HEC HMS per il calcolo degli idrogrammi di piena.

La successiva tabella mostra la sintesi dei valori al colmo delle portate di piena per tutti i sottobacini e tutti gli scenari idrologici esaminati.

Segue la graficizzazione di tutti gli idrogrammi di *output* del modello idrologico.

Bacino	Q_30_0.5 (mc/s)	Q_30_1 (mc/s)	Q_30_2 (mc/s)	Q_200_0.5 (mc/s)	Q_200_1 (mc/s)	Q_200_2 (mc/s)
MV45059	6.55	6.68	5.42	11.08	11.02	8.89
MV45184	0.91	0.78	0.58	1.54	1.31	0.97

Tab. 8 – Valori al colmo delle portate di piena nei diversi scenari studiati

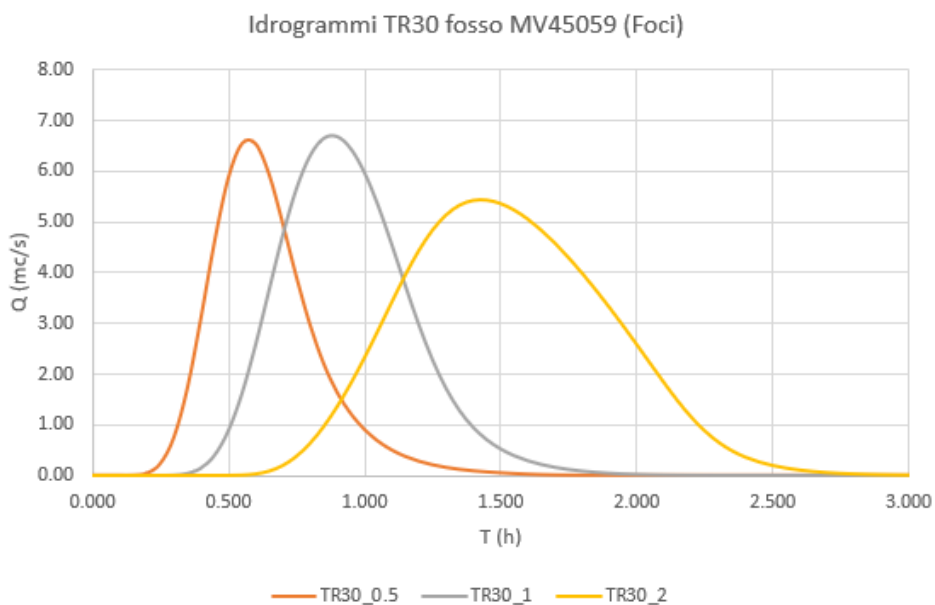


Fig. 24 – Idrogrammi MV45059 TR30

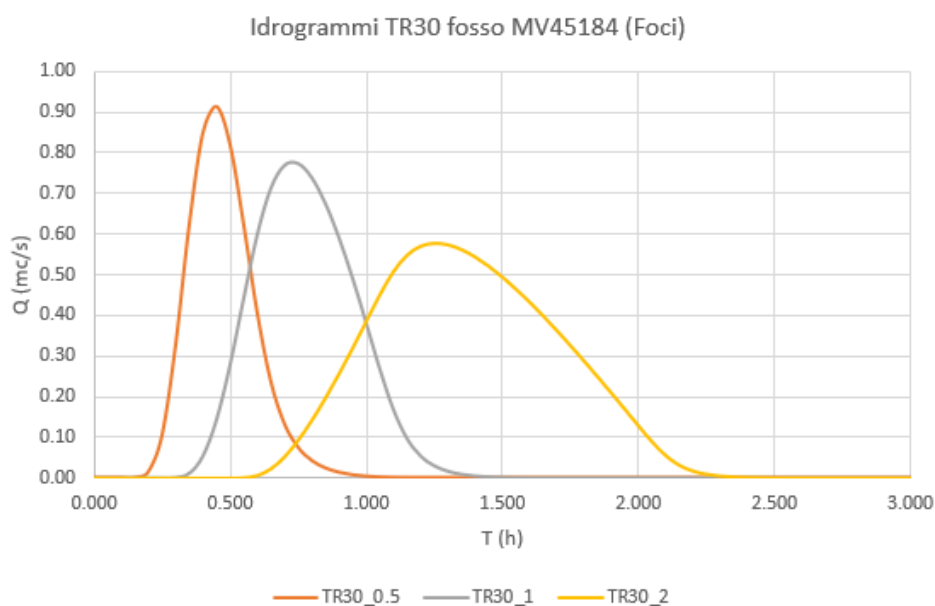


Fig. 25 – Idrogrammi MV45184 TR30

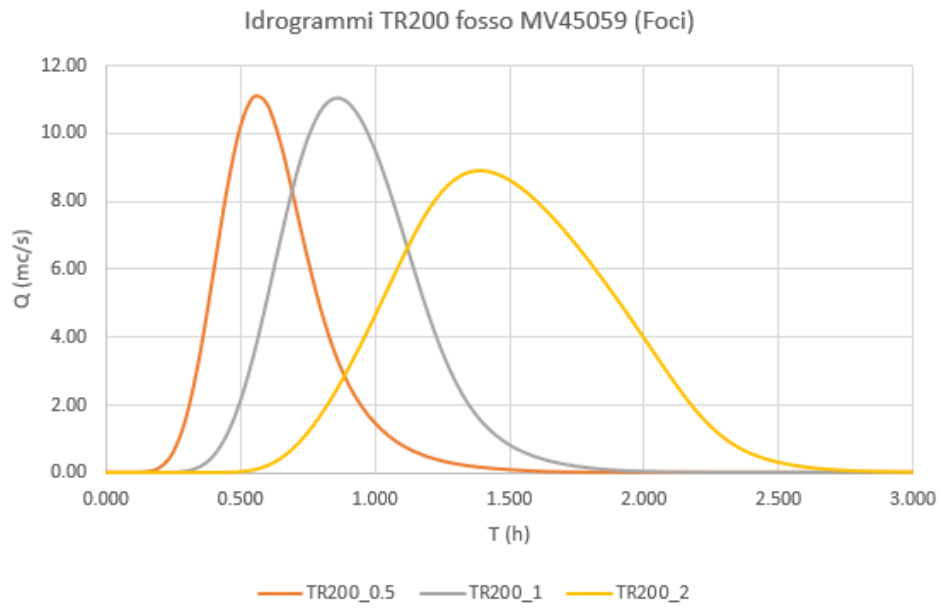


Fig. 26 – Idrogrammi MV45059 TR200

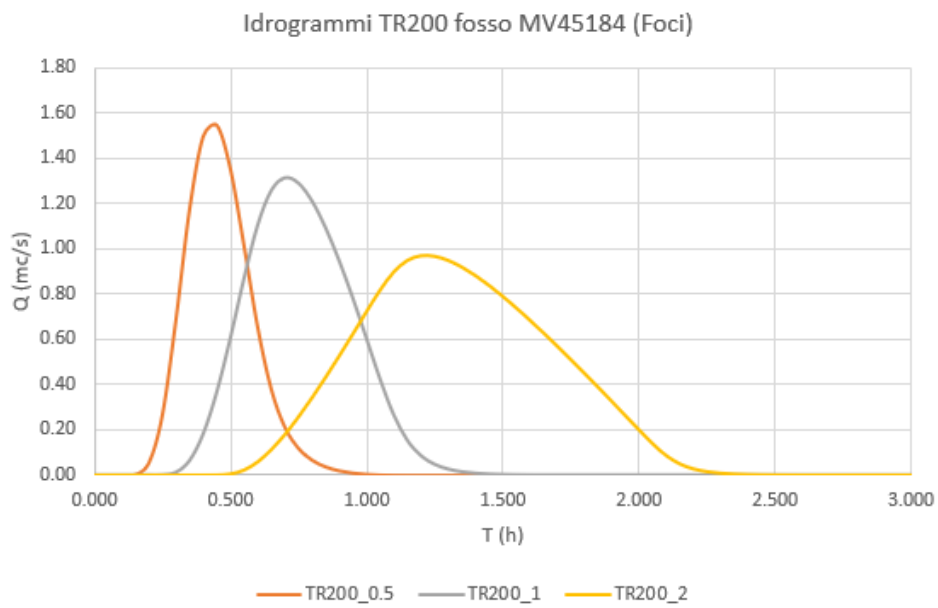


Fig. 27 – Idrogrammi MV45184 TR200

7.4 Idraulica

Il modello idraulico dei due fossi in zona Foci è stato implementato in modo analogo a quello di Staggia.

Per la base bidimensionale è stato utilizzato sempre il LIDAR nella versione del 2008; in questo caso non si è reso necessario predisporre DTM locali di correzione/adeguamento del piano campagna in quanto non vi sono presenti elementi di particolare novità rispetto alla morfologia dell'anno 2008, né vi sono aste da rappresentare in modo più appropriato rispetto alla riproduzione, ancorché sommaria, offerta dal LIDAR.

Gli unici interventi sul *terrain model* sono stati effettuati abbassando manualmente le quote delle celle in corrispondenza dell'imbocco e dello sbocco dei tombamenti, che risultavano molto più alte di quelle effettive. Sono stati inoltre ritoccate leggermente anche le quote di fondo alveo nei tratti a cielo aperto di MV45059, ovvero prima del tombamento sotto l'impianto ENEL e nel canale artificiale a monte della Strada Provinciale.

Come nel modello di Staggia, i manufatti di attraversamento sono stati introdotti mediante gli oggetti *2DSA_conn*.

Per i due tombamenti lunghi di valle non si è prestata particolare attenzione a definire quote e posizione dei punti di scarico a valle, in quanto si ipotizzava fin da principio quello che poi la modellazione ha mostrato, ovvero che si sarebbero potute generare ingenti fuoriuscite a monte e che i due tombamenti avrebbero "lavorato" assai poco per via degli alvei già "svuotati".

Sempre con elementi del tipo *2DSA_conn* è stato introdotto il muro tergale dell'impianto ENEL; esso è sostanzialmente un muro di sostegno, ma risulta comunque più alto di qualche decina di centimetri rispetto all'estradosso del tombamento di MV45059, e quindi funziona da soglia di sfioro. Inoltre questo muro, come si vede chiaramente dalla documentazione fotografica precedente, ha una parte molto alta che funge da barriera, anche se poi, alla fine, viene aggirata dalle acque.

Si ricorda nuovamente che l'attribuzione delle scabrezze della base bidimensionale di cui alla precedente Tab. 1 tiene già conto della presenza di manufatti nelle aree urbane, tanto che i valori di n di Manning per determinati codici *Corine* sono molti elevati.

La seguente figura mostra lo schema modellistico del sistema di corsi d'acqua in Loc. Foci.

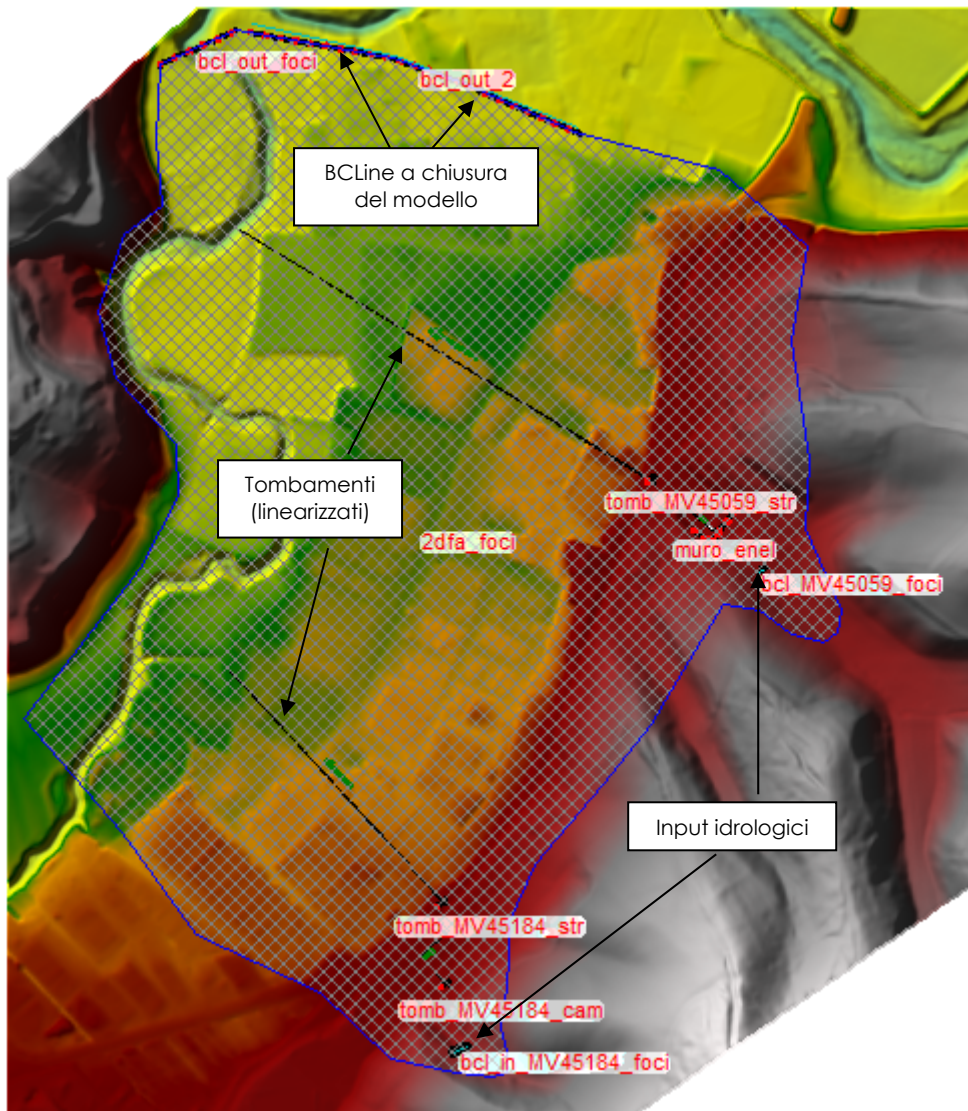


Fig. 28 – Schema del modello idraulico in Loc. Foci

7.5 Risultati della modellazione

Nel seguente estratto sono riportate le sole aree allagate per eventi di piena con tempo di ritorno di 30 e 200 anni in esito alle verifiche compiute, corrispondenti rispettivamente ad aree a pericolosità per alluvioni frequenti e poco frequenti.

In questo caso le aree allagate dei due fossi tendono a sovrapporsi con quelle del Torrente Foci.

E' quindi mostrata una seconda planimetria in cui è messa in risalto la differente provenienza degli allagamenti.

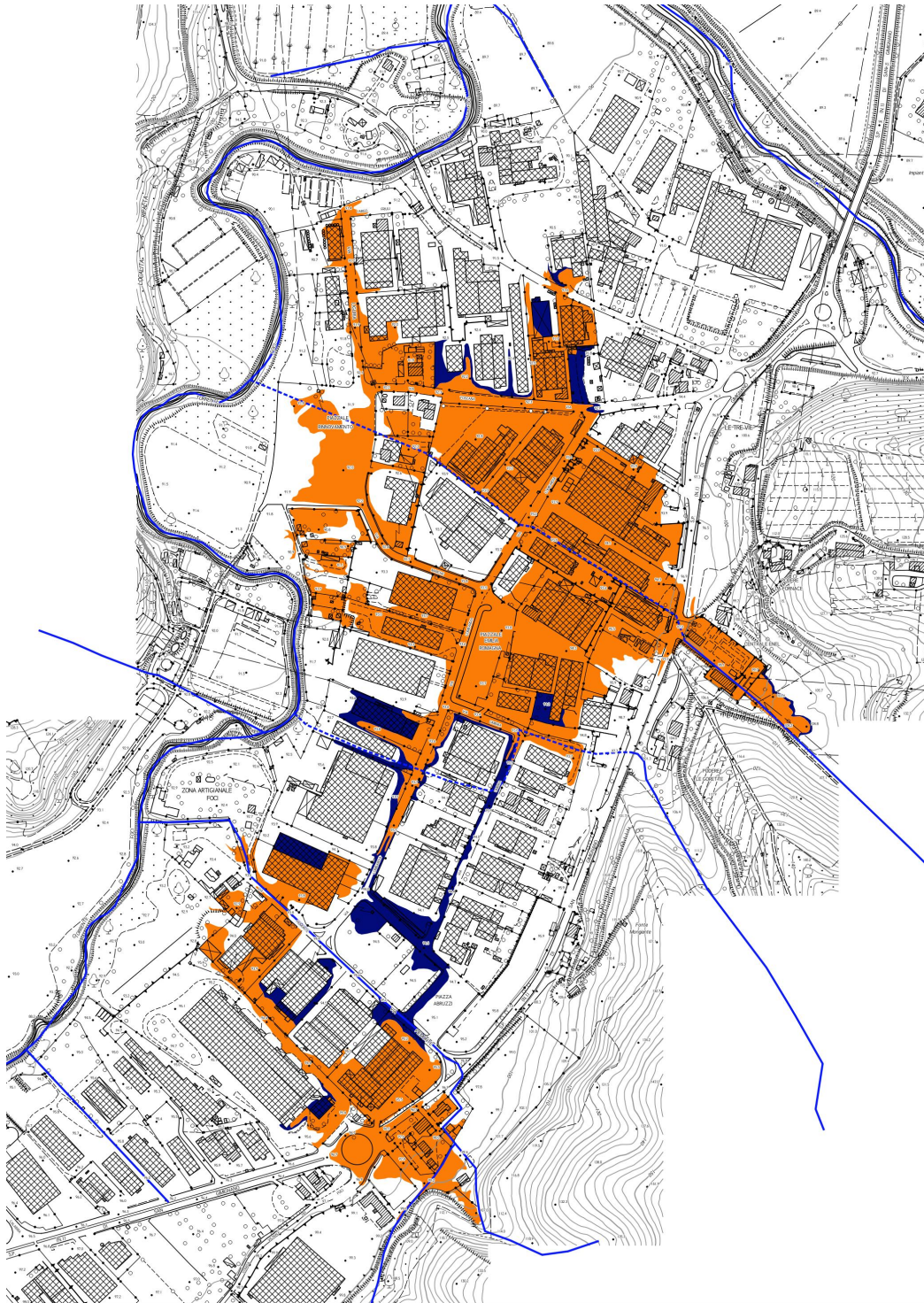


Fig. 29 – Aree allagate in Loc. Foci dei soli fossi minori

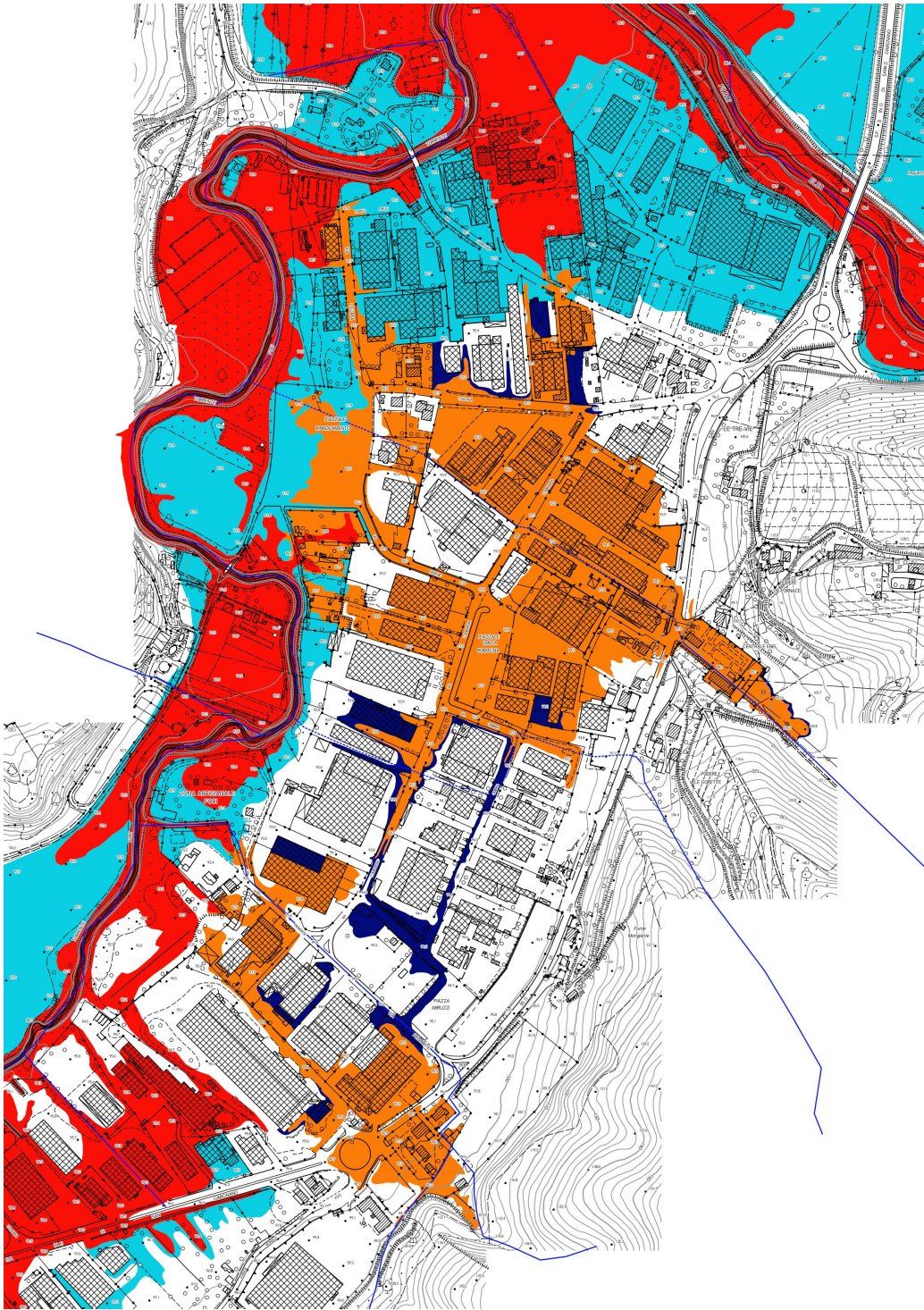


Fig. 30 – Aree allagate in Loc. Foci dei fossi minori e del Torrente Foci (oltre al Fiume Elsa in corrispondenza della confluenza)

8. VERIFICA IDRAULICA DEGLI AFFLUENTI DEL TORRENTE STAGGIA NEL CAPOLUOGO

In questo capitolo è descritto il sub-modello idrologico-idraulico dei tre affluenti destri del Torrente Staggia presso l'area urbana di Poggibonsi.

8.1 Singolarità dei corsi d'acqua

I tre corsi d'acqua considerati sono affluenti destri del Torrente Staggia e si sviluppano a Nord-Est del capoluogo.

A differenza dei fossi di cui ai capitoli precedenti, questi corsi d'acqua mostrano bacini di dimensioni più significative.

Essi hanno caratteristiche tra loro analoghe; intersecano tutti il rilevato del raccordo Firenze-Siena, ma solo il Borro di Papaiano lo fa con un attraversamento di dimensioni abbastanza grandi, mentre il Borro di Melachecca ed il Borro delle Pancole (quest'ultimo denominato, secondo il reticolo idrografico regionale, come Borro Santa Lucia) presentano *culvert* di piccole dimensioni, che di fatto funzionano da bocche tarate.

Il Borro di Papaiano risulta a cielo aperto sia a monte che a valle del raccordo autostradale, ed il suo attraversamento avviene tramite una sezione simil-rettangolare di dimensioni pari a circa 3 mt x 3 mt. A monte è presente un ulteriore piccolo attraversamento lungo una strada bianca, mentre a valle la confluenza nel Torrente Staggia avviene mediante un piccolo *culvert* sottopassante la banca arginale.

Il Borro di Melachecca, invece, risulta tombato a partire proprio dal raccordo autostradale, e si riversa direttamente nel Torrente Staggia dopo oltre 200 mt; il tombamento è costituito da una tubazione in cls di diametro pari a 1.5 mt.

Il Borro delle Pancole attraversa il raccordo mediante una doppia canna, di diametro pari a 1.2 mt: a valle, dopo un breve tratto a cielo aperto con muri di sponda in c.a., ha inizio un lungo tombamento mediante scatolare in c.a. a sezione rettangolare, avente dimensioni di 1.8 mt x 1.5 mt e lunghezza di oltre 450 mt. A valle degli impianti sportivi il corso d'acqua torna a cielo aperto per un breve tratto arginato, e poi si immette nel Torrente Staggia con un piccolo *culvert* sottopassante la banca arginale.

Lungo i tratti studiati, i corsi d'acqua suddetti sono rappresentati dai seguenti codici del reticolo idrografico regionale:

- MV45023 (Borro di Papaiano)
- MV44840 (Borro di Melachecca) e MV44878 (tratto tombato)
- MV44661 (Borro Santa Lucia, o delle Pancole), MV44706 (tratto tombato) e MV44723 (tratto terminale a cielo aperto).

Come anticipato, per la modellazione di questi corsi d'acqua sono state acquisite le sezioni idrauliche rilevate per il Piano Strutturale del 2014 sul Borro di Papaiano e sul Borro di Melachecca, mentre per il Borro delle Pancole è stata effettuata solo una misurazione speditiva degli attraversamenti, e per il resto l'asta è stata modellata in puro bidimensionale.

La base bidimensionale del modello è rappresentata dall'assemblaggio tra il LIDAR 2008 (utilizzato ove presente) ed il LIDAR 2021 (utilizzato dove assente il primo).

La seguente figura individua i corsi d'acqua studiati nella rappresentazione del reticolo idrografico regionale, che risulta sostanzialmente coerente con l'effettivo andamento degli stessi, compresi i tratti tombati (in giallo).

In figura è riportato anche il perimetro del Territorio Urbanizzato.

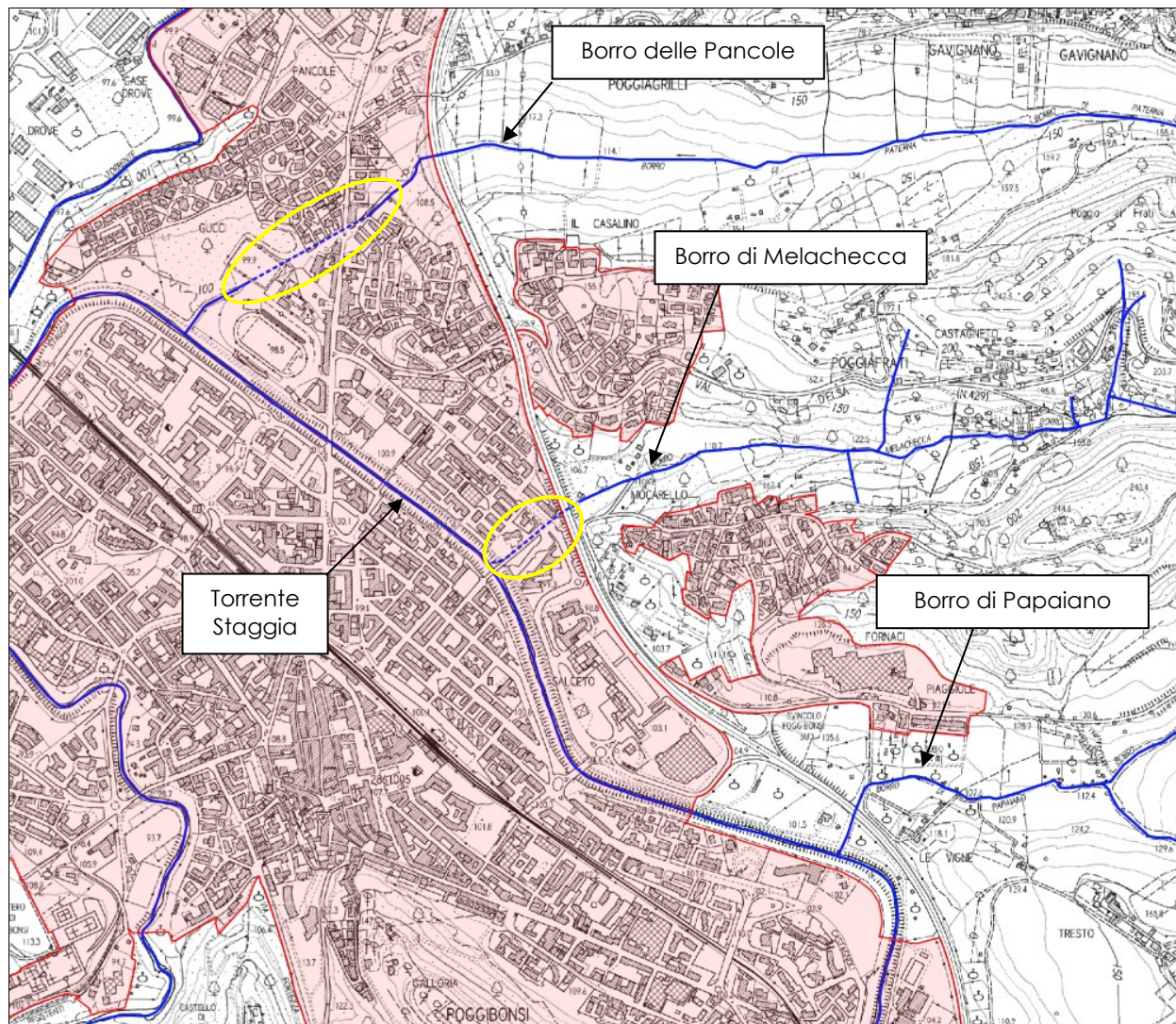


Fig. 31 – Planimetria del reticolo studiato in area urbana di Poggibonsi e limite del Territorio Urbanizzato

8.2 Documentazione fotografica

Di seguito sono riportate alcune fotografie rappresentative del solo Borro delle Pancole, che, dei tre corsi d'acqua, rappresenta quello più interessante dal punto di vista della geometria e dell'interferenza con il TU e, come di seguito mostrato, anche il più critico sotto l'aspetto idraulico.



Doppia canna di attraversamento del raccordo FI-SI, lato di valle



Alveo a cielo aperto tra muri di sponda in c.a. a valle del raccordo FI-SI



Imbocco del tombamento



Sbocco del tombamento



Alveo arginato, a valle del tombamento



Culvert sotto la banca appena a monte della confluenza col T. Staggia

8.3 Idrologia

Come anticipato in precedenza, l'analisi idrologica dei tre corsi d'acqua in esame non è sviluppata con il medesimo approccio di cui ai capitoli precedenti, bensì si fonda sugli studi effettuati a supporto del Piano Operativo del 2019, in cui per ciascuno di questi affluenti sono state valutate le portate di piena da inserire come input nel modello del Torrente Staggia.

In questa sede, applicando i principi brevemente esposti nel Par. 3.5.1 e ripartendo dai dati degli studi del PO, sono stati ricavati gli idrogrammi di piena critici per i tre corsi d'acqua.

In questo paragrafo sono mostrati alcuni dettagli planimetrici dei bacini e fornite tutte le parametrizzazioni di calcolo; infine sono riportati gli idrogrammi di piena stimati.

Innanzitutto è mostrata la planimetria dei bacini.

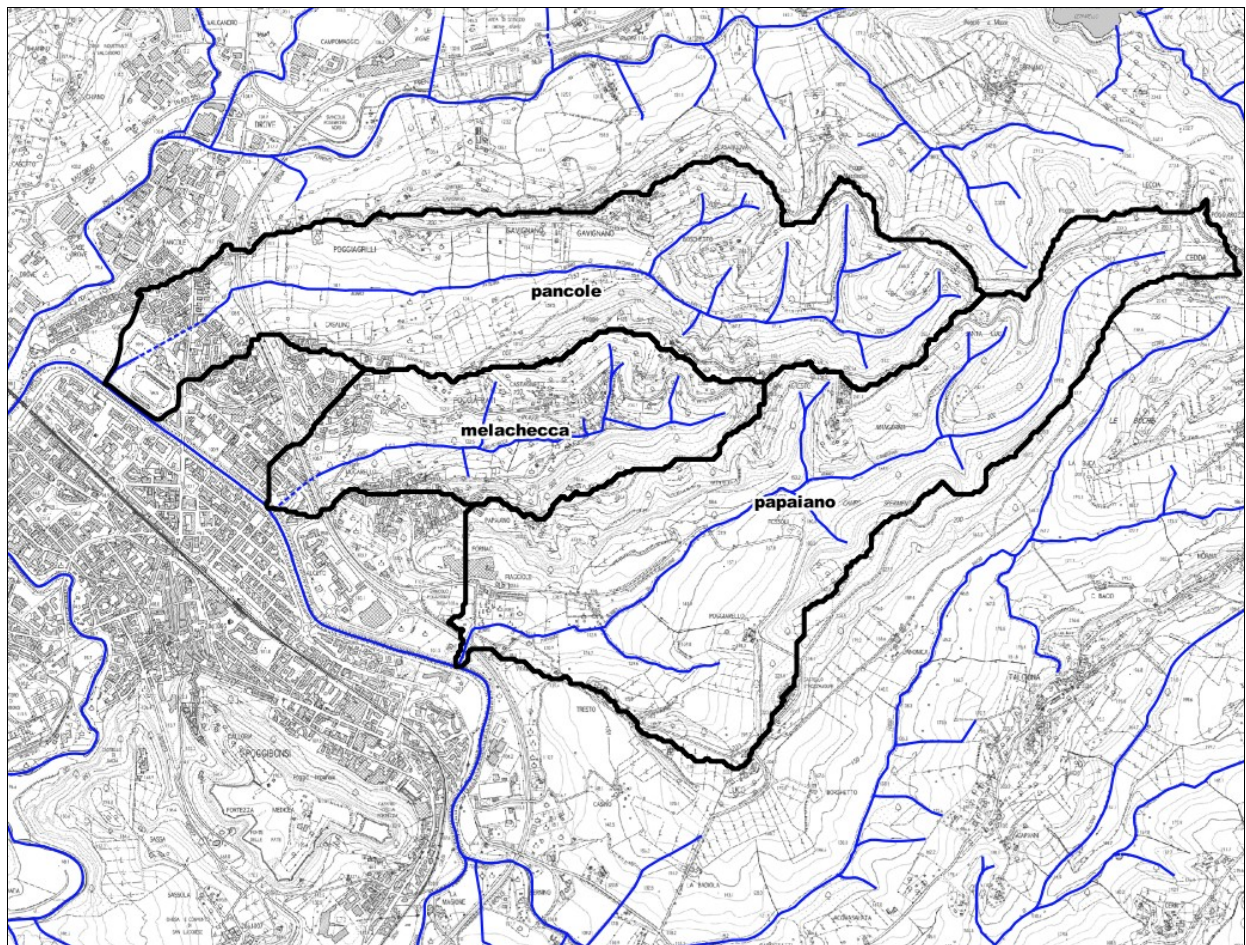


Fig. 32 – Bacini degli affluenti destri del T. Staggia nell'area urbana di Poggibonsi

Come anticipato, questi sono esattamente gli stessi perimetri dei bacini implementati nell'idrologia degli studi del Piano Operativo del 2019.

Anche tutti gli altri dati e parametrizzazioni degli studi precedenti sono stati confermati, al netto di un ricalcolo delle altezze medie di precipitazione su ciascun bacino.

Inoltre, dal momento che la presente indagine mira a definire le condizioni critiche di portata dei corsi d'acqua in esame, e tenuto conto delle dimensioni comunque abbastanza modeste dei bacini, alle precipitazioni non è stato applicato alcun ragguaglio areale.

Nelle tabelle che seguono sono mostrate le altezze medie di pioggia su ciascuno dei bacini in esame, per le durate considerate, e tutti i parametri idro-geo-morfologici implementati per la stima degli idrogrammi di piena secondo l'approccio metodologico degli studi del PO2019.

Bacino	H_30_1	H_30_2	H_30_3	H_30_4	H_30_5	H_30_6
	H_200_1 (mm)	H_200_2 (mm)	H_200_3 (mm)	H_200_4 (mm)	H_200_5 (mm)	H_200_6 (mm)
Papaiano	50.0	59.8	66.4	71.5	75.8	79.4
	69.5	84.7	95.0	103.1	109.9	115.7
Melachecca	50.0	59.9	66.5	71.6	75.9	79.5
	69.6	84.8	95.2	103.3	110.0	115.9
Pancole	49.7	59.3	65.8	70.8	74.9	78.5
	69.2	84.0	94.1	102.1	108.7	114.4

Tab. 9 – Altezze medie di precipitazione sui bacini degli affluenti del T. Staggia in area urbana

Bacino	Area (kmq)	n	k	% sup. boscata	Ks (mm/h)
Papaiano	2.29	2.368	0.285	40.1	1.27
Melachecca	0.90	2.532	0.172	20.4	1.14
Pancole	1.99	2.031	0.316	21.1	1.19

Tab. 10 – Parametri idro-geo-morfologici dei bacini degli affluenti del T. Staggia in area urbana

Mediante apposito foglio xls è stato implementato il calcolo idrologico (“depurazione” delle piogge e trasformazione afflussi-deflussi, con la stessa modalità applicata all'idrologia degli studi del Piano Operativo), ed ottenuti gli idrogrammi di piena di ciascun corso d'acqua per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni e le durate di precipitazione da 1 a 6 ore, con passo orario.

La successiva tabella mostra la sintesi dei valori al colmo delle portate di piena per tutti i bacini e tutti gli scenari idrologici esaminati.

Segue la graficizzazione di tutti gli idrogrammi di *output* del modello idrologico.

Bacino	Q_30_1	Q_30_2	Q_30_3	Q_30_4	Q_30_5	Q_30_6
	Q_200_1 (mc/s)	Q_200_2 (mc/s)	Q_200_3 (mc/s)	Q_200_4 (mc/s)	Q_200_5 (mc/s)	Q_200_6 (mc/s)
Papaiano	21.9	17.5	13.2	10.5	8.8	7.6
	32.4	25.4	19.3	15.6	13.1	11.4
Melachecca	11.3	7.2	5.2	4.2	3.5	3.0
	16.1	10.3	7.6	6.2	5.2	4.5
Pancole	20.3	15.3	11.4	9.1	7.6	6.5
	29.3	22.0	16.6	13.4	11.3	9.8

Tab. 11 – Valori al colmo delle portate di piena nei diversi scenari studiati

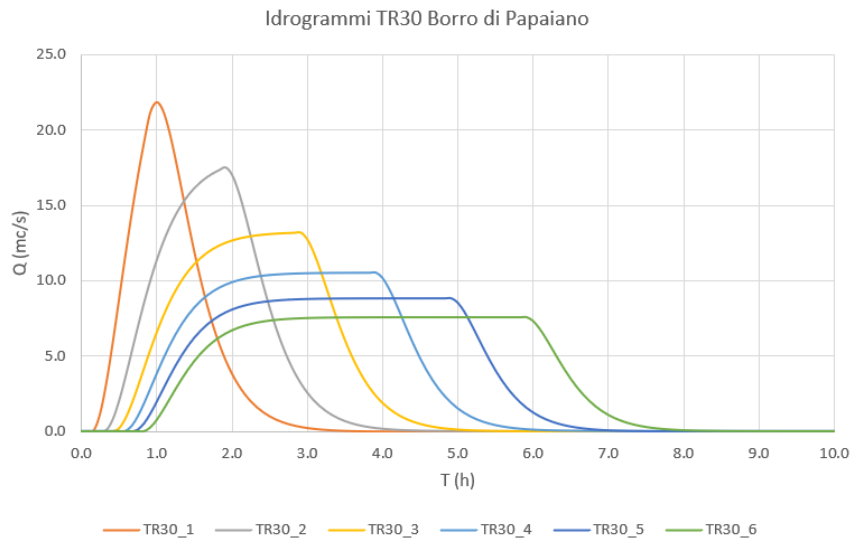


Fig. 33 – Idrogrammi Borro di Papaiano TR30

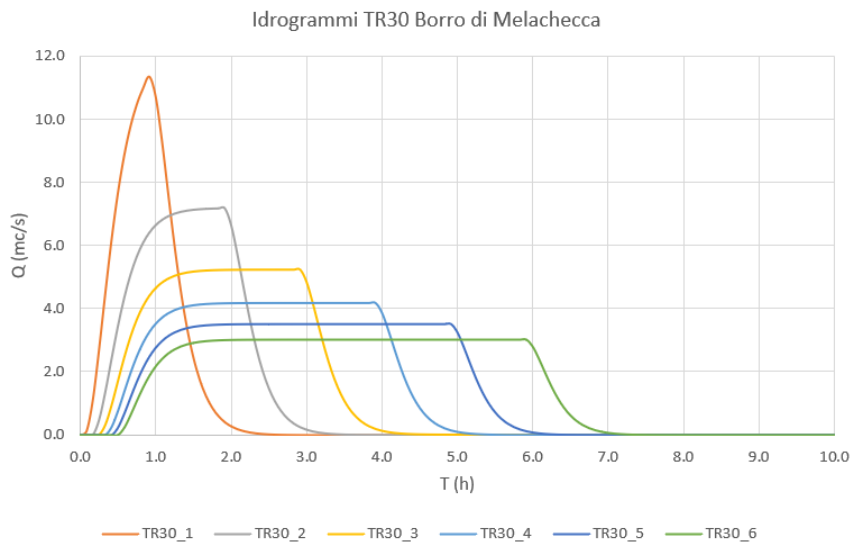


Fig. 34– Idrogrammi Borro di Melachecca TR30

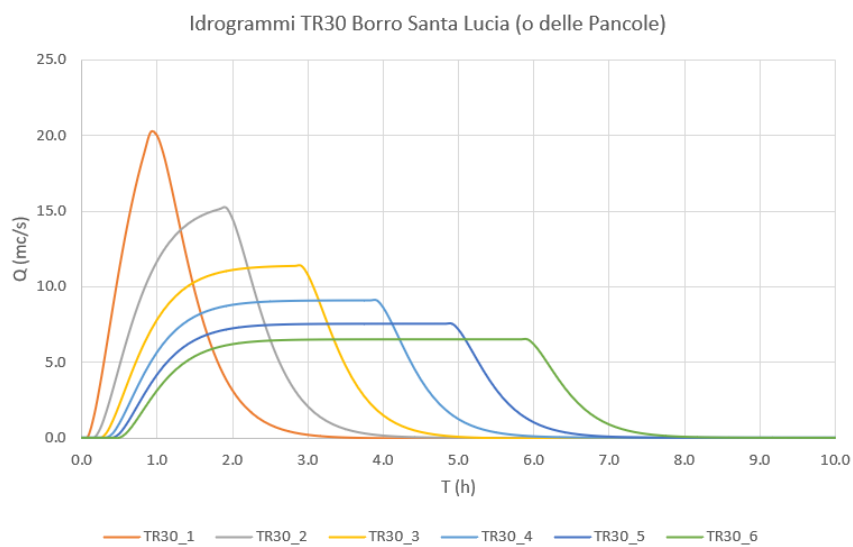


Fig. 35– Idrogrammi Borro delle Pancole TR30

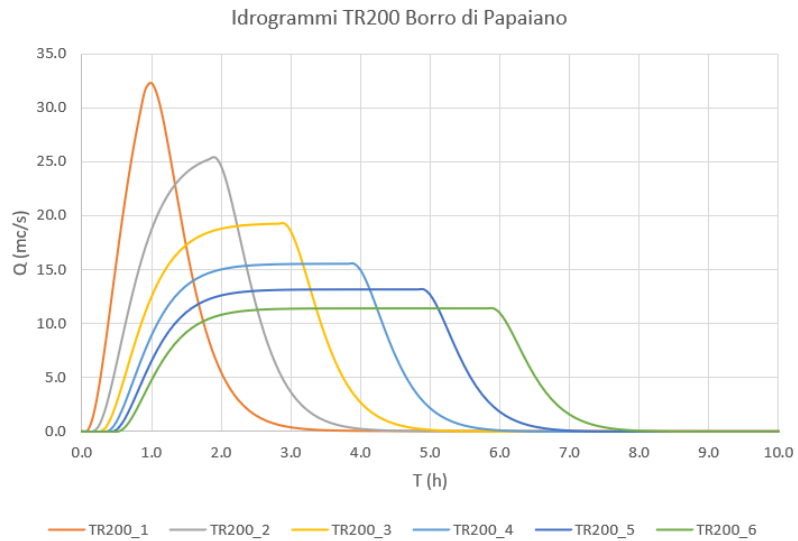


Fig. 36 – Idrogrammi Borro di Papaiano TR200

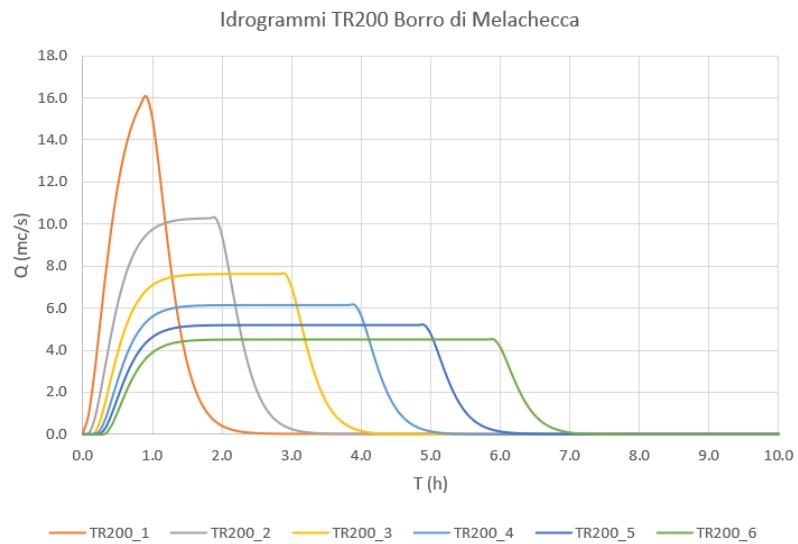


Fig. 37– Idrogrammi Borro di Melachecca TR200

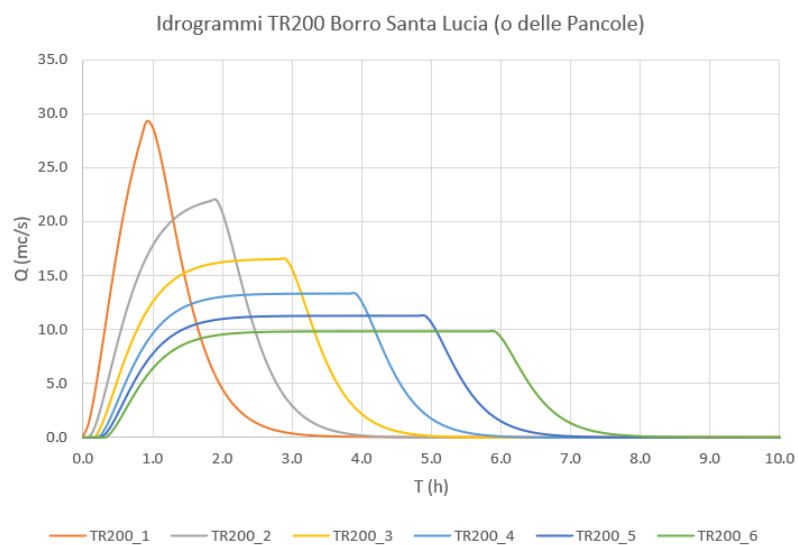


Fig. 38– Idrogrammi Borro delle Pancole TR200

8.4 Idraulica

Il modello idraulico degli affluenti destri del Torrente Staggia lungo il tratto urbano è predisposto in forma mono-bidimensionale accoppiata. Per il solo Borro delle Pancole la modellazione è puramente bidimensionale.

Le aste fluviali del Borro di Papaiano e del Borro di Melachecca sono state rappresentate, rispettivamente, con n. 18 e n. 11 sezioni, rilevate per il Piano Strutturale del 2014.

Tra queste sezioni di sono anche quelle di monte e di valle dei vari attraversamenti presenti.

Per tutte le sezioni è stata assunta una scabrezza costante in alveo pari a $0.035 \text{ s/m}^{1/3}$.

Le aree di modellazione intorno a ciascun corso d'acqua sono rappresentate da *2DFlowArea* separate, e la base bidimensionale (*terrain*) è costituita dall'assemblaggio della base LIDAR 2008 (principalmente) e della base LIDAR 2021.

Nel modello del Borro delle Pancole, trattandosi di modello puramente bidimensionale, i manufatti di attraversamento sono stati introdotti mediante gli oggetti *2DSA_conn*, che consentono di rappresentare elementi verticali (muri, rilevati etc) con tombini sottopassanti.

Anche per gli altri due corsi d'acqua sono stati inseriti alcuni collegamenti idraulici sotto rilevati arginali o stradali, come mostrano gli estratti planimetrici che seguono.

Innanzitutto è proposto lo schema modellistico del sistema complessivo dei corsi d'acqua studiati, ed a seguire alcuni dettagli dei singoli corsi d'acqua.

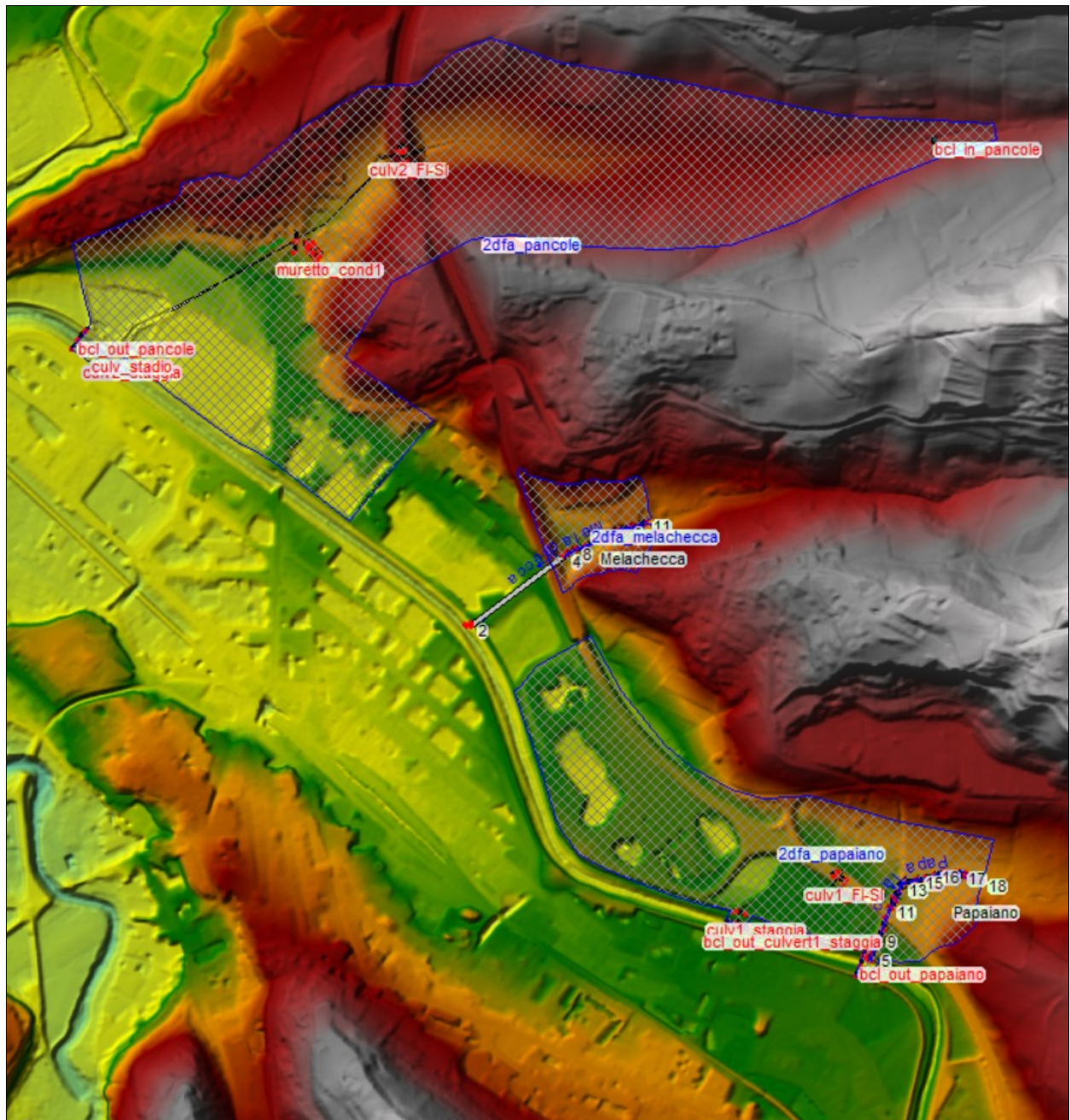


Fig. 39 – Schema del modello idraulico degli affluenti destri del T. Staggia in area urbana

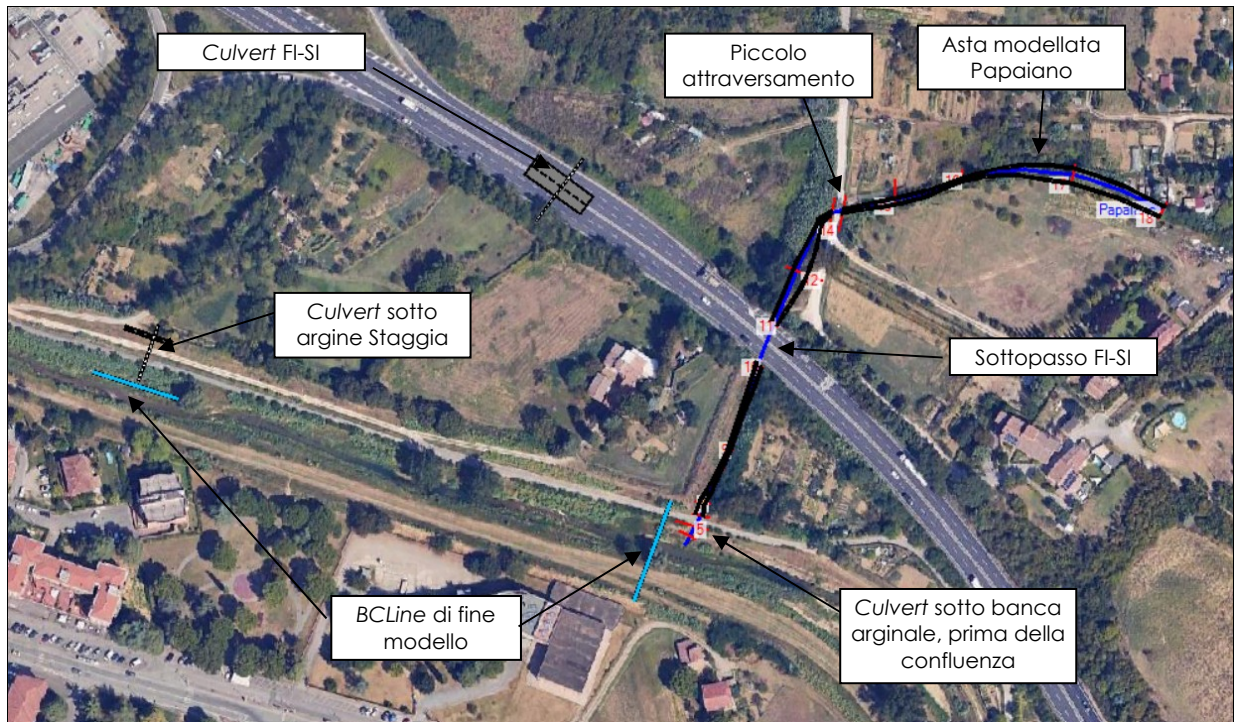


Fig. 40 – Particolare del modello idraulico del Borro di Papaiano



Fig. 41 – Particolare del modello idraulico del Borro di Melachecca

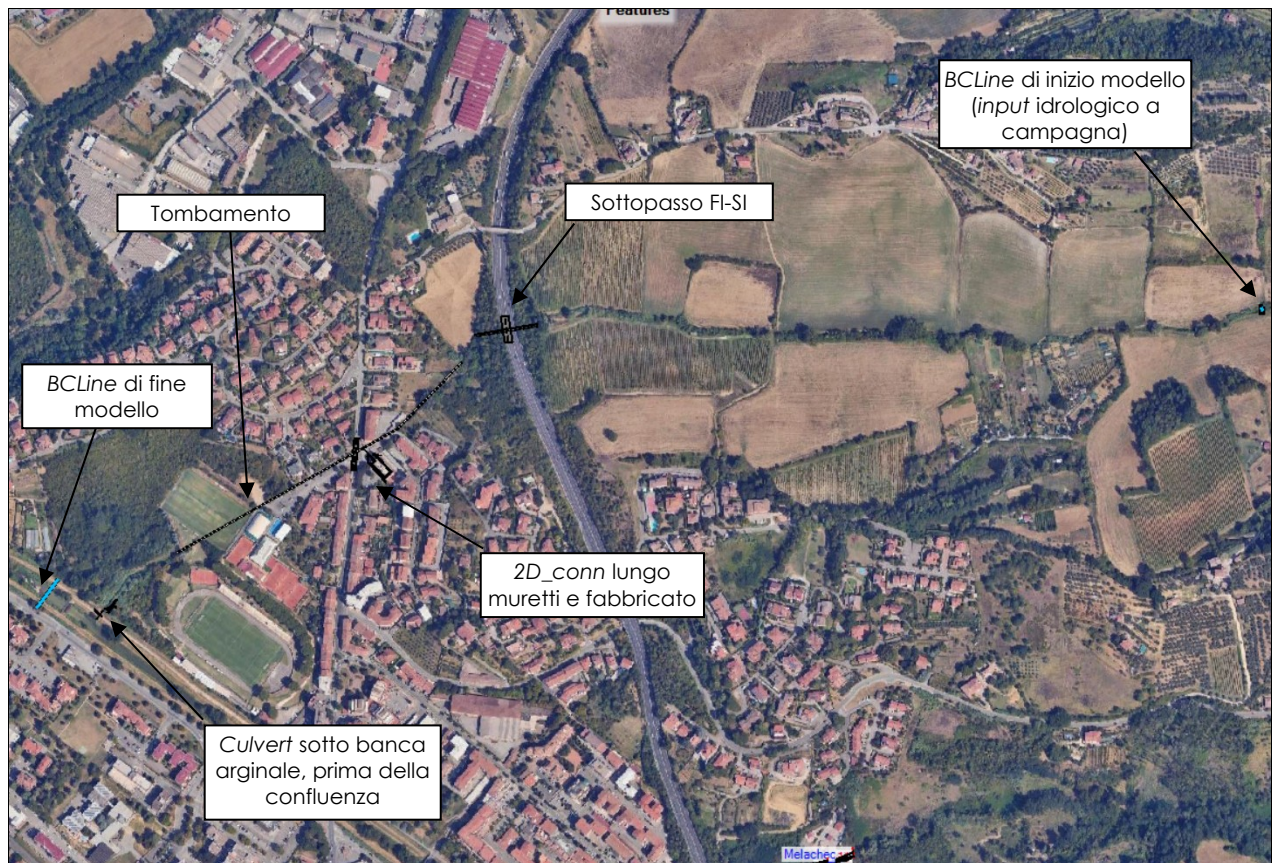


Fig. 42 – Particolare del modello idraulico del Borro delle Pancole

8.5 Risultati della modellazione

Nel seguente estratto sono riportate le sole aree allagate per eventi di piena con tempo di ritorno di 30 e 200 anni in esito alle verifiche compiute, corrispondenti rispettivamente ad aree a pericolosità per alluvioni frequenti e poco frequenti.

Le aree allagate dei tre corsi d'acqua studiati tendono parzialmente a sovrapporsi con quelle del Torrente Staggia.

E' quindi mostrata una seconda planimetria in cui è messa in risalto la differente provenienza degli allagamenti.

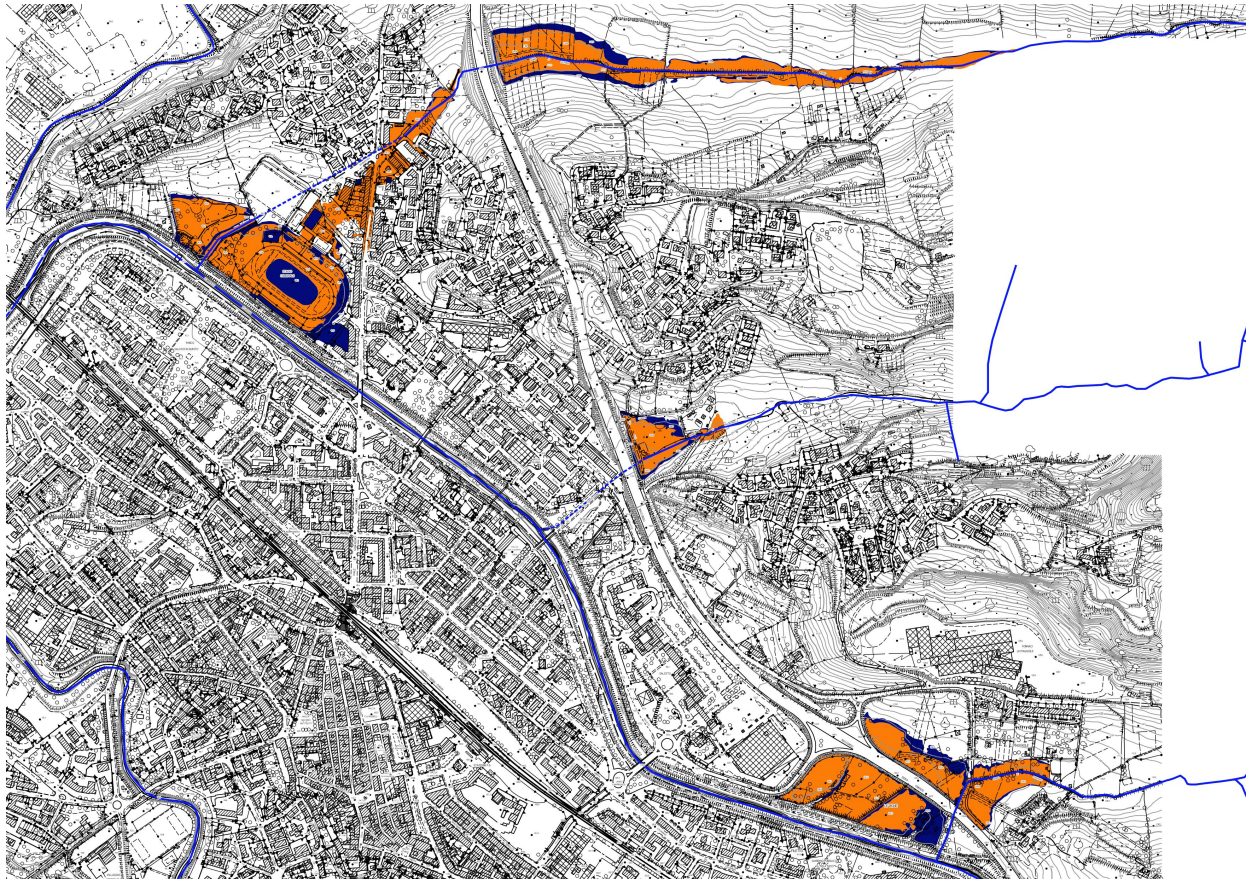


Fig. 43 – Pericolosità da alluvione derivante dai soli corsi d'acqua studiati

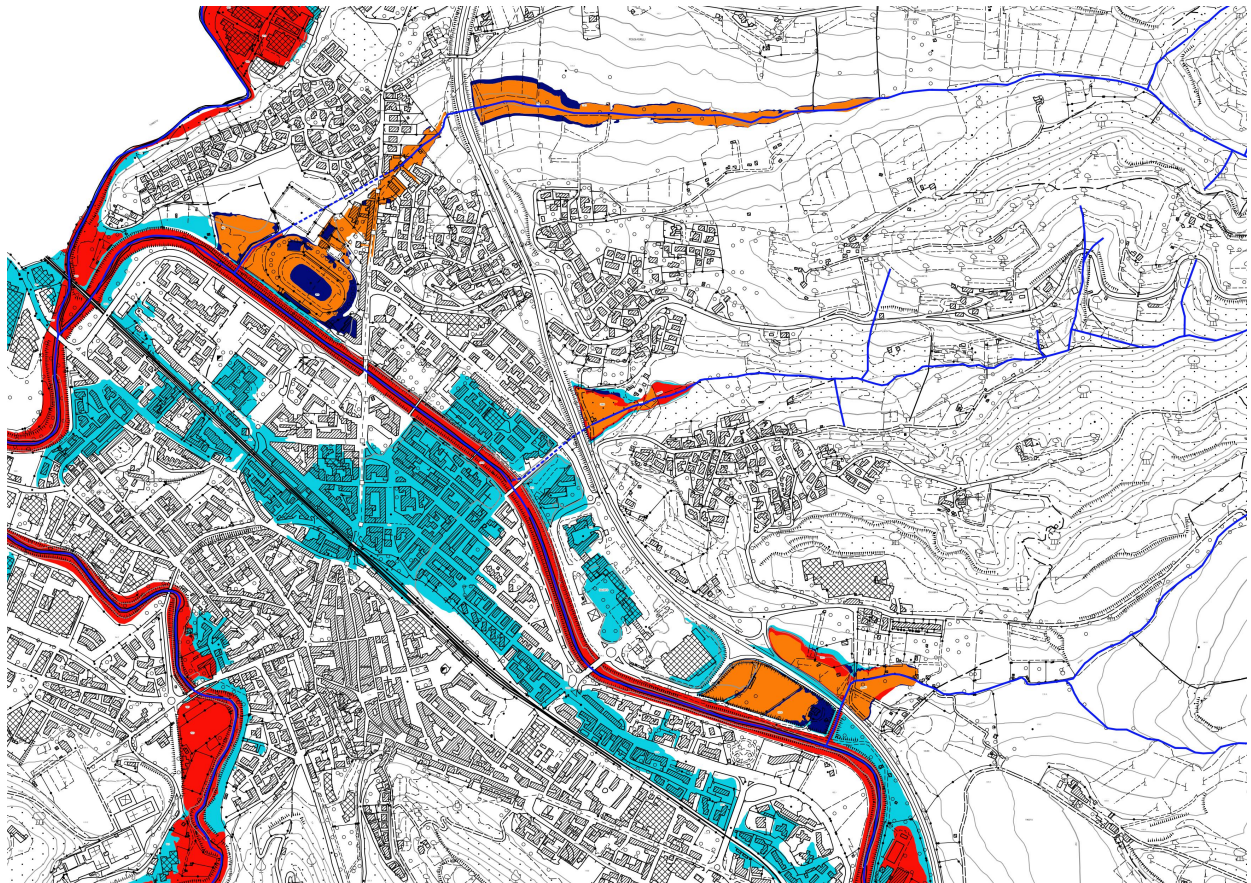


Fig. 44 – Aree allagate degli affluenti destri del Torrente Staggia e di quest'ultimo, differenziate per colore

Le aree allagate da parte del Borro di Papaiano e del Borro di Melachecca ricalcano in modo abbastanza fedele quelle del PGRA attuale, che a loro volta derivano dagli studi idraulici del Piano Strutturale del 2014.

Le aree del Borro delle Pancole, invece, risultano del tutto nuove e si inseriscono su una porzione di territorio precedentemente priva di perimetrazioni di pericolosità.

Questo rappresenta senz'altro un appesantimento del quadro di pericolosità complessivo, per giunta su un'area densamente urbanizzata. Fortunamente le aree allagate del Borro delle Pancole, per lo più dovute al sottodimensionamento del lungo tombamento, non determinano battenti di esondazione particolarmente elevati, anche grazie alla morfologia del territorio degradante verso il Torrente Staggia.

9. TABULATI DI CALCOLO DEI MODELLI PAPAIANO E MELACHECCA

Sono di seguito mostrati i risultati dei modelli idraulici di Borro di Papaiano e Borro di Melachecca in termini di tabulati di calcolo, sezioni con livelli idrometrici e profili della corrente.

River	Reach	River Sta	Profile	Plan	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Papaiano	Papaiano	18	Max WS	PPM_30_1	21.85	106.25	107.52	107.77	108.48	0.031801	4.32	5.05	5.18	1.40
Papaiano	Papaiano	18	Max WS	PPM_30_2	17.51	106.25	107.41	107.60	108.19	0.029032	3.90	4.49	5.18	1.34
Papaiano	Papaiano	18	Max WS	PPM_30_3	13.20	106.25	107.29	107.42	107.89	0.026136	3.43	3.84	5.18	1.27
Papaiano	Papaiano	18	Max WS	PPM_30_5	8.81	106.25	107.14	107.21	107.56	0.023040	2.87	3.07	5.18	1.19
Papaiano	Papaiano	18	Max WS	PPM_30_6	7.60	106.25	107.09	107.15	107.46	0.022309	2.70	2.82	5.18	1.17
Papaiano	Papaiano	18	Max WS	PPM_200_1	32.36	106.25	107.76	108.13	109.12	0.037606	5.17	6.25	5.18	1.50
Papaiano	Papaiano	18	Max WS	PPM_200_2	12.39	106.25	108.97		109.02	0.000808	0.99	12.55	5.18	0.20
Papaiano	Papaiano	18	Max WS	PPM_200_3	19.27	106.25	107.46	107.67	108.31	0.030198	4.08	4.72	5.18	1.36
Papaiano	Papaiano	18	Max WS	PPM_200_5	13.15	106.25	107.29	107.42	107.89	0.026101	3.43	3.84	5.18	1.27
Papaiano	Papaiano	17.99												
Papaiano	Papaiano	17.89												
Papaiano	Papaiano	17	Max WS	PPM_30_1	7.90	105.60	106.77		106.85	0.002590	1.22	6.49	7.24	0.41
Papaiano	Papaiano	17	Max WS	PPM_30_2	6.86	105.60	106.73		106.79	0.002261	1.11	6.18	7.24	0.38
Papaiano	Papaiano	17	Max WS	PPM_30_3	6.14	105.60	106.67		106.73	0.002276	1.07	5.74	7.24	0.38
Papaiano	Papaiano	17	Max WS	PPM_30_5	5.55	105.60	106.58		106.64	0.002707	1.09	5.08	7.24	0.42
Papaiano	Papaiano	17	Max WS	PPM_30_6	5.25	105.60	106.54		106.60	0.002851	1.09	4.82	7.24	0.43
Papaiano	Papaiano	17	Max WS	PPM_200_1	10.33	105.60	106.86		106.97	0.003311	1.45	7.13	7.24	0.47
Papaiano	Papaiano	17	Max WS	PPM_200_2	8.80	105.60	106.81		106.89	0.002895	1.31	6.71	7.24	0.43
Papaiano	Papaiano	17	Max WS	PPM_200_3	7.32	105.60	106.75		106.82	0.002419	1.16	6.31	7.24	0.40
Papaiano	Papaiano	17	Max WS	PPM_200_5	6.14	105.60	106.67		106.73	0.002282	1.07	5.73	7.24	0.38
Papaiano	Papaiano	16	Max WS	PPM_30_1	7.49	104.75	106.16	106.15	106.58	0.021843	2.87	2.61	2.95	0.98
Papaiano	Papaiano	16	Max WS	PPM_30_2	6.87	104.75	106.09	106.10	106.51	0.023506	2.88	2.39	2.95	1.02
Papaiano	Papaiano	16	Max WS	PPM_30_3	6.12	104.75	106.02	106.04	106.42	0.024013	2.81	2.18	2.88	1.03
Papaiano	Papaiano	16	Max WS	PPM_30_5	5.26	104.75	105.94	105.95	106.31	0.023000	2.67	1.97	2.73	1.00
Papaiano	Papaiano	16	Max WS	PPM_30_6	4.97	104.75	105.92	105.91	106.27	0.022398	2.61	1.90	2.68	0.99
Papaiano	Papaiano	16	Max WS	PPM_200_1	8.61	104.75	106.30		106.72	0.019291	2.86	3.01	2.95	0.90
Papaiano	Papaiano	16	Max WS	PPM_200_2	1.17	104.75	106.45		106.45	0.000244	0.34	3.45	2.95	0.10
Papaiano	Papaiano	16	Max WS	PPM_200_3	7.15	104.75	106.12	106.12	106.54	0.022715	2.87	2.49	2.95	1.00
Papaiano	Papaiano	16	Max WS	PPM_200_5	6.11	104.75	106.02	106.04	106.42	0.023993	2.81	2.18	2.88	1.03
Papaiano	Papaiano	15	Max WS	PPM_30_1	1.11	103.85	105.82		105.82	0.000195	0.31	3.64	2.63	0.08
Papaiano	Papaiano	15	Max WS	PPM_30_2	2.70	103.85	105.69		105.73	0.001469	0.81	3.32	2.63	0.23
Papaiano	Papaiano	15	Max WS	PPM_30_3	3.66	103.85	105.58		105.66	0.003457	1.21	3.03	2.63	0.36
Papaiano	Papaiano	15	Max WS	PPM_30_5	3.61	103.85	105.52		105.60	0.003952	1.26	2.85	2.63	0.39
Papaiano	Papaiano	15	Max WS	PPM_30_6	3.54	103.85	105.50		105.58	0.003947	1.26	2.81	2.63	0.39
Papaiano	Papaiano	15	Max WS	PPM_200_1	-1.87	103.85	106.00		106.01	0.000396	-0.45	4.13	2.63	0.12
Papaiano	Papaiano	15	Max WS	PPM_200_2	-4.65	103.85	106.25		106.30	0.001678	-0.97	4.77	2.63	0.23
Papaiano	Papaiano	15	Max WS	PPM_200_3	1.98	103.85	105.75		105.77	0.000699	0.57	3.47	2.63	0.16
Papaiano	Papaiano	15	Max WS	PPM_200_5	3.66	103.85	105.58		105.66	0.003469	1.21	3.03	2.63	0.36
Papaiano	Papaiano	14	Max WS	PPM_30_1	3.44	103.59	105.68	104.53	105.74	0.002586	1.05	3.26	1.84	0.25
Papaiano	Papaiano	14	Max WS	PPM_30_2	3.21	103.59	105.61	104.49	105.67	0.002490	1.03	3.13	1.84	0.25
Papaiano	Papaiano	14	Max WS	PPM_30_3	2.17	103.59	105.58	104.30	105.61	0.001194	0.71	3.07	1.84	0.17
Papaiano	Papaiano	14	Max WS	PPM_30_5	2.86	103.59	105.50	104.43	105.55	0.002340	0.98	2.92	1.84	0.25
Papaiano	Papaiano	14	Max WS	PPM_30_6	2.81	103.59	105.48	104.42	105.53	0.002312	0.97	2.89	1.84	0.25
Papaiano	Papaiano	14	Max WS	PPM_200_1	4.11	103.59	105.87	104.63	105.94	0.002897	1.14	3.61	1.84	0.26
Papaiano	Papaiano	14	Max WS	PPM_200_2	17.94	103.59	109.11	106.04	109.11	0.000030	0.18	69.71	17.51	0.02
Papaiano	Papaiano	14	Max WS	PPM_200_3	3.31	103.59	105.64	104.51	105.70	0.002531	1.04	3.19	1.84	0.25
Papaiano	Papaiano	14	Max WS	PPM_200_5	3.04	103.59	105.56	104.46	105.61	0.002427	1.00	3.02	1.84	0.25
Papaiano	Papaiano	13.5												
Papaiano	Papaiano	13	Max WS	PPM_30_1	3.44	103.59	104.72		104.97	0.017078	2.24	1.54	1.63	0.74
Papaiano	Papaiano	13	Max WS	PPM_30_2	2.42	103.59	104.87		104.96	0.005680	1.35	1.80	1.69	0.42
Papaiano	Papaiano	13	Max WS	PPM_30_3	1.48	103.59	105.38		105.40	0.000756	0.55	2.71	1.84	0.14
Papaiano	Papaiano	13	Max WS	PPM_30_5	2.22	103.59	104.82		104.90	0.005482	1.30	1.71	1.67	0.41
Papaiano	Papaiano	13	Max WS	PPM_30_6	2.11	103.59	104.85		104.92	0.004550	1.20	1.76	1.68	0.37
Papaiano	Papaiano	13	Max WS	PPM_200_1	2.84	103.59	105.09		105.17	0.004853	1.31	2.17	1.77	0.38
Papaiano	Papaiano	13	Max WS	PPM_200_2	16.86	103.59	106.43		107.11	0.026829	3.64	4.64	1.84	0.73
Papaiano	Papaiano	13	Max WS	PPM_200_3	2.42	103.59	104.75		104.87	0.007639	1.51	1.60	1.65	0.49
Papaiano	Papaiano	13	Max WS	PPM_200_5	2.10	103.59	104.62		104.74	0.008417	1.52	1.38	1.60	0.52
Papaiano	Papaiano	12.99												
Papaiano	Papaiano	12.89												
Papaiano	Papaiano	12	Max WS	PPM_30_1	-0.16	103.07	104.45		104.45	0.000005	-0.04	3.56	4.34	0.02
Papaiano	Papaiano	12	Max WS	PPM_30_2	0.09	103.07	104.31		104.31	0.000002	0.03	2.99	3.91	0.01
Papaiano	Papaiano	12	Max WS	PPM_30_3	-3.38	103.07	104.60		104.63	0.001323	-0.79	4.26	4.80	0.27
Papaiano	Papaiano	12	Max WS	PPM_30_5	0.85	103.07	104.05		104.06	0.000524	0.41	2.06	3.21	0.16
Papaiano	Papaiano	12	Max WS	PPM_30_6	2.67	103.07	103.77	103.75	104.00	0.017890	2.10	1.27	2.51	0.95
Papaiano	Papaiano	12	Max WS	PPM_200_1	-6.50	103.07	104.95		105.01	0.001915	-1.06	6.13	5.88	0.33
Papaiano	Papaiano	12	Max WS	PPM_200_2	-6.36	103.07	104.92		104.98	0.001999	-1.07	5.93	5.77	0.34
Papaiano	Papaiano	12	Max WS	PPM_200_3	-2.10	103.07	104.58		104.60	0.000536	-0.50	4.17	4.74	0.17
Papaiano	Papaiano	12	Max WS	PPM_200_5	1.04	103.07	104.15		104.15	0.000540	0.43	2.38	3.46	0.17
Papaiano	Papaiano	11	Max WS	PPM_30_1	14.01	102.06	103.85	103.41	104.18	0.009868	2.54	5.51	3.33	0.63
Papaiano	Papaiano	11	Max WS	PPM_30_2	12.20	102.06	103.73	103.30	104.02	0.009202	2.39	5.10	3.33	0.62
Papaiano	Papaiano	11	Max WS	PPM_30_3	10.09	102.06	103.59	103.17	103.83	0.008077	2.17	4.65	3.33	0.59
Papaiano	Papaiano	11	Max WS	PPM_30_5	8.49	102.06	103.46	103.07	103.67	0.007447	2.01	4.22	3.33	0.57
Papaiano	Papaiano	11	Max WS	PPM_30_6	6.51	102.06	103.48	102.92	103.60	0.004212	1.52	4.28	3.33	0.43
Papaiano	Papaiano	11	Max WS	PPM_200_1	20.92	102.06	104.34	103.78	104.78	0.011114	2.92	7.16	3.33	0.64
Papaiano	Papaiano	11	Max WS	PPM_200_2	20.17	102.06	104.31	103.75	104.73	0.010798	2.86	7.04	3.33	0.63
Papaiano	Papaiano	11	Max WS	PPM_200_3	15.84	102.06	103.98	103.52	104.34	0.010328	2.66	5.95	3.33	0.64
Papaiano	Papaiano	11	Max WS	PPM_200_5	10.08	102.06	103.59	103.17	103.83	0.008059	2.17	4.65	3.33	0.59
Papaiano	Papaiano	10.5												
Papaiano	Papaiano	10	Max WS	PPM_30_1	14.01	101.75	103.74		103.99	0.006896	2.22	6.30	3.21	0.51
Papaiano	Papaiano	10	Max WS	PPM_30_2	12.20	101.75	103.65		103.86	0.005853	2.02	6.03	3.21	0.47
Papaiano	Papaiano	10	Max WS	PPM_30_3	10.09	101.75	103.56		103.72	0.004582	1.76	5.73	3.21	0.42
Papaiano	Papaiano	10	Max WS	PPM_30_5	8.08	101.75	103.45		103.57	0.003455	1.50	5.38	3.21	0.37
Papaiano	Papaiano	10	Max WS	PPM_30_6	6.51	101.75	103.48		103.55	0.002149	1.19	5.47	3.21	0.29
Papaiano	Papaiano	10	Max WS	PPM_200_1	20.96	101.75	103.99		104.43	0.011303	2.95	7.11	3.21	0.63
Papaiano	Papaiano	10	Max WS	PPM_200_2	14.32	101.75	104.31		104.46	0.003779	1.76	6.12	3.21	0.35
Papaiano	Papaiano	10	Max WS	PPM_200_3	15.80	101.75	103.82		104.12	0.007879	2.41	6.57	3.21	0.54
Papaiano	Papaiano	10	Max WS	PPM_200_5	10.05	101.75	103.56		103.71	0.004563	1.76	5.72	3.21	0.42
Papaiano	Papaiano													

