

Piano Strutturale

R2

RELAZIONE

IDROLOGICO – IDRAULICA



progetto:

Roberto Vezzosi (capogruppo)

Stefania Rizzotti, Idp studio

Massimiliano Rossi, Fabio Poggi, Davide Giovannuzzi, Mirko Frascioni, Laura Galmacci, ProGeo Engineering s.r.l.

Luca Moretti, Lorenzo Lari, Cooperativa Civile STP Soc. Coop

Leonardo Lombardi, Michele Giunti e Cristina Castelli, NEMO Nature and Environment Management Operators s.r.l.

Bianca Borri

Martina Romeo

Valentina Vettori

Andrea Debernardi con Chiara Taiariol e Lorena Mastropasqua, META s.r.l., per gli aspetti della mobilità

Maria Rita Cecchini per la Valutazione Ambientale Strategica

aprile 2021

Sindaco e Assessore all'Urbanistica: Alessandro Donati

Garante dell'informazione e della partecipazione: Francesco Manganelli

Responsabile del procedimento: Rita Lucci

Comune di Colle di Val d'Elsa



INDICE

INDICE.....	1
1 PREMESSA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
2 CARATTERISTICHE GEO-MORFOLOGICHE DELL'AREA DI STUDIO	6
2.1 Inquadramento Generale.....	6
2.2 Inquadramento geomorfologico.....	7
2.3 Inquadramento idrografico e definizione del reticolo di studio.....	9
3 QUADRO CONOSCITIVO.....	13
4 RILIEVO DELLE SEZIONI D'ALVEO, DELLE OPERE IDRAULICHE E CARTOGRAFIA DI RIFERIMENTO	15
4.1 Cassa di laminazione sul T. Senna.....	16
4.2 Confluenza T. Senna e F. Elsa.....	17
4.3 Cassa T. di Scarna.....	17
5 ANALISI IDROLOGICA	19
5.1 Analisi geomorfologica	19
5.2 Il modello idrologico generale.....	20
5.2.1 Pluviometria	20
5.2.2 Pluviometria di progetto	21
5.2.3 Piogge Nette.....	21
5.2.4 Idrogrammi di piena.....	23
5.2.5 Tempo di corrivazione.....	24
5.2.6 Analisi idrologica del bacino del fiume Elsa.....	25
6 ANALISI IDRAULICA.....	44
6.1 Descrizione della modellazione idraulica	44
6.2 Modellazioni idrauliche monodimensionali con Hec-Ras 5.0.7.....	45
6.3 Modellazioni idrauliche bidimensionali Hec-Ras 5.0.7.....	46
7 RISULTATI DELLE MODELLAZIONI IDRAULICHE	49
7.1 Modello “Elsa”	50
7.1.1 Cassa di espansione sul T. Senna.....	61
7.1.2 Cassa di laminazione S. Giulia sul F. Elsa.....	66
7.1.3 Cassa di laminazione sul T. Scarna.....	71



7.2	Modello “Doccina”	77
7.3	Modello “SantAgostino_Convento”	80
7.4	Modello “Amboiana”	83
8	MAPPA DELLE AREE A PERICOLOSITA' D'ALLUVIONE	86
9	MAPPA DEI BATTENTI, DELLE VELOCITA' E DELLE MAGNITUDO IDRAULICA	87
10	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	88



1 PREMESSA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il presente studio idrologico ed idraulico è stato redatto su incarico del Comune di Colle Val d'Elsa a supporto nel nuovo Piano Strutturale, quale aggiornamento del quadro conoscitivo secondo quanto previsto dal regolamento d'attuazione dell'art. 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche approvato con DPGR del 30 gennaio 2020 n.5/R.

Nello specifico, dal punto di vista idraulico gli studi sono stati predisposti in accordo con la LR 41/2018 "Disposizioni in materia di rischio di alluvione e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione al D.Lgs. 49/2010. Modifiche alla LR 80/2015 e LR 60/2014", che ha abrogato la LR 21/2012 "Disposizioni urgenti in materia di difesa dal rischio idraulico e tutela dai corsi d'acqua".

Con Decreto Dirigenziale del Responsabile del Settore Assetto del Territorio - Direzione Difesa del Suolo e Protezione Civile della Regione Toscana n. 21370 del 02-12-2019, il Comune di Colle Val d'Elsa è stato ammesso al finanziamento inerente al bando per la realizzazione di studi per l'implementazione delle mappe di pericolosità da alluvione e rischio di alluvioni, comprensive di carte dei battenti, velocità e magnitudo idraulica, proprio per l'applicazione della L.R. 41/2018.

Gli studi idrologico-idraulici di seguito descritti ed utilizzati per la definizione del nuovo Quadro Conoscitivo di PS sono quindi gli stessi di quelli redatti per il bando regionale citato, che hanno ottenuto il nulla osta dell'AdBDAS (prot. 8888/2020 del 25-11-2020) e del Settore Genio Civile Valdarno Superiore.

Lo studio idraulico intende caratterizzare gli aspetti connessi alla probabilità di allagamento per fenomeni di esondazione dai corsi d'acqua compresi nel reticolo d'interesse della difesa del suolo di cui alla L.R. 79/2012, modificato, nella sua ultima versione, con DCRT 28/2020.

Sono oggetto del presente studio i tratti di corsi d'acqua elencati nella documentazione tecnica di supporto alla domanda di partecipazione al bando regionale sopra richiamato.

La probabilità di allagamento analizzata è quella indotta dal superamento della capacità di deflusso dei corsi d'acqua oggetto di modellazione, causa dei fenomeni esondativi. Non sono inclusi gli aspetti di pericolosità prodotti da collassi strutturali (argini, ponti...).



Al fine di definire le perimetrazioni delle aree allagabili per eventi con $Tr \leq 30$ anni ed eventi con $30 < Tr \leq 200$ anni, sono state implementate le modellazioni idrologico-idrauliche monodimensionali e bidimensionali con il codice di calcolo HEC-RAS 5.0.7.

Per quanto riguarda invece la perimetrazione delle aree a pericolosità d'alluvione per eventi con $200 < Tr \leq 500$ anni si è mantenuto lo strato informativo del PGRA (P1) AdBDAS, qualora presente, integrato, con le aree dei depositi alluvionali del Database geomorfologico della Regione Toscana o da considerazioni geomorfologiche.

Il presente studio è stato redatto in accordo con le linee guida dettate dalla Regione Toscana per la redazione degli studi idraulici di supporto agli Strumenti Urbanistici e si articola nelle seguenti fasi:

- **Quadro conoscitivo;**
- **Analisi idrologica** contenente la metodologia adottata per la stima delle portate di progetto per vari tempi di ritorno;
- **Analisi idraulica** contenente la descrizione delle modellazioni svolte (bidimensionale, moto vario...) ed i risultati conseguiti in termini di stima e localizzazione delle volumetrie di esondazione per i vari tempi di ritorno e la relativa perimetrazione delle aree allagate.

Infine, con l'entrata in vigore della L.R. 41/2018 e del Regolamento 5/R e relativo allegato vale quanto segue:

Definizione e correlazione delle classi di pericolosità in funzione della frequenza degli eventi alluvionali (reg. attuazione 5/R, disciplina di PGRA e LR 41/2018):

PGRA	LR 41/2018	Reg. attuazione 5/R
pericolosità d'alluvione bassa (P1)	-	aree a pericolosità per alluvioni rare o di estrema intensità (P1)
pericolosità d'alluvione media (P2)	aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti	aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti (P2)
pericolosità d'alluvione elevata (P3)	aree a pericolosità per alluvioni frequenti	aree a pericolosità per alluvioni frequenti (P3)



In data 12.03.2020 la scrivente società ha richiesto all'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale le condizioni al contorno ai sensi del comma 6 dell'art. 14 della disciplina del Piano Gestione Rischio Alluvioni, approvato con DPCM 27/10/2016, per gli studi idraulici del Comune di Colle Val d'Elsa, ricevendo in data 17.03.2020 la seguente risposta: *“In particolare, per quanto attiene al reticolo secondario, le condizioni al contorno di monte sono costituite dagli idrogrammi di input al modello idraulico delle aste da studiare e quelle di valle sono rappresentate dai livelli idrici dei corsi d'acqua principali a cui affluisce il reticolo secondario. Pertanto, dopo aver individuato i corsi d'acqua oggetto di studio, dovranno essere seguite le modalità indicate nell'allegato 3 della disciplina di piano del PGRA. Le condizioni al contorno di valle dipenderanno dal corso d'acqua ricettore e dall'estensione dello studio sul reticolo secondario. A tal proposito, si fa presente che i comuni di Poggibonsi e Certaldo hanno già sviluppato la modellazione idrologico-idraulica sul bacino del Fiume Elsa e, pertanto, al fine di mantenere la coerenza idrologica, si raccomanda di adottare la stessa metodologia di calcolo per gli idrogrammi di piena. La valutazione del rispetto delle condizioni al contorno, come indicato al comma 5 dell'art. 3 dell'Accordo, viene effettuata dalla struttura regionale territorialmente competente.”*

A seguito di ciò, in data 09.04.2020 la scrivente società ha richiesto alla medesima Autorità gli studi idrologici e idraulici già realizzati sul bacino dell'Elsa nel tratto del corso d'acqua a valle del Comune di Colle Val d'Elsa che attiene al reticolo principale dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale. Tali studi sono stati quindi acquisiti dall'Amministrazione Comunale di Colle Val d'Elsa.

Nel rispetto delle richieste formulate dall'AdBDAS gli input idrologici di tutti i corsi d'acqua oggetto di questo studio idraulico sono determinati con la stessa metodologia dello studio idraulico sopra citato.



2 CARATTERISTICHE GEO-MORFOLOGICHE DELL'AREA DI STUDIO

2.1 Inquadramento Generale

Lo studio in oggetto riguarda 18 bacini idrografici, ubicati nel Comune di Colle di Val d'Elsa (SI), nella parte centrale della Regione Toscana (Figura 2.1).

Il territorio comunale di Colle di Val d'Elsa si colloca al centro della Toscana, in Provincia di Siena e confina a Nord con i comuni di San Gimignano e Poggibonsi, a Est con quello di Monteriggioni, a Sud con Casole d'Elsa e a Ovest con Volterra.

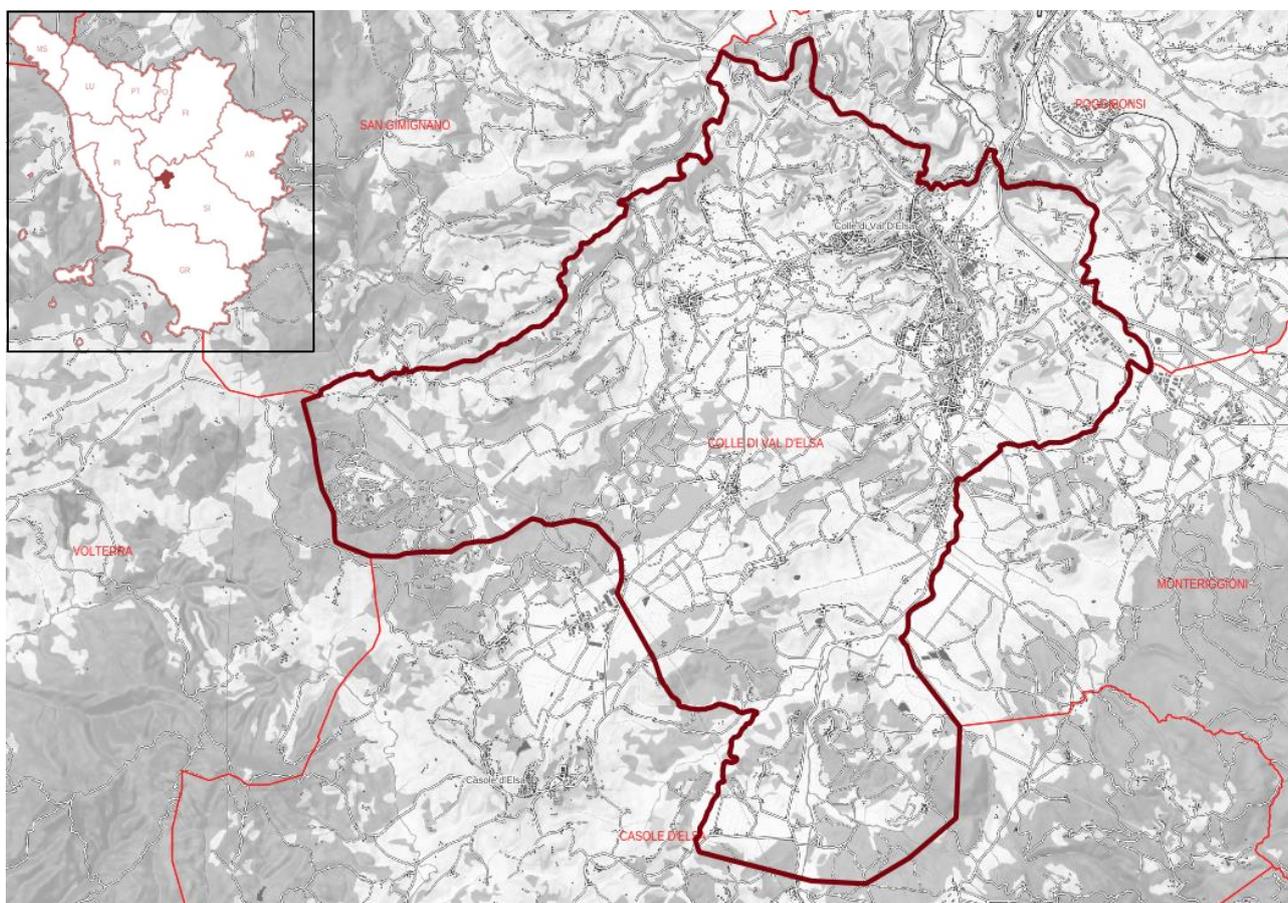


Figura 2.1 – Inquadramento del Comune di Colle di Val d'Elsa (cartografia 50k della Regione Toscana)

Il comune occupa una superficie di circa 92 kmq, afferente al territorio all'Alta Valdelsa. Cartograficamente risulta inquadrato come segue:

- Nei fogli della Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10.000: 286130, 286140, 286150, 296010, 296020, 296050, 296060.



- Nei fogli della Cartografia LIDAR della Regione Toscana: 15j55, 15j56, 15j63, 15j64, 15k57, 14j07, 14j08, 14k01, 14j15, 14j16, 14k09, 14k10, 14j23, 14j24, 14j17, 14j30, 14j31, 14j32, 14j38, 14j39, 14j47, 14j55.

2.2 Inquadramento geomorfologico

Il territorio di Colle di Val d'Elsa ha un'estensione di circa 93 chilometri quadrati in una zona di media collina dell'alta Val d'Elsa. Il dislivello altimetrico è compreso tra un minimo di circa 120 metri s.l.m. ad un massimo di 420 metri s.l.m. La morfologia del territorio è prevalentemente collinare, le aree pianeggianti sono rappresentate dal fondovalle dei bacini del fiume Elsa e del Torrente Foci (e dei loro tributari).

Il territorio comunale è compreso entro il bacino sedimentario della valle del Fiume Elsa e rappresenta una porzione di una depressione tettonica orientata NO-SE, che si estende per più di 300 km dalla Garfagnana alla alta valle del Tevere.

Il suo limite settentrionale è situato nell'area di Empoli dove la larghezza della valle è di circa 25 km e si riduce in modo significativo verso sud, dove, tra Poggibonsi e Monteriggioni, è di circa 15 km. Il limite tra l'area settentrionale e quella meridionale della valle è identificato con la presenza di un importante lineamento tettonico con orientamento anti-appenninico, la "Linea Piombino-Faenza".

Il bacino sedimentario neogenico della Val d'Elsa è una struttura formatasi in regime distensivo, che si è sviluppata a partire dal Miocene superiore ed è delimitata a ovest e a sud dalla dorsale mediotoscana e dalla dorsale del Chianti ad est.

La sedimentazione all'interno del bacino neogenico è costituita da ingenti spessori di sedimenti terrigeni continentali del Miocene superiore, a cui hanno fatto seguito sedimenti terrigeni marini del Pliocene, i quali, a loro volta sono suddivisibili in due cicli sedimentari. Il più antico è rappresentato da argille siltose (argille azzurre), cui seguono sabbie medio-fini (Sabbie di San Vivaldo).

Nel corso del Pliocene medio, l'area è già soggetta a sollevamento, come gran parte della Toscana meridionale e solo nel Pleistocene-Olocene è documentata la deposizione di sedimenti di origine continentale, quali ad esempio i travertini.

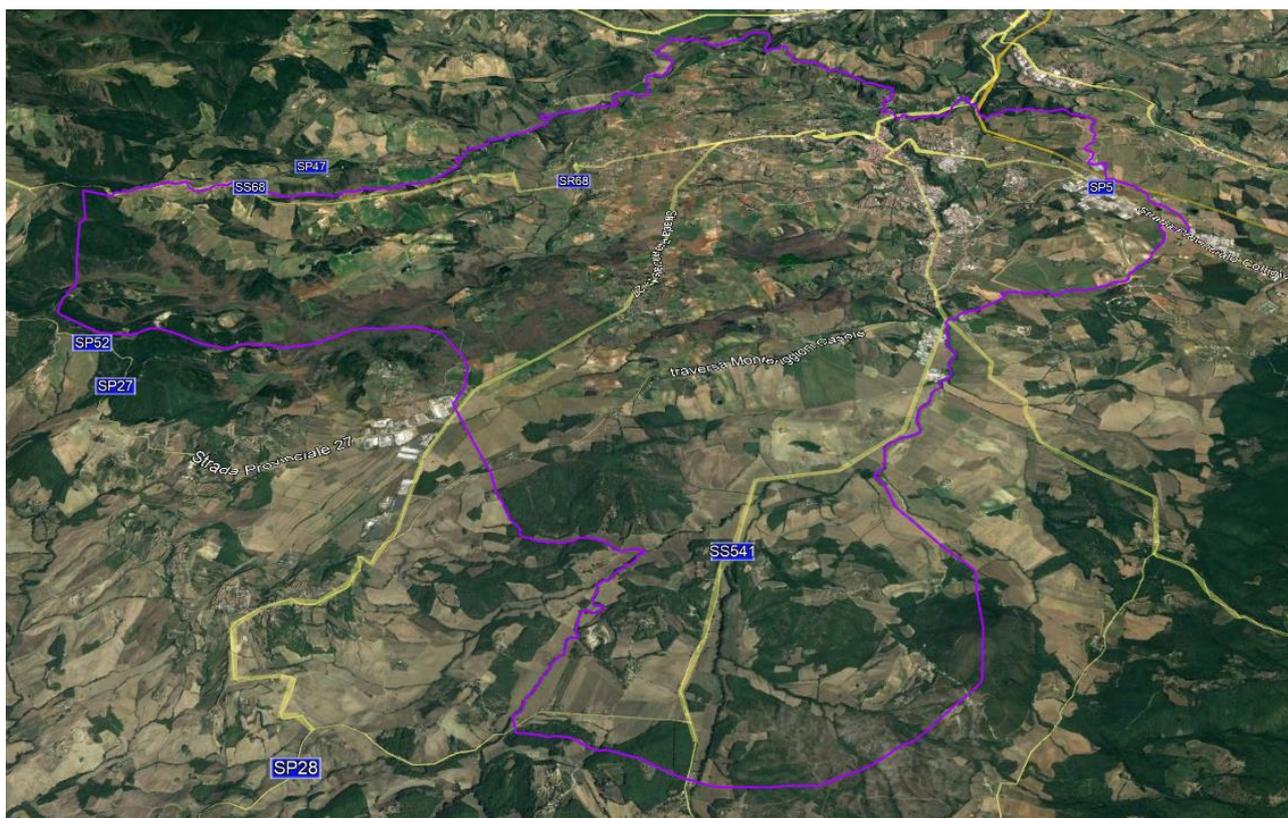


Figura 2.2 – Vista 3d da sud dell'area del comune di Colle di val d'Elsa (SI), in viola il confine comunale

I depositi quaternari sono suddivisi, dal punto di vista stratigrafico, in sintemi, di cui quello di più antica deposizione, riferibile al Pleistocene medio è di ambiente lacustre-palustre (Sintema di Campiglia dei Foci), mentre quelli più recenti, riferibili al Pleistocene superiore-Olocene sono di natura fluvio-palustre (Sintemi dell'Abbadia, di Calcinaia, del Torrente Foci, di Bellavista) o fluviale, corrispondente alle alluvioni attuali (Sintema di Poggibonsi).

Le coperture presenti sono quindi riferibili, da quelle di età più antica a quelle di età più recente, ai depositi marini pliocenici, con spessori decisamente rilevanti, a depositi di origine continentale di ambiente lacustre-palustre rusciniani e villafranchiani con presenza oltre a sedimenti di origine terrigena anche di placche di travertino (Sintema di Campiglia), a depositi di ambiente fluvio-palustre con presenza di incrostazioni carbonatiche presenti sulla successione di terrazzi presenti sui versanti dei principali corsi fluviali dell'area e infine a depositi alluvionali di fondovalle.

Solo nella porzione meridionale i depositi continentali poggiano direttamente sul substrato geologico (i.e. sul Calcare Cavernoso nell'area di Quartaia); nel resto del territorio, nelle aree del



capoluogo, di Gracciano, di Campiglia e nella porzione orientale del territorio (località Belvedere, Selvamaggio, Galognano) i depositi continentali sia lacustro-palustri che fluvio-palustri poggiano al di sopra della formazione pliocenica di origine marina delle Sabbie di San Vivaldo. Quest'ultima presenta varie facies comprese quelle con taglie granulometriche inferiori con presenza di sabbie fini, limi sabbiosi e limi argillosi e facies più grossolane con presenza di livelli conglomeratici cementati. I depositi lacustro-palustri sono disposti per la maggior parte in due placche sub-orizzontali in destra e in sinistra idrografica del fiume Elsa con spessori massimi sino a circa 50 m. Litologicamente sono assimilati ad alternanze di limi sabbiosi, argille, da poco a mediamente consistenti, ruditi in matrice limoso sabbiosa e livelli lapidei (travertino) decimetrici.

Dal punto di vista geotecnico i depositi continentali presentano una consistenza, perlomeno nei livelli superficiali, generalmente modesta, con presenza di alterazione diffusa delle placche di travertino, ove presenti, che mantengono spessori della porzione lapidea raramente superiore al metro.

Le sabbie plioceniche costituiscono il rilievo di Colle alta e nell'area di Colle bassa sono presenti a profondità comprese tra 20 e 30 metri circa; il loro stato di addensamento è di solito elevato.

2.3 Inquadramento idrografico e definizione del reticolo di studio

Nella figura seguente è mostrato l'inquadramento del reticolo idrografico di cui alla L.R. 79/2012 così come definito dal DCRT n. 101/2016, aggiornato con Delibera di Giunta 1357/2017 e 899/2018, DCRT 20/2019 (Figura 2.3) e, infine, DCRT 28/2020.

Il Fiume Elsa scorre da Sud verso Nord per poi confluire nel fiume Arno. Il tratto di asta studiato si colloca nell'Alta Valdesa e attraversa il centro urbano del capoluogo comunale. La prima metà dell'asta si trova in aree scarsamente urbanizzate. Mentre la seconda metà lambisce aree antropizzate con carattere sia residenziale che industriale.

Il Torrente Senna si trova nella zona più settentrionale del comune, scorre da Sud-Ovest e Nord-Est e confluisce nel Fiume Elsa nella zona iniziale del tratto studiato.

Tra altre aste studiate si hanno alcuni degli affluenti in sinistra del Fiume Elsa che scorrono da Ovest verso Est, Botro ai Colli, Fosso Podere Valli (MV48024), Botro degli Strulli, Fosso della Doccina, Fosso di Sant'Agostino (MV46431), Botro del Convento, Botro di Ricorboli.

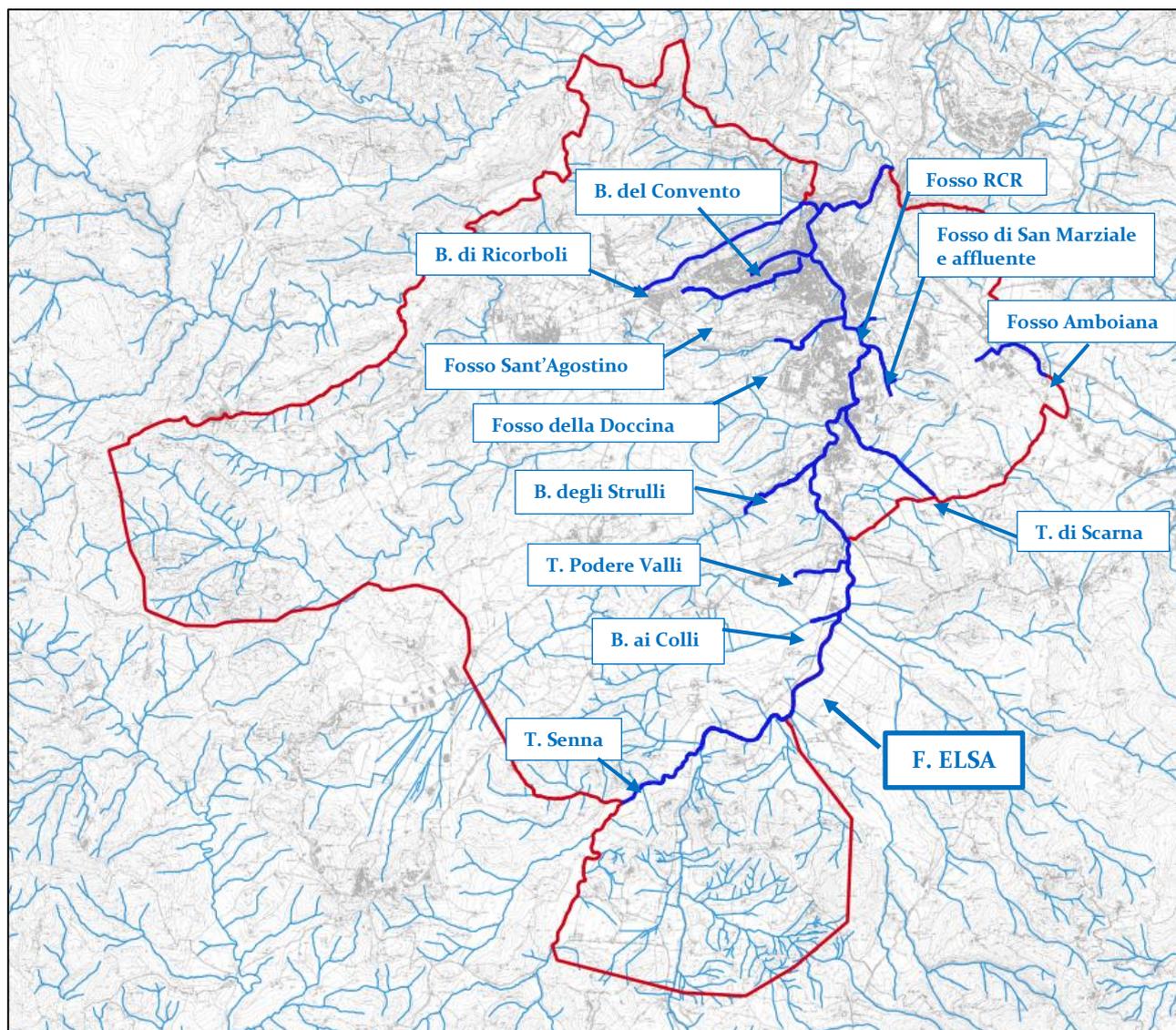


Figura 2.3 - Inquadramento idrografico del Comune di Colle di Val d'Elsa di cui alla L.R. 79/2012 così come aggiornato con DCRT n. 28/2020, in blu le aste idriche oggetto di studio, in celeste quelle di tutto il reticolo, in rosso il confine comunale.

Gli affluenti in destra studiati sono il Torrente Scarna, il Fosso di San Marziale (MV46712) e il suo affluente (MV46822).

Il Fosso Amboiana, esterno al bacino idrografico del tratto del Fiume Elsa studiato, scorre da Ovest verso Est attraversando una zona industriale.

Si elencano nella successiva Tabella 2.1 i tratti di corso d'acqua oggetto di modellazione idraulica con la relativa lunghezza.



Corso d'acqua di cui alla L.R. 79/2012 così come aggiornato con DCRT n. 28/2020	Lunghezza tratto con modello idraulico (m)
Fiume Elsa	13700
T. Senna	1750
Botro ai Colli	500
Torrente Podere Valli (MV48024)	930
Bostro degli Strulli	1420
Fosso della Doccina	1340
Fosso Sant'Agostino (MV46431)	2220
Botro del Convento	850
Botro di Ricorboli	3450
Fosso San Marziale (MV46712)	900
Affl. Fosso San Marziale (MV46822)	140
Torrete Scarna	2010
Fosso Amboiana	1560
TOTALE	30765

Tabella 2.1 - Elenco delle aste fluviali oggetto di studio idraulico con relativa lunghezza dell'asta fluviale

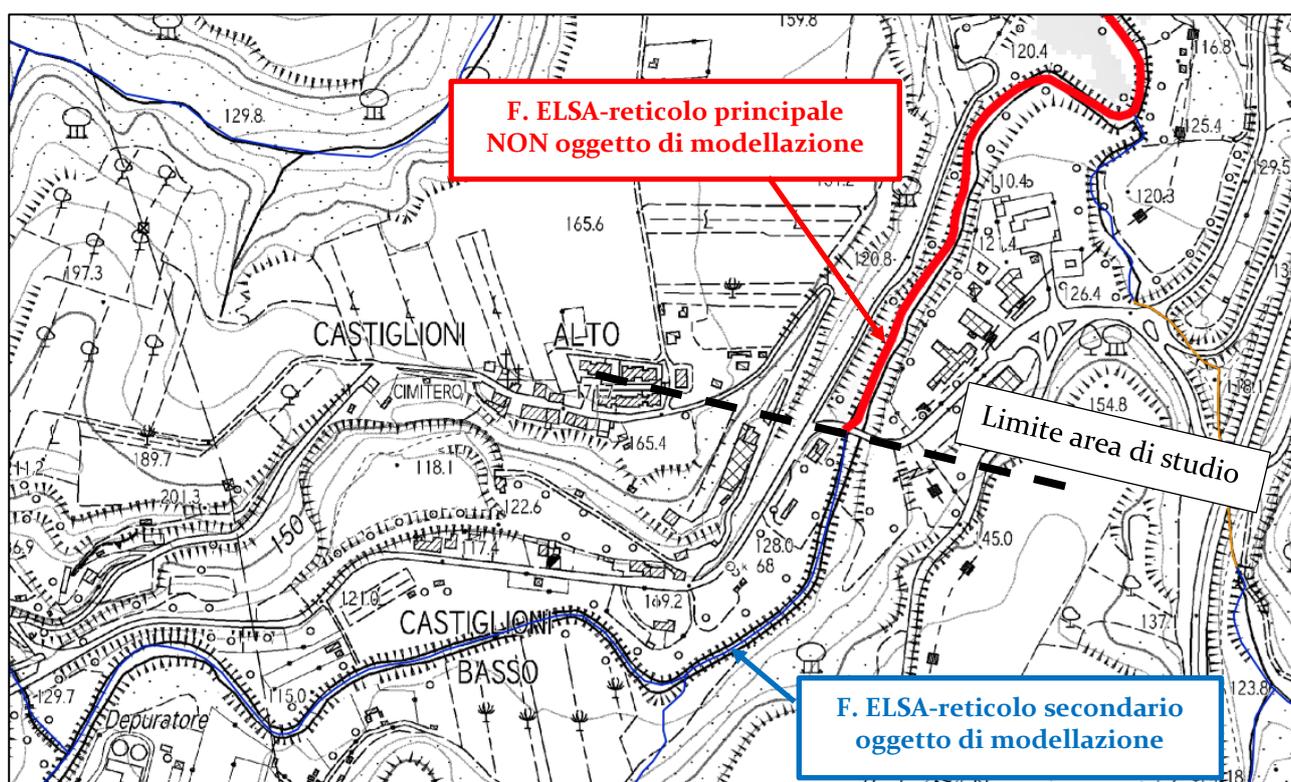


Figura 2.4 - Individuazione dell'asta principale del Fiume Elsa - reticolo di gestione dell'AdBDAS



Il F. Elsa da Castiglioni in poi (dopo il ponte – si veda Figura 2.4) è asta principale di gestione dell'AdBDAS. Si precisa che la porzione di aste del Fiume Elsa oggetto della modellazione idrologica e idraulica in oggetto è quella di reticolo secondario di cui alla DCRT 28/2020; l'area di studio verrà quindi interrotta in corrispondenza del ponte a valle di Castiglioni Alto.



3 QUADRO CONOSCITIVO

Il quadro conoscitivo per gli studi idrologici e idraulici del fiume Elsa è costituito essenzialmente dallo “studio idrologico idraulico sul fiume Elsa da loc. Castiglioni (Comune di Poggibonsi) allo Scolmatore (Comune di Castelfiorentino)”, redatto nel 2018 dai progettisti Ing. Gazzini e Ing. Gabbrielli con la supervisione dell’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Settentrionale coerentemente con quanto previsto dall’art.14 della Disciplina del P.G.R.A.

Dal quadro conoscitivo di quel progetto emerse una scarsa adeguatezza dei dati a disposizione (livelli e portate), elaborati nelle precedenti verifiche idrauliche sul Fiume Elsa ed eseguiti con dati, in particolare sulle linee segnalatrici pluviometriche, non aggiornati. Durante alcune riunioni con l’Autorità distrettuale si convenne sulla necessità di procedere ad un aggiornamento delle verifiche idrologiche ed idrauliche sul Fiume Elsa, al fine di pervenire ad una più appropriata definizione dei livelli e delle portate di piena in alveo, necessari per le condizioni al contorno degli studi sul reticolo idraulico secondario, ed a nuove perimetrazioni delle aree a pericolosità da alluvione, uniformando così il quadro conoscitivo lungo tutta l’asta in esame del Fiume Elsa per i Comuni di Poggibonsi, Barberino Val d’Elsa, San Gimignano, Certaldo e Gambassi Terme, all’epoca impegnati nell’aggiornamento della propria strumentazione urbanistica.

Lo studio idraulico si riferiva in particolare al tratto del fiume Elsa compreso nei Comuni di Poggibonsi e Castelfiorentino, a valle del Comune di Colle Val d’Elsa, ma lo studio idrologico copriva, ovviamente, anche la parte più a monte.

Nello studio idrologico, approvato dall’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Settentrionale fu utilizzato:

- il metodo di trasformazione afflussi-deflussi adoperato per lo studio di Regionalizzazione delle Portate di Piena, che sfrutta l’idrogramma istantaneo unitario di Nash costruito su 3 parametri in funzione della gerarchizzazione del reticolo idrografico e della geomorfologia del bacino.
- il metodo di infiltrazione asintotico a soglia, che richiede la stima dei parametri I_a e K_s . per la stima delle perdite (o “depurazione” delle piogge)
- idrogrammi sintetici costanti di diverse durate e tempi di ritorno 30 e 200 anni per l’input pluviometrico;



- ragguglio areale delle piogge tramite la formulazione suggerita nella Regionalizzazione delle Portate di Piena della Regione Toscana

In particolare in quel lavoro furono utilizzati i parametri delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica forniti dall' "Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme" (Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze - Regione Toscana, 2014), i valori di velocità di infiltrazione a saturazione forniti dal "Database geopedologico della Regione Toscana" (Regione Toscana, 2015), i dati di uso del suolo forniti dal database "Uso e copertura del suolo della Regione Toscana" (Regione Toscana, 2013), il "Reticolo idrografico e di gestione" della Regione Toscana di cui alla L.R. 79/2012 (versione di cui alla D.C.R.T. 101/2016), gli "Ambiti amministrativi" della Regione Toscana (2012), il rilievo "LIDAR" (Regione Toscana - M.A.T.T.M., 2008).

Per rispettare la congruenza del quadro conoscitivo del fiume Elsa, nel presente studio è stata utilizzata la medesima metodologia sfruttando, ove possibile, i dati più aggiornati.



4 RILIEVO DELLE SEZIONI D'ALVEO, DELLE OPERE IDRAULICHE E CARTOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Per la caratterizzazione geometrica dei corsi d'acqua indagati (modello idraulico monodimensionale) è stato fatto riferimento:

- ai rilievi topografici messi a disposizione dal Comune di Colle Val d'Elsa (dopo opportuna verifica di coerenza);
- ai rilievi da cartografia LIDAR disponibile per il territorio;
- ad apposita campagna di rilievo da parte della società scrivente.

Ai fini della modellazione idraulica sono state definite le geometrie delle opere idrauliche esistenti nel territorio comunale:

- infrastrutture attraversanti i corsi d'acqua (ponti) con rilievi in sito;
- cassa d'espansione in linea nel tratto più a monte sul T. Senna (rilievo della bocca tarata e della gaveta);
- cassa di espansione in derivazione sul F. Elsa in Località Santa Giulia. La Regione Toscana ha messo a disposizione sia il modello geometrico delle arginature, che il modello HEC-RAS utilizzato per la progettazione.
- cassa di espansione in linea sul Torrente Scarna a monte di Gracciano (rilievo della bocca tarata e della gaveta);

Per la caratterizzazione geometrica delle aree potenzialmente inondabili è stato inoltre fatto riferimento:

- Modello digitale del terreno su base cartografica Lidar della Regione Toscana (anno 2008, maglia 1m x 1m);
- Modello digitale del terreno su base Carta Tecnica Regionale 1:10000 associata ad apposita campagna di rilievi da parte della società ProGeo Engineering Srl;
- Modello digitale del terreno su base Carta Tecnica Regionale 1:2000 (laddove disponibile).

L'adeguatezza dei rilievi delle sezioni d'alveo, prima del loro utilizzo, è stata verificata mediante un controllo da Lidar delle sezioni topografiche rilevate.



4.1 Cassa di laminazione sul T. Senna

La cassa d'espansione in linea sul T. Senna è costituita da una traversa a monte della confluenza con il F. Elsa e non presenta nessuna arginatura perimetrale. In assenza di cartografia Lidar, l'area interessata dall'invaso della cassa è stata analizzata con modellazione monodimensionale abbinata ad un modello digitale del terreno ricostruito sulla base delle sezioni estese rilevate a monte della traversa e sulla base delle curve di livello della cartografia 1:10000.

Sulla traversa è stato fatto un rilievo di dettaglio per la definizione geometrica della bocca tarata e della gaveta.



Figura 4.1 – Ortofoto con sezioni rilevate a monte della traversa per modellazione cassa.



Figura 4.2 – Foto dettaglio bocca tarata e della gaveta.



4.2 Confluenza T. Senna e F. Elsa

Come il tratto a monte, anche la zona della confluenza tra T. Senna e F. Elsa non presenta una cartografia Lidar di riferimento. Per analizzare l'interazione tra i due corsi d'acqua e gli effetti sul tratto di valle si è realizzato un modello digitale del terreno ai fini della modellazione bidimensionale delle aree potenzialmente inondabili. Il modello del terreno è stato costruito sulla base di sezioni d'alveo rilevate o fornite da precedenti studi, cartografia 1:10000 e quote rilevate da questa società sui piani strada e gli attraversamenti collocati nelle aree inondabili.



Figura 4.2 – Ortofoto con sezioni e punti rilevati (giallo) e sezioni da studi precedenti (magenta) per modellazione area confluenza.

4.3 Cassa T. di Scarna

Sul T. Scarna è presente una cassa di espansione a monte dell'abitato di Gracciano dell'Elsa; la bocca tarata e la quota degli argini in prossimità della gaveta sono stati oggetto di rilievo specifico.

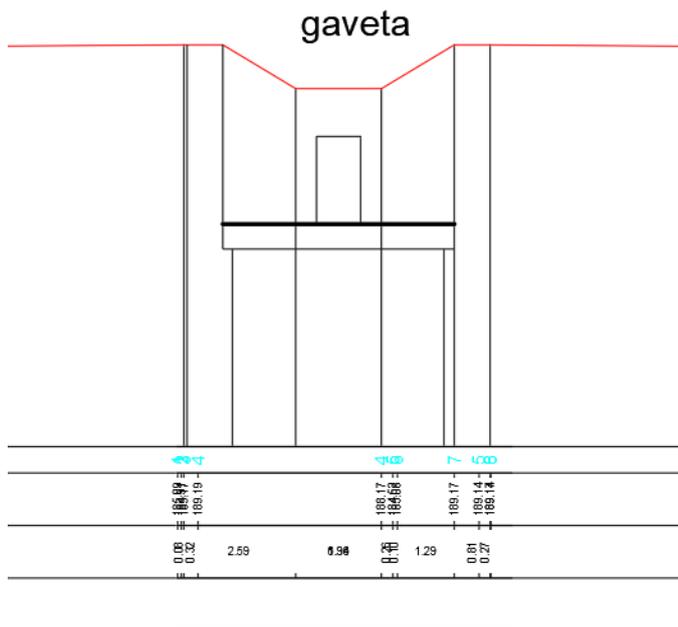


Figura 4.3 – Cassa T. Scarna. Bocca tarata d'uscita e gaveta.



5 ANALISI IDROLOGICA

La stima degli idrogrammi è stata impostata in funzione dei dati disponibili e dell'accuratezza degli stessi. In generale l'analisi idrologica è stata condotta attraverso una preliminare analisi geomorfologica e idrografica del reticolo e dei relativi sottobacini. Le grandezze ricavate sono state utilizzate nel modello di piena a parametri concentrati, basato sull'idrogramma unitario istantaneo di Nash, i cui parametri sono stati stimati attraverso metodi di regionalizzazione. La stima delle portate è eseguita con il metodo indiretto, ipotizzando cioè che il tempo di ritorno dei deflussi di piena sia lo stesso degli eventi meteorici utilizzati in ingresso al modello. Quest'ultimi sono stati ricavati dalle curve di possibilità pluviometrica delle stazioni pluviometriche della Regione Toscana aggiornate ai dati del 2012. Il modello è stato cimentato per vari tempi di ritorno con idrogrammi sintetici di varia durata, ciascuno ad intensità costante.

L'approccio metodologico utilizzato per la definizione degli input idrologici rispecchia quello utilizzato nello "Studio idrologico idraulico sul Fiume Elsa da Loc. Castiglioni (Comune di Poggibonsi) allo scolmatore (Comune Castelfiorentino)" trasmesso dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale all'Amministrazione Comunale di Colle Val D'Elsa. In tal modo, questo studio risulta coerente con quanto richiesto nella nota n.2187/2020 del 17.03.2020 dell'AdBDAS citata in premessa.

5.1 Analisi geomorfologica

Per tutti i bacini delle aree di studio è stata eseguita un'analisi geomorfologica sulla base del reticolo idrografico della Regione Toscana, approvato con D.C.R. 28/2020, e del modello digitale del terreno cluster 10x10 m. Tutti i rami del reticolo e le corrispondenti aree drenate sono stati gerarchizzati secondo il metodo Horton-Strahler. Per i bacini con ordine di Strahler maggiore o uguale a 3 sono stati quindi calcolati il numero delle aste fluviali, la lunghezza e l'area relativi ad ogni ordine gerarchico, nonché i rapporti di biforcazione (R_b), di lunghezza (R_l) e di area (R_a) attraverso regressione logaritmica. Sono stati inoltre determinati l'area del bacino (A) e la lunghezza media cumulata del reticolo (L_{mc}), calcolata come cumulata delle lunghezze medie per i vari ordini gerarchici.



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

$$N_U = R_b^{\omega-u}$$

$$\bar{L}_u = \bar{L}_1 R_l^{u-1}$$

$$\bar{A}_u = \bar{A}_1 R_a^{u-1}$$

dove:

ω = ordine massimo del reticolo;

N_u = numero delle aste di ordine u ;

\bar{L}_u = lunghezza media delle aste di ordine u ;

\bar{A}_u = area media sottesa da aste di ordine u .

5.2 Il modello idrologico generale

A seguito della preliminare analisi geomorfologica e idrografica del bacino e del reticolo idrografico di cui al precedente paragrafo, è stata condotta l'analisi idrologica per la stima degli idrogrammi di piena. Questi sono stati stimati attraverso il modello di piena concettuale a parametri concentrati, basato sull'idrogramma istantaneo unitario di Nash, di cui si riportano di seguito le linee principali.

5.2.1 Pluviometria

L'input meteorico è rappresentato da uno "ietogramma sintetico" la cui intensità viene stimata a partire dalle curve di possibilità climatica elaborate dalla Regione Toscana (aggiornate con dati al 2012), con regionalizzazione dei dati.

Il suddetto studio fornisce in formato raster con una maglia piuttosto spinta i valori di a ed n , per i diversi tempi di ritorno, della curva di possibilità pluviometrica. All'interno del bacino considerato, per il tempo di ritorno che si desidera, si ottiene l'altezza di pioggia dell'evento critico come media dei singoli valori della maglia ottenuti con la solita formula della curva di possibilità pluviometrica:

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



5.2.2 Pluviometria di progetto

Per quanto riguarda la definizione della pioggia di progetto, nella pratica ingegneristica vengono adottati ietogrammi cosiddetti "sintetici", tali cioè da non rappresentare il reale andamento dell'evento pluviometrico, ma in grado di introdurre nelle procedure di trasformazione afflussi-deflussi una variabilità temporale della pioggia che dia luogo a risultati che si possano ritenere cautelativi. La legge di distribuzione che si introduce rappresenta, in tal modo, quello che si definisce "ietogramma di progetto". Nella letteratura tecnica esistono diverse metodologie per la definizione del suddetto "ietogramma di progetto", mentre in molti paesi la scelta del tipo di ietogramma è fissata da apposite normative, cosa del tutto assente nel nostro paese.

Nel caso in esame, tra le varie procedure disponibili si è utilizzata quella basata su uno ietogramma costante per l'intera durata dell'evento. Questo pluviogramma, qualunque sia la sua durata, schematizza un evento di uguale intensità per la sua durata, con intensità pari a quella risultante dalle curve di possibilità pluviometrica sopra determinate.

5.2.3 Piogge Nette

La pioggia lorda così calcolata viene ragguagliata in funzione dell'area del bacino e della durata dell'evento meteorico. Si precisa che per il calcolo del coefficiente di ragguaglio areale, K_r , è stata utilizzata la formulazione suggerita nella Regionalizzazione delle Portate di Piena della Regione Toscana:

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

Dove:

α , β e γ sono i parametri della formula;

t [h] è la durata della precipitazione;

A [km²] è l'area del bacino.

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

$$\alpha = 0.036 \cdot a' \qquad \beta = 0.25 \qquad \gamma = 0.01$$

Dove a' è il parametro della curva di possibilità pluviometrica espresso nella forma trinomia:

$$h = a' \cdot t^{n'} \cdot T_r^{m'}$$



Dove a' , n' e m' sono i parametri, t [h] la durata dell'evento, T_r [anni] il tempo di ritorno e h [mm] l'altezza di pioggia. I parametri a' e n' differiscono da quelli della formulazione binomia sopra citata e pertanto sono calcolati con regressione sul campione generato dalla formula binomia al variare di t e T_r (30 e 200 anni).

Per la stima delle perdite (o "depurazione" delle piogge) è stato adottato il metodo di infiltrazione asintotico a soglia, che richiede la stima dei parametri I_a e K_s .

I parametri I_a e K_s , che rappresentano rispettivamente l'intercettazione iniziale ed il coefficiente di infiltrazione a saturazione per la depurazione idrologica, sono stati ricavati rispettivamente dall'analisi del Database di Uso del Suolo (tramite aggregazione di codici a livello gerarchico (100, 200, 300) e Geopedologico della Regione Toscana, calcolando per ciascun bacino i propri valori di riferimento. Una sintesi dei parametri idrologici utilizzati è riportata nella tabella seguente.

Il parametro I_a è stato calcolato in funzione della superficie boscata presente nel bacino secondo la relazione $I_a = 3.3 + 22 P_{sb}$ in accordo con la legenda riportata nella tabella seguente relativa alla cartografia dell'Autorità di Bacino del fiume Arno.

Codice	Descrizione	I_a
11	zone urbanizzate	3.3
12	Zone industriali, commerciali e reti di comunicazione	3.3
13	Zone estrattive, discariche e cantieri	3.3
14	Zone verdi artificiali non agricole	3.3
21	Seminativi	3.3
22	Colture permanenti	3.3
23	Prati stabili	3.3
24	Zone agricole eterogenee	3.3
31	Zone boscate	25.3
32	Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea	3.3
33	Zone aperte con vegetazione rada o assente	3.3
51	Acque continentali	3.3

Tabella 5.1: valori I_a per diversi usi del suolo



5.2.4 Idrogrammi di piena

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

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

dove:

$Q(t)$ è la portata defluente;

$p(t) = A \cdot i(t)$ con A area del bacino e $i(t)$ intensità di pioggia netta sul bacino;

$U(t)$ = idrogramma unitario per cui $\int_0^\infty U(t)dt = 1$

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

$$T_l = \int_0^\infty U(t)t dt$$

dove T_l viene detto "lag time" o tempo di ritardo.

Il modello di formazione dell'onda di piena adottato è quello dell'idrogramma unitario di tipo $\Gamma(n,k)$ introdotto da Nash e caratterizzato dal *parametro di forma* (n) e da quello di *scala* (k).

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

Dove $\Gamma(n)$ è la funzione gamma generalizzata che vale:

$$\Gamma(n) = \int_0^\infty x^{n-1} e^{-x} dx$$

In questo schema il tempo di ritardo è dato dal prodotto $n \cdot k$.

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

$$n = 3.29 (R_b/R_a)^{0.78} R_l^{0.07}$$

$$k = 0.7 [R_a/(R_b R_l)]^{0.48} L/v$$

$$T_l = 2.3 \left(\frac{R_b}{R_a}\right)^{0.3} R_l^{-0.41} \frac{L}{v}$$

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



dell'asta principale, R_b , R_l e R_a sono rispettivamente i rapporti di biforcazione, di lunghezza e di area del bacino considerato.

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

$$T_l = 0.42 \left(\frac{R_b}{R_a} \right)^{0.3} R_l^{-0.41} \frac{L_{mc}}{A^{0.075}}$$

dove, oltre ai simboli noti, L_{mc} è la lunghezza media cumulata del reticolo.

5.2.5 Tempo di corrivazione

Per valutare l'adeguatezza del tempo di ritardo ottenuto con il metodo geomorfologico della Regione Toscana si è proceduto ad un confronto con il T_1 ottenuto con un altro metodo. Per il tempo di ritardo o T_{lag} è stato calcolato mediante la formula:

$$T_{lag} = 0,6 \cdot \bar{T}_c$$

Essendo T_c e T_{lag} espressi in ore, dove per \bar{T}_c è stata considerata la media dei valori ricavati dalle formule esposte di seguito.

Per la determinazione del tempo di corrivazione sono state utilizzate:

- **Formula di Giandotti**

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H_{med}}}$$

Essendo T_c espresso in ore, S in km^2 ed essendo H_{med} l'altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura espressa in m e L la lunghezza del più lungo percorso idraulico del bacino espressa in km.

- **Formula di Viparelli**

$$T_c = \frac{L}{3,6 \cdot V}$$

Essendo T_c espresso in ore, L la lunghezza del più lungo percorso idraulico del bacino espressa in km e V una velocità compresa tra 1,0 e 1,5 m/s. Nei calcoli è stato adoperato il valore di 1,5 m/s.

- **Formula di Puglisi**

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



Essendo T_c espresso in ore, L la lunghezza del più lungo percorso idraulico del bacino espressa in km, H_{max} la massima altezza del bacino espressa in m e H_{min} l'altezza del bacino nella sezione di chiusura espressa in m.

- **Formula SCS**

$$T_c = \frac{0,571 \cdot L^{0,8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}}{i_{med\ bac}^{0,5}}$$

Essendo T_c espresso in ore, L la lunghezza del più lungo percorso idraulico del bacino espressa in km, i_{medbac} la pendenza media della superficie del bacino, espressa in termini percentuali (%).

5.2.6 Analisi idrologica del bacino del fiume Elsa

Il territorio del Comune di Colle Val d'Elsa è interamente contenuto nel bacino del fiume Elsa. Il bacino idrografico in esame, valutato alla sezione di chiusura in corrispondenza della confluenza con il torrente Staggia, possiede una superficie complessiva pari a circa 179 kmq. Il confine del bacino è stato tracciato a partire dal Modello Digitale del Terreno a maglia 10x10 m ricostruito sulla Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10.000.

All'interno del bacino principale sono stati individuati vari sottobacini facenti parte dello studio idraulico e riportati nelle tavole allegate.

È stato utilizzato il reticolo idrografico relativo al DCR 28/2020. Il reticolo è stato poi oggetto di classificazione geomorfologica secondo il criterio di Horton-Strahler ("gerarchizzazione"). Analogamente, sulla medesima base topografica di cui sopra, sono state gerarchizzate le aree di alimentazione afferenti a ciascun tratto del reticolo precedentemente gerarchizzato. La gerarchizzazione è visualizzabile nelle tavole allegate.

Attraverso questi primi passaggi sono stati stimati, per ciascun bacino o interbacino di interesse, i parametri di Nash " n " e " k " e i parametri di infiltrazione " I_a " e " k_s " con le modalità precedentemente esposte. Per verificare la congruenza dell'analisi, il tempo di ritardo geomorfologico è stato confrontato con altri metodi di letteratura, anch'essi esposti ai paragrafi precedenti. I valori dei parametri idrologici necessari per la determinazione dei tempi critici e, quindi del T_{lag} , di cui ai precedenti paragrafi (Curve Number, pendenze, etc) sono stati individuati mediante cartografie regionali scaricabili da Geoscopio. La sintesi delle analisi e dei valori ricavati è riportata nelle tabelle



successive. Si specifica che per gli interbacini i parametri di Nash sono stati individuati come di seguito:

- Si è determinato il T_{lag} geomorfologico riferito alla sezione di chiusura ($T_{lag\ valle}$)
- Si è determinato il T_{lag} geomorfologico riferito all'area complessiva dei bacini di monte afferenti all'interbacino ($T_{lag\ monte}$)
- Si è determinato il T_{lag} relativo all'interbacino ($T_{lag\ inter}$) come differenza dei T_{lag} di monte e valle: $T_{lag\ inter} = T_{lag\ valle} - T_{lag\ monte}$
- Si è assegnato il parametro "n" coincidente all'intero bacino alla sezione di chiusura
- Si è trovato il parametro "k" dell'interbacino dalla formula inversa: $k_{inter} = \frac{T_{lag\ inter}}{n}$

Bacino	ID	A [kmq]	Modello di infiltrazione		Trasformazione afflussi-deflussi	
			la [mm]	ks [mm/h]	n [-]	k [h]
Elsa monte	1	50.62	16.79	0.993	3.073	2.484
Senna	2	25.09	12.64	0.620	2.951	1.876
Botro ai Colli	4	4.21	6.19	0.499	2.767	1.007
Botro degli Strulli	5	17.51	8.53	0.459	3.194	1.962
Scarna	6	8.63	6.90	1.358	2.864	1.179
Bacino 7.1	7.1	0.35	4.81	2.442	3.218	0.168
Bacino 7.2	7.2	0.73	8.25	1.018	2.873	0.404
Doccina	8	3.60	4.41	0.272	3.029	0.810
Bacino 9	9	1.74	5.47	1.010	2.356	0.521
Botro Valle Bona	10.1	4.56	6.51	1.184	2.865	1.019
Ricorboli	10.2	2.50	4.66	0.56	3.284	0.554
Fornaci	11	2.90	11.79	0.831	2.760	0.629
Tegolaio	12	8.21	15.03	0.997	2.635	1.457
Molinaccio	13	5.94	15.11	0.960	2.694	1.215
Macchia Tonda	14	15.12	18.44	1.331	3.060	1.700
Valle Salda	15	2.70	12.57	0.755	2.893	0.245
Lisoia	16	3.61	8.93	1.071	2.707	0.706
Zona industriale	19.1	0.25	7.34	0.635	1.000	0.402
Botro del Convent	24.1	0.35	6.56	2.097	1.000	0.331
Interbacino 01	17	2.38	8.44	0.489	3.077	0.285
Interbacino 02	18	1.98	3.98	0.500	3.077	0.301
Interbacino 03	19	3.94	6.98	0.779	3.096	0.479
Interbacino 04	20	0.40	6.65	0.357	3.105	0.137
Interbacino 05	21	0.13	5.60	0.224	3.102	0.016
Interbacino 06	22	0.90	6.25	2.036	3.110	0.197
Interbacino 07	23	1.14	4.93	1.854	3.123	0.116
Interbacino 08	24	0.98	5.93	4.105	3.125	0.225
Interbacino 09	25	0.22	7.27	3.114	3.129	0.047
Interbacino 10	26	0.96	7.09	4.701	3.138	0.263
Amboiana	30	1.00	4.39	0.040	2.000	1.026

Tabella 5.2: parametri idrologici



Tabella 5.3: tabelle del T_{lag} ottenuti con vari metodi di letteratura e confronto con T_{lag} geomorfologico

DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE IDROLOGICHE									
Dati geometrici e di uso del bacino		ELSA monte			ID _01				
Sezione	S (km ²)	L (km)	H _{med} (m)	H _{max} (bac) (m)	H _{max} (asta) (m)	H _{min} (m)	ΔH (m)	imed asta	imed bacino (%)
Ingresso	50.62	14.79	349	684	559	188	370.76	0.025	17.29
Variazione del Curve Number in base alle condizioni pregresse di umidità del suolo									
CN I	CN II	CN III							
46	66	82							
Determinazione del tempo di corrivazione e del tempo di ritardo (espressi in ore)									
Sezione		Giandotti	Viparelli	Puglisi	SCS	Media	T _{lag}		
Ingresso		4.99	2.74	4.57	4.23	4.13	2.48		
Parametri idrogramma di Nash:									
n	k		Tl geomorfologico						
(-)	(h)	(min)	(h)	(min)					
3.073	0.81	48.49	2.48	149.03					

DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE IDROLOGICHE									
Dati geometrici e di uso del bacino		Torrente SENNA			ID _02				
Sezione	S (km ²)	L (km)	H _{med} (m)	H _{max} (bac) (m)	H _{max} (asta) (m)	H _{min} (m)	ΔH (m)	imed asta	imed bacino (%)
Ingresso	25.09	11.29	282	580	417	188	229.19	0.020	16.09
Variazione del Curve Number in base alle condizioni pregresse di umidità del suolo									
CN I	CN II	CN III							
54	73	86							
Determinazione del tempo di corrivazione e del tempo di ritardo (espressi in ore)									
Sezione		Giandotti	Viparelli	Puglisi	SCS	Media	T _{lag}		
Ingresso		4.75	2.09	4.13	2.92	3.47	2.08		
Parametri idrogramma di Nash:									
n	k		Tl geomorfologico						
(-)	(h)	(min)	(h)	(min)					
2.951	0.64	38.14	1.88	112.57					



DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

Dati geometrici e di uso del bacino Botro ai Colli ID _04

Sezione	S (km ²)	L (km)	H _{med} (m)	H _{max} (bac) (m)	H _{max} (asta) (m)	H _{min} (m)	ΔH (m)	imed asta	imed bacino (%)
Ingresso	4.21	4.58	223	296	273	178	95.34	0.021	11.09

Variazione del Curve Number in base alle condizioni pregresse di umidità del suolo

CN I	CN II	CN III
63	80	90

Determinazione del tempo di corrivazione e del tempo di ritardo (espressi in ore)

Sezione	Giandotti	Viparelli	Puglisi	SCS	Media	T _{lag}
Ingresso	2.80	0.85	3.38	1.39	2.10	1.26

Parametri idrogramma di Nash:

n (-)	k		Tl geomorfologico	
	(h)	(min)	(h)	(min)
2.767	0.36	21.83	1.01	60.41

DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

Dati geometrici e di uso del bacino Botro degli Strulli ID _05

Sezione	S (km ²)	L (km)	H _{med} (m)	H _{max} (bac) (m)	H _{max} (asta) (m)	H _{min} (m)	ΔH (m)	imed asta	imed bacino (%)
Ingresso	17.51	10.50	267	416	346	169	177.26	0.017	8.85

Variazione del Curve Number in base alle condizioni pregresse di umidità del suolo

CN I	CN II	CN III
63	80	90

Determinazione del tempo di corrivazione e del tempo di ritardo (espressi in ore)

Sezione	Giandotti	Viparelli	Puglisi	SCS	Media	T _{lag}
Ingresso	4.11	1.94	4.58	3.03	3.42	2.05

Parametri idrogramma di Nash:

n (-)	k		Tl geomorfologico	
	(h)	(min)	(h)	(min)
3.194	0.61	36.85	1.96	117.72



DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

Dati geometrici e di uso del bacino Torrente di Scarna ID _06

Sezione	S (km ²)	L (km)	H _{med} (m)	H _{max} (bac) (m)	H _{max} (asta) (m)	H _{min} (m)	ΔH (m)	imed asta	imed bacino (%)
Ingresso	8.63	5.53	218	293	245	167	78.38	0.014	6.73

Variazione del Curve Number in base alle condizioni pregresse di umidità del suolo

CN I	CN II	CN III
66	82	91

Determinazione del tempo di corrivazione e del tempo di ritardo (espressi in ore)

Sezione	Giandotti	Viparelli	Puglisi	SCS	Media	T _{lag}
Ingresso	3.51	1.02	3.74	1.95	2.56	1.53

Parametri idrogramma di Nash:

n	k		Tl geomorfologico	
	(-)	(h)	(h)	(min)
2.864	0.41	24.70	1.18	70.75

DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

Dati geometrici e di uso del bacino ID _07.1

Sezione	S (km ²)	L (km)	H _{med} (m)	H _{max} (bac) (m)	H _{max} (asta) (m)	H _{min} (m)	ΔH (m)	imed asta	imed bacino (%)
Ingresso	0.35	0.68	184	216	186	169	16.73	0.025	9.24

Variazione del Curve Number in base alle condizioni pregresse di umidità del suolo

CN I	CN II	CN III
66	82	91

Determinazione del tempo di corrivazione e del tempo di ritardo (espressi in ore)

Sezione	Giandotti	Viparelli	Puglisi	SCS	Media	T _{lag}
Ingresso	1.09	0.13	1.29	0.31	0.70	0.42

Parametri idrogramma di Nash:

n	k		Tl geomorfologico	
	(-)	(h)	(h)	(min)
3.218	0.05	3.13	0.17	10.09



DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

Dati geometrici e di uso del bacino									
ID _07.2									
Sezione	S (km ²)	L (km)	H _{med} (m)	H _{max} (bac) (m)	H _{max} (asta) (m)	H _{min} (m)	ΔH (m)	imed asta	imed bacino (%)
Ingresso	0.73	0.88	213	246	220	169	50.74	0.058	14.36

Variazione del Curve Number in base alle condizioni pregresse di umidità del suolo

CN I	CN II	CN III
66	82	91

Determinazione del tempo di corrivazione e del tempo di ritardo (espressi in ore)

Sezione	Giandotti	Viparelli	Puglisi	SCS	Media	Tlag
Ingresso	0.89	0.16	1.29	0.31	0.66	0.40

Parametri idrogramma di Nash:

n	k		TI geomorfologico	
(-)	(h)	(min)	(h)	(min)
2.873	0.14	8.44	0.40	24.26

DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

Dati geometrici e di uso del bacino									
fosso della DOCCINA ID _08									
Sezione	S (km ²)	L (km)	H _{med} (m)	H _{max} (bac) (m)	H _{max} (asta) (m)	H _{min} (m)	ΔH (m)	imed asta	imed bacino (%)
Ingresso	3.60	4.02	220	246	235	129	105.80	0.026	8.75

Variazione del Curve Number in base alle condizioni pregresse di umidità del suolo

CN I	CN II	CN III
68	83	92

Determinazione del tempo di corrivazione e del tempo di ritardo (espressi in ore)

Sezione	Giandotti	Viparelli	Puglisi	SCS	Media	Tlag
Ingresso	1.78	0.74	3.10	1.28	1.73	1.04

Parametri idrogramma di Nash:

n	k		TI geomorfologico	
(-)	(h)	(min)	(h)	(min)
3.029	0.27	16.04	0.81	48.58



DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

Dati geometrici e di uso del bacino ID **_09**

Sezione	S (km ²)	L (km)	H _{med} (m)	H _{max} (bac) (m)	H _{max} (asta) (m)	H _{min} (m)	ΔH (m)	imed asta	imed bacino (%)
Ingresso	1.74	2.42	196	242	229	119	110.30	0.045	17.70

Variazione del Curve Number in base alle condizioni pregresse di umidità del suolo

CN I	CN II	CN III
63	80	90

Determinazione del tempo di corrivazione e del tempo di ritardo (espressi in ore)

Sezione	Giandotti	Viparelli	Puglisi	SCS	Media	T _{lag}
Ingresso	1.27	0.45	2.17	0.66	1.14	0.68

Parametri idrogramma di Nash:

n (-)	k		Tl geomorfologico	
	(h)	(min)	(h)	(min)
2.356	0.22	13.26	0.52	31.25

DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

Dati geometrici e di uso del bacino Botro di VALLE BONA ID **_10.1**

Sezione	S (km ²)	L (km)	H _{med} (m)	H _{max} (bac) (m)	H _{max} (asta) (m)	H _{min} (m)	ΔH (m)	imed asta	imed bacino (%)
Ingresso	4.56	4.05	210	254	246	120	126.41	0.031	16.97

Variazione del Curve Number in base alle condizioni pregresse di umidità del suolo

CN I	CN II	CN III
59	77	89

Determinazione del tempo di corrivazione e del tempo di ritardo (espressi in ore)

Sezione	Giandotti	Viparelli	Puglisi	SCS	Media	T _{lag}
Ingresso	1.93	0.75	2.98	1.12	1.69	1.02

Parametri idrogramma di Nash:

n (-)	k		Tl geomorfologico	
	(h)	(min)	(h)	(min)
2.865	0.36	21.34	1.02	61.12



DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

Dati geometrici e di uso del bacino Botro di RICORBOLI ID _10.2

Sezione	S (km ²)	L (km)	H _{med} (m)	H _{max} (bac) (m)	H _{max} (asta) (m)	H _{min} (m)	ΔH (m)	imed asta	imed bacino (%)
Ingresso	2.50	3.39	227	266	248	124	124.15	0.037	10.05

Variazione del Curve Number in base alle condizioni pregresse di umidità del suolo

CN I	CN II	CN III
68	83	92

Determinazione del tempo di corrivazione e del tempo di ritardo (espressi in ore)

Sezione	Giandotti	Viparelli	Puglisi	SCS	Media	T _{lag}
Ingresso	1.40	0.63	2.59	1.04	1.42	0.85

Parametri idrogramma di Nash:

n (-)	k		Tl geomorfologico	
	(h)	(min)	(h)	(min)
3.284	0.17	10.12	0.55	33.23

DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

Dati geometrici e di uso del bacino Fosso delle FORNACI ID _11

Sezione	S (km ²)	L (km)	H _{med} (m)	H _{max} (bac) (m)	H _{max} (asta) (m)	H _{min} (m)	ΔH (m)	imed asta	imed bacino (%)
Ingresso	2.90	2.71	240	397	243	115	128.13	0.047	13.82

Variazione del Curve Number in base alle condizioni pregresse di umidità del suolo

CN I	CN II	CN III
59	77	89

Determinazione del tempo di corrivazione e del tempo di ritardo (espressi in ore)

Sezione	Giandotti	Viparelli	Puglisi	SCS	Media	T _{lag}
Ingresso	1.21	0.50	1.78	0.90	1.10	0.66

Parametri idrogramma di Nash:

n (-)	k		Tl geomorfologico	
	(h)	(min)	(h)	(min)
2.760	0.23	13.66	0.63	37.71



DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

Dati geometrici e di uso del bacino Fosso TEGOLAIO ID _12

Sezione	S (km ²)	L (km)	H _{med} (m)	H _{max} (bac) (m)	H _{max} (asta) (m)	H _{min} (m)	ΔH (m)	imed asta	imed bacino (%)
Ingresso	8.21	8.67	377	666	580	183	397.19	0.046	21.02

Variazione del Curve Number in base alle condizioni pregresse di umidità del suolo

CN I	CN II	CN III
50	70	84

Determinazione del tempo di corrivazione e del tempo di ritardo (espressi in ore)

Sezione	Giandotti	Viparelli	Puglisi	SCS	Media	T _{lag}
Ingresso	2.20	1.61	3.23	2.25	2.32	1.39

Parametri idrogramma di Nash:

n (-)	k		TI geomorfologico	
	(h)	(min)	(h)	(min)
2.635	0.55	33.18	1.46	87.45

DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

Dati geometrici e di uso del bacino Fosso MOLINACCIO ID _13

Sezione	S (km ²)	L (km)	H _{med} (m)	H _{max} (bac) (m)	H _{max} (asta) (m)	H _{min} (m)	ΔH (m)	imed asta	imed bacino (%)
Ingresso	5.94	7.29	297	634	577	178	398.60	0.055	15.40

Variazione del Curve Number in base alle condizioni pregresse di umidità del suolo

CN I	CN II	CN III
53	72	86

Determinazione del tempo di corrivazione e del tempo di ritardo (espressi in ore)

Sezione	Giandotti	Viparelli	Puglisi	SCS	Media	T _{lag}
Ingresso	2.37	1.35	2.93	2.17	2.20	1.32

Parametri idrogramma di Nash:

n (-)	k		TI geomorfologico	
	(h)	(min)	(h)	(min)
2.694	0.45	27.07	1.22	72.90



DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

Dati geometrici e di uso del bacino fosso MACCHIA TONDA ID _14

Sezione	S (km ²)	L (km)	H _{med} (m)	H _{max} (bac) (m)	H _{max} (asta) (m)	H _{min} (m)	ΔH (m)	imed asta	imed bacino (%)
Ingresso	15.12	7.43	384	657	519	179	340.25	0.046	17.58

Variazione del Curve Number in base alle condizioni pregresse di umidità del suolo

CN I	CN II	CN III
48	68	83

Determinazione del tempo di corrivazione e del tempo di ritardo (espressi in ore)

Sezione	Giandotti	Viparelli	Puglisi	SCS	Media	T _{lag}
Ingresso	2.33	1.38	2.92	2.29	2.23	1.34

Parametri idrogramma di Nash:

n (-)	k		TI geomorfologico	
	(h)	(min)	(h)	(min)
3.060	0.56	33.32	1.70	101.97

DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

Dati geometrici e di uso del bacino fosso di VALLE SALDA ID _15

Sezione	S (km ²)	L (km)	H _{med} (m)	H _{max} (bac) (m)	H _{max} (asta) (m)	H _{min} (m)	ΔH (m)	imed asta	imed bacino (%)
Ingresso	2.70	2.88	214	250	240	169	71.30	0.025	11.33

Variazione del Curve Number in base alle condizioni pregresse di umidità del suolo

CN I	CN II	CN III
54	73	86

Determinazione del tempo di corrivazione e del tempo di ritardo (espressi in ore)

Sezione	Giandotti	Viparelli	Puglisi	SCS	Media	T _{lag}
Ingresso	2.02	0.53	2.80	1.17	1.63	0.98

Parametri idrogramma di Nash:

n (-)	k		TI geomorfologico	
	(h)	(min)	(h)	(min)
2.893	0.24	14.70	0.71	42.52



DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

Dati geometrici e di uso del bacino **fosso LISOIA** **ID** **_16**

Sezione	S (km ²)	L (km)	H _{med} (m)	H _{max} (bac) (m)	H _{max} (asta) (m)	H _{min} (m)	ΔH (m)	imed asta	imed bacino (%)
Ingresso	3.61	2.89	199	246	225	111	113.15	0.039	17.29

Variatione del Curve Number in base alle condizioni pregresse di umidità del suolo

CN I	CN II	CN III
59	77	89

Determinazione del tempo di corrivazione e del tempo di ritardo (espressi in ore)

Sezione	Giandotti	Viparelli	Puglisi	SCS	Media	Tlag
Ingresso	1.60	0.53	2.38	0.84	1.34	0.80

Parametri idrogramma di Nash:

n (-)	k		Tl geomorfologico	
	(h)	(min)	(h)	(min)
2.707	0.26	15.65	0.71	42.35

DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

Dati geometrici e di uso del bacino **Fosso Zona Industriale** **ID** **_19.1**

Sezione	S (km ²)	L (km)	H _{med} (m)	H _{max} (bac) (m)	H _{max} (asta) (m)	H _{min} (m)	ΔH (m)	imed asta	imed bacino (%)
Ingresso	0.25	0.95	213	247	235	174	60.89	0.064	10.80

Variatione del Curve Number in base alle condizioni pregresse di umidità del suolo

CN I	CN II	CN III
59	77	89

Determinazione del tempo di corrivazione e del tempo di ritardo (espressi in ore)

Sezione	Giandotti	Viparelli	Puglisi	SCS	Media	Tlag
Ingresso	0.68	0.18	1.38	0.44	0.67	0.40

Parametri idrogramma di Nash:

n (-)	k		Tl geomorfologico	
	(h)	(min)	(h)	(min)
1.000	0.40	24.12	0.40	24.12



DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE IDROLOGICHE									
<i>Dati geometrici e di uso del bacino</i>									
BOTRO DEL CONVENTO ID _24.1									
Sezione	S (km ²)	L (km)	H _{med} (m)	H _{max} (bac) (m)	H _{max} (asta) (m)	H _{min} (m)	ΔH (m)	imed asta	imed bacino (%)
Ingresso	0.35	0.87	199	234	183	133	49.87	0.057	21.98
<i>Variatione del Curve Number in base alle condizioni pregresse di umidità del suolo</i>									
CN I	CN II	CN III							
57	75	87							
<i>Determinazione del tempo di corrivazione e del tempo di ritardo (espressi in ore)</i>									
Sezione		Giandotti	Viparelli	Puglisi	SCS	Media	T _{lag}		
Ingresso		0.56	0.16	1.18	0.30	0.55	0.33		
<i>Parametri idrogramma di Nash:</i>									
n	k		TI geomorfologico						
(-)	(h)	(min)	(h)	(min)					
1.000	0.33	19.84	0.33	19.84					

Per la stima degli idrogrammi sintetici la sollecitazione pluviometrica è stata stimata sulla base delle griglie delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica “a” ed “n” di cui alla pubblicazione “Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme” (Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell’Università degli Studi di Firenze – Regione Toscana, 2014).

Seguendo la procedura indicata nella “Guida all’Uso” fornita dalla Regione Toscana, sono state stimate le altezze di pioggia per le durate (1-2-3-4-5-7-9 ore) ed i tempi di ritorno (30 e 200 anni) di progetto.

Di seguito è mostrato un esempio della distribuzione dei parametri a ed n delle nuove L.S.P.P. fornite in formato raster su tutto il territorio regionale; le immagini si riferiscono ai parametri a ed n per il tempo di ritorno duecentennale. È riportato anche il perimetro della porzione di interesse del bacino del Fiume Elsa.

La pioggia lorda così calcolata, riportata in sintesi per ciascun sottobacino in esame nelle tabelle seguenti, è stata ragguagliata in funzione dell’area del bacino e della durata dell’evento meteorico, come specificato ai paragrafi precedenti

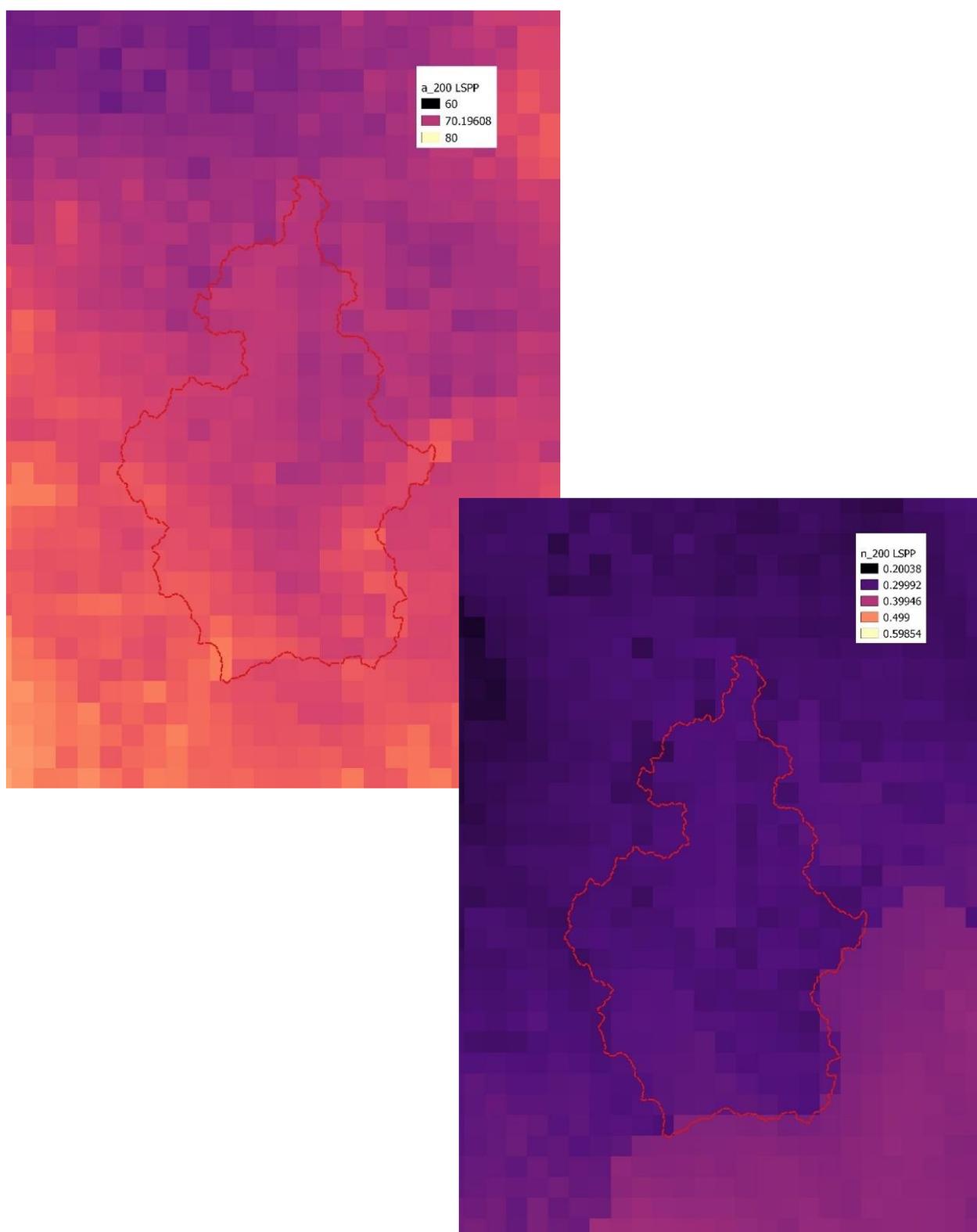


Figura 5.1: regionalizzazione LSPP Regione Toscana - distribuzione dei parametri a (in alto) e n (in basso) per Tr=200 anni



Tabella 5.4: altezze di pioggia lorda Tr 30 anni

Bacino	ID	Altezze di pioggia lorda Tr 30 anni						
		d=1h	d=2h	d=3h	d=4h	d=5h	d=7h	d=9h
Elsa monte	1	51.5	62.4	69.9	75.7	80.6	88.5	94.9
Senna	2	51.9	63.0	70.3	76.4	81.0	88.9	95.3
Botro ai Colli	4	50.7	61.3	68.5	74.1	78.7	86.3	92.4
Botro degli Strulli	5	51.3	61.7	68.7	74.2	78.7	86.0	92.0
Scarna	6	50.0	60.3	67.3	72.8	77.3	84.7	90.7
Bacino 7.1	7.1	50.1	60.2	67.3	72.4	77.2	84.4	90.3
Bacino 7.2	7.2	50.1	60.2	67.3	72.4	77.2	84.4	90.3
Doccina	8	50.6	61.0	67.9	73.5	77.9	85.2	91.2
Bacino 9	9	50.7	61.2	68.3	73.8	78.4	85.9	92.0
Botro Valle Bona	10.1	50.5	60.8	67.6	73.3	77.5	84.8	90.7
Ricorboli	10.2	50.5	60.8	67.6	73.3	77.5	84.8	90.7
Fornaci	11	50.5	61.1	67.8	73.7	77.8	85.2	91.2
Tegolaio	12	51.2	61.7	68.8	74.3	79.0	86.4	92.5
Molinaccio	13	50.6	61.3	68.0	73.8	78.0	85.4	91.3
Macchia Tonda	14	50.9	61.2	68.3	73.8	78.4	85.8	91.8
Valle Salda	15	50.7	61.2	68.4	73.9	78.6	86.1	92.2
Lisoia	16	50.2	60.8	67.5	73.3	77.4	84.7	90.7
Zona industriale	19.1	50.3	60.9	67.9	73.6	78.0	85.4	91.5
Botro del Convento	24.1	50.4	60.7	67.7	73.0	77.6	85.0	90.9
Interbacino 01	17	50.8	61.5	68.8	74.4	79.2	86.9	93.1
Interbacino 02	18	50.3	60.7	68.1	73.3	78.4	85.9	92.1
Interbacino 03	19	50.3	60.9	67.9	73.6	78.0	85.4	91.5
Interbacino 04	20	50.2	60.6	67.7	73.2	77.8	85.3	91.3
Interbacino 05	21	50.3	60.7	67.7	73.2	77.7	85.1	91.1
Interbacino 06	22	50.3	60.6	67.6	73.0	77.6	84.9	90.9
Interbacino 07	23	50.3	60.8	67.9	73.4	78.0	85.4	91.4
Interbacino 08	24	50.4	60.7	67.7	73.0	77.6	85.0	90.9
Interbacino 09	25	50.3	60.7	67.8	73.4	78.0	85.5	91.5
Interbacino 10	26	50.1	60.2	67.1	72.5	76.9	84.1	89.9
Amboiana	30	50.0	60.1	67.0	72.3	76.7	83.8	89.6



Tabella 5.5: altezze di pioggia lorda Tr 200 anni

Bacino	ID	Altezze di pioggia lorda Tr 200 anni						
		d=1h	d=2h	d=3h	d=4h	d=5h	d=7h	d=9h
Elsa monte	1	71.7	88.4	100.2	109.2	117.1	129.8	140.1
Senna	2	72.2	89.3	100.6	110.2	117.4	130.0	140.3
Botro ai Colli	4	70.6	86.8	98.0	106.8	114.2	126.2	136.1
Botro degli Strulli	5	71.3	87.4	98.3	106.9	114.1	125.9	135.5
Scarna	6	69.6	85.5	96.4	105.0	112.2	123.9	133.5
Bacino 7.1	7.1	69.8	85.2	96.3	104.4	111.9	123.5	133.0
Bacino 7.2	7.2	69.8	85.2	96.3	104.4	111.9	123.5	133.0
Doccina	8	70.4	86.4	97.2	106.0	113.0	124.7	134.3
Bacino 9	9	70.5	86.6	97.7	106.5	113.8	125.7	135.5
Botro Valle Bona	10.1	70.2	86.2	96.8	105.6	112.4	124.0	133.5
Ricorboli	10.2	70.2	86.2	96.8	105.6	112.4	124.0	133.5
Fornaci	11	70.2	86.5	97.1	106.2	112.9	124.6	134.2
Tegolaio	12	71.3	87.4	98.6	107.2	114.6	126.5	136.3
Molinaccio	13	70.4	86.9	97.3	106.5	113.1	124.9	134.5
Macchia Tonda	14	70.8	86.8	97.8	106.4	113.8	125.6	135.3
Valle Salda	15	70.5	86.7	97.8	106.5	113.9	126.0	135.8
Lisoia	16	69.9	86.1	96.6	105.7	112.3	124.0	133.5
Zona industriale	19.1	70.0	86.3	97.1	106.1	113.1	125.0	134.7
Botro del Convento	24.1	70.1	85.9	96.9	105.2	112.6	124.3	133.8
Interbacino 01	17	70.7	87.2	98.4	107.3	114.8	127.1	137.1
Interbacino 02	18	70.0	86.0	97.5	105.7	113.6	125.7	135.6
Interbacino 03	19	70.0	86.3	97.1	106.1	113.1	125.0	134.7
Interbacino 04	20	69.9	85.9	96.9	105.6	112.8	124.7	134.4
Interbacino 05	21	70.1	86.0	96.9	105.5	112.8	124.6	134.2
Interbacino 06	22	69.9	85.8	96.7	105.3	112.5	124.2	133.8
Interbacino 07	23	70.1	86.1	97.1	105.8	113.1	124.9	134.6
Interbacino 08	24	70.1	85.9	96.9	105.2	112.6	124.3	133.8
Interbacino 09	25	70.0	86.0	97.1	105.8	113.1	125.0	134.8
Interbacino 10	26	69.7	85.3	96.1	104.5	111.5	123.0	132.4
Amboiana	30	69.6	85.2	95.8	104.2	111.2	122.6	132.0



Tabella 5.6: coefficienti di ragguaglio

Bacino	ID	a'	n'	m'	α	β	γ	A spec (kmq)	A tot (kmq)	Ragguaglio al bacino specifico			Ragguaglio al bacino globale						
										Kr 1 h	Kr 2 h	Kr 3 h	Kr 1 h	Kr 2 h	Kr 3 h	Kr 4 h	Kr 5 h	Kr 7 h	Kr 9 h
ELSA MONTE 01	1	26.312	0.292	0.1923	0.947	0.250	0.010	50.62	179.00	0.846	0.871	0.886	0.660	0.724	0.761	0.782	0.798	0.822	0.839
Torrente Senna	2	26.657	0.289	0.1915	0.960	0.250	0.010	25.09	179.00	0.915	0.929	0.937	0.664	0.728	0.764	0.786	0.802	0.825	0.842
Botro ai Colli	4	26.009	0.286	0.1915	0.936	0.250	0.010	4.21	179.00	0.984	0.986	0.988	0.657	0.720	0.757	0.778	0.795	0.818	0.835
Botro degli Strulli	5	26.303	0.279	0.1915	0.947	0.250	0.010	17.51	179.00	0.938	0.948	0.954	0.660	0.724	0.760	0.782	0.798	0.821	0.838
Torrente di Scarna	6	25.649	0.284	0.1914	0.923	0.250	0.010	8.63	179.00	0.967	0.972	0.975	0.652	0.716	0.753	0.774	0.791	0.814	0.832
senza nome	7	25.674	0.281	0.1915	0.924	0.250	0.010	1.45	179.00	0.994	0.995	0.996	0.653	0.716	0.753	0.775	0.791	0.815	0.832
Fosso della Doccina	8	25.954	0.281	0.1915	0.934	0.250	0.010	3.60	179.00	0.986	0.988	0.990	0.656	0.720	0.756	0.778	0.794	0.818	0.835
senza nome	9	25.984	0.285	0.1914	0.935	0.250	0.010	1.74	179.00	0.993	0.994	0.995	0.656	0.720	0.757	0.778	0.794	0.818	0.835
Botro di Valle Bona	10	25.915	0.279	0.1915	0.933	0.250	0.010	7.13	179.00	0.973	0.977	0.980	0.656	0.719	0.756	0.777	0.794	0.817	0.834
Fosso delle Fornaci	11	25.942	0.281	0.1915	0.934	0.250	0.010	2.90	179.00	0.989	0.991	0.992	0.656	0.719	0.756	0.778	0.794	0.818	0.835
Fosso Tegoloio	12	26.253	0.282	0.1917	0.945	0.250	0.010	8.21	179.00	0.969	0.974	0.977	0.659	0.723	0.760	0.781	0.797	0.821	0.838
Fosso Molinaccio	13	26.016	0.281	0.1915	0.937	0.250	0.010	5.94	179.00	0.977	0.981	0.983	0.657	0.720	0.757	0.778	0.795	0.818	0.836
Fosso Macchia Tonda	14	26.047	0.282	0.1917	0.938	0.250	0.010	15.12	179.00	0.945	0.954	0.959	0.657	0.721	0.758	0.779	0.795	0.819	0.836
Fosso di Valle Salda	15	25.980	0.286	0.1915	0.935	0.250	0.010	2.70	179.00	0.990	0.991	0.992	0.656	0.720	0.757	0.778	0.794	0.818	0.835
Fosso Lisoia	16	25.823	0.281	0.1915	0.930	0.250	0.010	3.61	179.00	0.986	0.988	0.990	0.654	0.718	0.755	0.776	0.793	0.816	0.834
Interbacino 01	17	26.05	0.29	0.191452	0.938	0.250	0.010	2.38	179.00	0.991	0.992	0.993	0.657	0.721	0.758	0.779	0.795	0.819	0.836
Interbacino 02	18	25.77	0.29	0.191456	0.928	0.250	0.010	1.98	179.00	0.992	0.994	0.994	0.654	0.717	0.754	0.776	0.792	0.816	0.833
Interbacino 03	19	25.85	0.28	0.191454	0.931	0.250	0.010	4.19	179.00	0.984	0.986	0.988	0.655	0.718	0.755	0.777	0.793	0.817	0.834
Interbacino 04	20	25.77	0.28	0.191452	0.928	0.250	0.010	0.40	179.00	0.998	0.999	0.999	0.654	0.717	0.754	0.776	0.792	0.816	0.833
Interbacino 05	21	25.82	0.28	0.19146	0.930	0.250	0.010	0.13	179.00	0.999	1.000	1.000	0.654	0.718	0.755	0.776	0.793	0.816	0.833
Interbacino 06	22	25.78	0.28	0.191453	0.928	0.250	0.010	0.90	179.00	0.996	0.997	0.997	0.654	0.718	0.754	0.776	0.792	0.816	0.833
Interbacino 07	23	25.83	0.28	0.191449	0.930	0.250	0.010	1.14	179.00	0.996	0.996	0.997	0.654	0.718	0.755	0.776	0.793	0.816	0.834
Interbacino 08	24	25.83	0.28	0.191447	0.930	0.250	0.010	1.33	179.00	0.995	0.996	0.996	0.655	0.718	0.755	0.776	0.793	0.816	0.834
Interbacino 09	25	25.8	0.29	0.191448	0.929	0.250	0.010	0.22	179.00	0.999	0.999	0.999	0.654	0.718	0.755	0.776	0.792	0.816	0.833
Interbacino 10	26	25.69	0.28	0.191453	0.925	0.250	0.010	0.96	179.00	0.996	0.997	0.997	0.653	0.716	0.753	0.775	0.791	0.815	0.832
Amboiana	30	25.66	0.28	0.191455	0.924	0.250	0.010	1.00	179.00	0.996	0.997	0.997	0.653	0.716	0.753	0.997	0.997	0.997	0.997

Per la determinazione degli idrogrammi di piena è stato utilizzato il software HEC-HMS rel 4.5.

Nel software sono stati inseriti i vari sottobacini e interbacini individuati, assegnando ad ognuno i parametri idrologici e gli idrogrammi unitari di Nash calcolati. Ogni sottobacino produce degli idrogrammi di calcolo. Idrogrammi di diversi sottobacini possono confluire in un nodo e formare un nuovo idrogramma dato dalla somma lineare degli idrogrammi affluenti. L'idrogramma in uscita può propagarsi verso valle tramite un "reach".

Gli idrogrammi idrologici dei sottobacini così individuati andranno a costituire i dati di portata in ingresso ai rami del modello idraulico, mentre gli idrogrammi degli interbacini saranno inseriti come portate diffuse tra le sezioni lungo l'asta a cui essi si riferiscono. Le effettive valutazioni sulla propagazione dell'onda di piena verranno calcolate nel software di modellazione idraulica mediante le equazioni di De Saint Venant. Per valutare le portate al colmo nei nodi del modello idrologico è stato utilizzato all'interno dei "reach", in prima approssimazione, il metodo di propagazione del "lag time", secondo il quale l'idrogramma in entrata ad un elemento "reach" si trasmette inalterato nella forma al nodo di valle ma traslato di un tempo di ritardo, t_{lag} . Il t_{lag} utilizzato in ogni reach è stato considerato pari al t_{lag} geomorfologico degli interbacini a cui il reach è riferito.

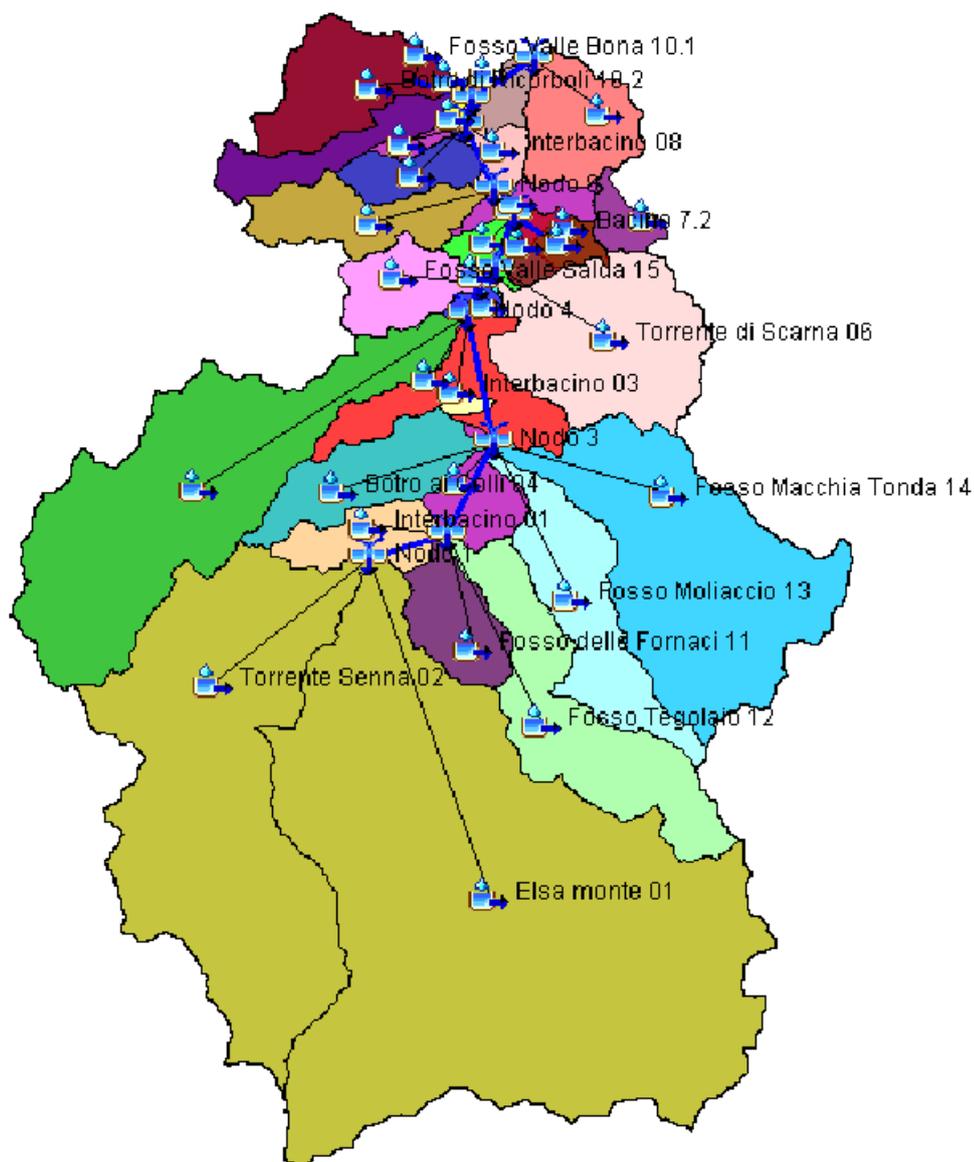


Figura 5.2: schema del bacino nel modello idrologico HEC-HMS

Sono stati determinati gli idrogrammi di calcolo:

- per i tempi di ritorno 30 e 200 anni e durata dell'evento 1, 2 e 3 ore utilizzando il coefficiente di ragguglio specifico per ogni bacino;
- per i tempi di ritorno 30 e 200 anni e durata dell'evento 1, 2, 3, 5, 7 e 9 ore utilizzando il coefficiente di ragguglio riferito alla sezione di chiusura del bacino.

Nelle tabelle seguenti è riportata una sintesi delle massime portate al colmo dei sottobacini per ogni evento.



Tabella 5.7: portate al colmo Tr 30 anni

Bacino	Tr 30 anni kr specifico			Tr 30 anni kr chiusura					
	d=1h	d=2h	d=3h	d=1h	d=2h	d=3h	d=5h	d=7h	d=9h
Elsa monte 01	119.7	158.4	173.4	76.9	119.6	140.4	143.4	127.2	109.2
Torrente Senna 02	100.3	119.4	118.8	62.9	87.1	93.6	82.4	68.5	58.0
Nodo 1	213.9	271.1	287.6	135.8	201.9	229.6	224.4	195.4	167.2
Tratto 1-2	213.7	270.4	287.1	135.4	201.2	229.5	224.4	195.4	167.1
Fosso Tegolaio 12	39.9	44.9	42.4	21.6	30.2	31.4	26.0	20.8	17.3
Fosso delle Fornaci 11	30.0	23.3	17.4	17.4	16.6	13.1	9.3	7.4	6.1
Interbacino 01	32.8	19.9	14.7	21.5	14.4	11.1	8.0	6.4	5.4
Nodo 2	242.9	305.8	325.2	151.2	224.9	256.7	256.9	228.3	195.7
Tratto 2-3	242.6	305.7	324.5	150.8	224.3	256.5	256.5	227.8	195.6
Fosso Macchia Tonda 14	56.6	68.7	68.6	28.7	44.7	49.8	44.7	36.3	30.2
Fosso Moliaccio 13	33.9	36.8	32.6	18.1	24.6	24.0	18.8	14.8	12.4
Botro ai Colli 04	35.0	31.7	25.5	21.9	22.6	19.3	14.0	11.2	9.4
Interbacino 02	27.1	16.3	12.1	17.7	11.7	9.1	6.6	5.2	4.4
Nodo 3	314.4	394.4	424.4	187.6	281.3	324.5	332.3	293.7	251.7
Tratto 3-4	314.3	394.3	424.1	187.4	281.1	324.3	332.2	293.5	251.5
Botro degli Strulli 05	77.7	87.7	85.6	49.7	64.1	66.4	56.9	46.7	39.5
Interbacino 03	49.1	32.1	23.6	31.3	23.1	17.9	12.7	10.1	8.4
Nodo 4	375.3	466.1	502.4	224.9	330.4	381.7	388.7	346.0	299.3
Tratto 4-5	375.2	465.8	501.6	224.5	330.0	381.5	388.3	345.8	299.0
Fosso Valle Salda 15	25.8	21.5	16.4	15.0	15.2	12.3	8.8	7.0	5.9
Interbacino 04	5.5	3.3	2.5	3.6	2.4	1.9	1.3	1.1	0.9
Nodo 5	375.9	467.2	504.3	224.8	330.6	383.5	391.7	352.4	305.7
Tratto 5-6	375.5	467.1	504.1	224.6	330.4	383.0	391.7	352.4	305.6
Torrente di Scarna 06	59.9	57.2	47.7	37.1	40.5	35.9	26.0	20.3	16.9
Interbacino 05	1.8	1.1	0.8	1.2	0.8	0.6	0.4	0.3	0.3
Nodo 6	391.3	489.6	528.8	232.8	342.4	400.5	412.4	372.3	322.8
Tratto 6-7	391.2	489.2	527.6	232.5	342.1	400.1	412.3	372.2	322.7
Bacino 7.2	9.1	5.6	4.0	5.6	3.9	2.9	2.0	1.5	1.2
Bacino 7.1	4.7	2.8	2.1	3.1	2.0	1.5	1.1	0.9	0.7
Reach Bacino 7	13.4	8.4	6.1	8.2	5.9	4.5	3.1	2.4	1.9
Interbacino 06	12.0	7.0	5.1	7.7	4.9	3.7	2.6	2.0	1.6
Interbacino 7.3	4.7	2.7	1.9	3.0	1.8	1.3	0.9	0.6	0.5
Nodo 7	391.2	489.2	527.7	232.5	342.1	400.1	412.8	374.6	326.1
Tratto 7-8	390.2	488.6	527.7	232.2	341.9	399.3	412.6	374.3	325.8
Fosso della Doccina 08	36.6	29.1	22.1	23.6	23.6	16.8	12.1	9.7	8.2
Interbacino 07	15.3	9.0	6.6	9.8	6.3	4.8	3.3	2.6	2.1
Nodo 8	391.4	490.6	531.2	232.8	342.0	401.0	418.3	383.8	336.0
Tratto 8-9	390.9	490.2	530.0	232.0	341.5	400.8	418.1	383.7	335.8
Bacino 09	21.0	14.2	10.4	13.4	10.1	7.8	5.5	4.4	3.6
Interbacino 08	12.6	7.1	5.0	7.9	4.8	3.5	2.2	1.6	1.2
Botro del Convento 24.1	4.3	2.7	2.0	2.7	1.9	1.5	1.0	0.8	0.6
Nodo 9	390.9	490.3	530.3	232.0	341.6	400.9	419.0	387.8	340.5
Tratto 9-10	390.8	489.3	529.2	232.0	341.0	400.2	418.7	387.2	340.3
Fosso Valle Bona 10.1	36.2	32.8	26.1	22.7	23.4	19.8	14.1	11.0	9.1
Botro di Ricorboli 10.2	30.6	20.2	15.0	20.1	14.8	11.5	8.2	6.5	5.4
Reach Valle Bona 10	63.6	52.7	41.0	40.6	38.0	31.2	22.2	17.5	14.6
Interbacino 09	2.9	1.7	1.2	1.8	1.1	0.8	0.6	0.4	0.3
Interbacino 10.3	0.9	0.5	0.4	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1
Nodo 10	393.2	493.8	535.0	233.1	343.1	403.7	427.9	403.7	355.3
Tratto 10-11	393.0	493.0	534.5	232.8	342.9	402.7	427.5	403.0	354.8
Fosso Zona industriale 19.1	3.0	2.0	1.5	1.9	1.4	1.1	0.8	0.6	0.5
Fosso Lisoia 16	35.5	28.2	21.2	21.6	20.0	15.9	11.2	8.8	7.3
Interbacino 10	12.0	6.7	4.7	7.4	4.5	3.2	2.0	1.4	1.0
Nodo 11	393.2	493.3	535.2	232.9	343.1	403.0	430.4	410.0	362.1
Bacino Amboiana	8.0	7.3	6.0	5.0	5.2	6.0	4.2	3.3	2.8



Tabella 5.8: portate al colmo Tr 200 anni

Bacino	Tr 200 anni kr specifico			Tr 200 anni kr chiusura					
	d=1h	d=2h	d=3h	d=1h	d=2h	d=3h	d=5h	d=7h	d=9h
Elsa monte 01	196.2	252.4	272.6	136.7	198.9	226.3	223.0	195.6	169.3
Torrente Senna 02	153.5	180.6	177.7	101.6	135.7	141.7	123.3	102.0	87.2
Nodo 1	341.7	424.3	444.7	232.1	327.2	363.1	345.1	297.6	256.5
Tratto 1-2	340.9	423.9	443.2	231.9	326.9	362.2	344.6	297.4	256.4
Fosso Tegolaio 12	62.0	68.3	63.3	36.9	47.8	47.9	39.0	31.5	26.6
Fosso delle Fornaci 11	44.5	33.5	25.2	27.2	24.0	19.0	13.8	11.1	9.4
Interbacino 01	45.8	28.3	21.2	30.2	20.5	16.1	11.7	9.5	8.1
Nodo 2	386.6	479.2	502.3	258.3	364.3	405.7	397.5	348.0	300.3
Tratto 2-3	385.8	478.6	502.3	258.2	364.2	404.8	397.3	347.1	300.2
Fosso Macchia Tonda 14	92.4	108.5	105.6	53.6	75.4	80.0	68.5	56.0	47.1
Fosso Moliaccio 13	52.7	55.4	48.3	30.8	38.6	36.3	28.0	22.5	19.0
Botro ai Colli 04	50.3	45.5	36.8	32.2	32.8	28.0	20.6	16.7	14.2
Interbacino 02	37.8	23.2	17.5	24.8	16.7	13.2	9.6	7.8	6.6
Nodo 3	500.4	619.3	660.0	322.9	458.3	518.3	513.7	448.8	386.9
Tratto 3-4	500.0	618.8	659.8	322.4	457.6	518.1	513.3	448.5	386.7
Botro degli Strulli 05	114.6	129.7	126.0	75.8	96.0	98.8	84.0	69.4	59.1
Interbacino 03	69.5	45.8	34.2	45.3	33.1	26.0	18.8	15.1	12.8
Nodo 4	590.4	727.1	777.6	380.4	534.0	607.4	599.1	529.1	458.8
Tratto 4-5	589.8	726.3	775.6	379.4	533.3	606.6	598.5	529.0	458.5
Fosso Valle Salda 15	38.0	31.0	23.7	23.4	22.1	17.9	13.0	10.5	8.9
Interbacino 04	7.7	4.7	3.6	5.0	3.4	2.7	1.9	1.6	1.3
Nodo 5	591.0	729.5	779.8	379.8	534.8	609.6	605.6	539.2	468.7
Tratto 5-6	590.4	728.8	779.6	379.7	534.4	609.2	605.6	538.9	468.7
Torrente di Scarna 06	87.1	83.5	69.9	55.7	59.9	53.1	39.3	31.2	26.4
Interbacino 05	2.5	1.5	1.2	1.6	1.1	0.9	0.6	0.5	0.4
Nodo 6	612.9	764.1	820.0	392.9	555.0	635.8	640.5	570.7	495.5
Tratto 6-7	612.9	764.0	818.9	391.9	554.7	635.2	640.0	570.2	495.4
Bacino 7.2	13.0	8.1	6.0	8.2	5.7	4.4	3.1	2.4	2.0
Bacino 7.1	6.6	4.0	3.0	4.3	2.9	2.3	1.6	1.3	1.1
Reach Bacino 7	19.1	12.1	9.0	12.1	8.6	6.7	4.7	3.7	3.1
Interbacino 06	16.9	10.2	7.5	10.9	7.2	5.6	4.0	3.1	2.6
Interbacino 7.3	6.7	4.0	2.9	4.3	2.7	2.1	1.4	1.1	0.9
Nodo 7	612.9	764.0	819.2	391.9	554.7	635.2	641.4	575.3	501.5
Tratto 7-8	611.7	762.1	817.9	391.8	554.1	634.6	640.6	575.1	501.1
Fosso della Doccina 08	51.9	41.4	31.7	33.7	30.0	24.2	17.7	14.3	12.2
Interbacino 07	21.5	13.0	9.6	13.9	9.2	7.1	5.1	4.0	3.4
Nodo 8	613.5	766.0	822.9	392.5	556.1	638.4	651.4	591.3	516.7
Tratto 8-9	612.3	765.3	822.5	391.4	555.1	636.8	650.8	590.2	516.5
Bacino 09	29.8	20.3	15.2	19.2	14.5	11.4	8.2	6.6	5.6
Interbacino 08	17.9	10.6	7.7	11.4	7.3	5.5	3.7	2.8	2.3
Botro del Convento 24.1	6.2	3.9	2.9	3.9	2.8	2.2	1.5	1.2	1.0
Nodo 9	612.3	765.4	822.9	391.4	555.2	637.2	652.9	598.2	524.7
Tratto 9-10	612.2	764.7	821.7	390.8	555.1	636.6	652.4	597.9	524.5
Fosso Valle Bona 10.1	52.5	47.6	38.1	33.6	34.3	29.1	21.1	16.8	16.8
Botro di Ricorboli 10.2	43.1	28.8	21.6	28.6	21.1	16.6	12.0	9.7	8.2
Reach Valle Bona 10	91.1	76.1	59.7	59.2	55.1	45.6	33.1	26.5	25.0
Interbacino 09	4.1	2.4	1.8	2.6	1.7	1.3	0.9	0.7	0.6
Interbacino 10.3	1.3	0.8	0.6	0.9	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2
Nodo 10	615.5	771.1	831.0	392.4	558.4	642.0	671.1	623.2	534.6
Tratto 10-11	615.2	768.9	829.1	392.2	557.7	641.9	670.9	623.0	534.4
Fosso Zona industriale 19.1	4.2	2.8	2.1	2.7	2.1	1.6	1.2	1.0	0.8
Fosso Lisoia 16	51.2	40.7	30.8	32.4	29.1	23.2	16.8	13.4	11.3
Interbacino 10	17.2	10.1	7.3	10.8	6.9	5.2	3.4	2.6	2.0
Nodo 11	615.4	769.6	830.5	392.3	558.0	642.6	677.9	634.4	547.4
Bacino Amboiana	11.4	10.5	8.6	7.2	7.5	8.6	6.1	4.8	4.1



6 ANALISI IDRAULICA

6.1 Descrizione della modellazione idraulica

Le modellazioni idrauliche sono state condotte per mezzo del codice di calcolo HEC-RAS 5.0.7, sviluppato dall'US Army Corps of Engineer, per le aste fluviali nei tratti naturali sia nelle modellazioni 1D e 2D.

La modellazione è stata eseguita utilizzando le portate di piena ricavate dalle modellazioni idrologiche con HEC-HMS descritta in precedenza.

Le modellazioni idrauliche sono state condotte secondo uno schema monodimensionale in moto vario (*unsteady flow*), simulando il deflusso delle portate di piena all'interno degli alvei fluviali oggetto del presente studio.

Nei casi di superamento del livello dell'acqua dei limiti arginali (laddove presenti) o topografici delle sezioni rilevate utilizzate per le modellazioni monodimensionali, si sono svolte delle modellazioni bidimensionali sempre con HEC-RAS. Laddove i fenomeni esondativi hanno interessato aree non confinate, tali da non poter immagazzinare i volumi idrici provenienti dal corso d'acqua, sono state inserite delle *storage area* all'interno delle quali il problema del flusso è schematizzato come bidimensionale, in modo da simulare le dinamiche di allagamento di tali aree.

I dati di input che sono stati richiesti per la simulazione idraulica sono:

- dati geometrici: forma delle sezioni trasversali d'alveo con relativa progressiva, eventuali sistemi di arginatura e manufatti idraulici;
- caratterizzazione idraulica: indici di scabrezza;
- dati di flusso: idrogrammi di piena per TR=30 e 200 anni e condizioni al contorno.

La perimetrazione delle aree allagate, per le aree ed i modelli sopra descritti, è stata effettuata, dove possibile, sulla base del rilievo LIDAR realizzato dalla Regione Toscana con maglia 1m x 1m, altrimenti è stata utilizzata la Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:2.000 o in scala 1:10.000, a seconda della copertura disponibile per i vari strati informativi, integrata con rilievi in loco, quando necessari.



6.2 Modellazioni idrauliche monodimensionali con Hec-Ras 5.0.7

Per ciascun corso d'acqua oggetto di studio è stato sviluppato anzitutto un modello idraulico monodimensionale con il codice di calcolo HEC-RAS 5.0.7 e per ciascun tempo di ritorno di interesse (30 e 200 anni) è stata effettuata una simulazione in moto vario.

In questa sede, si preferisce omettere l'illustrazione teorica dei principi di base sui quali si fonda la soluzione numerica delle equazioni di moto e di continuità che regolano il processo di moto permanente e di moto vario, in quanto una esaustiva trattazione degli stessi argomenti è liberamente disponibile in rete all'indirizzo <http://www.hec.usace.army.mil> e si rimanda due pubblicazioni *Hydraulic Reference Manual* e *User's Manual* messe a disposizione direttamente dall'US Army Corps of Engineering.

Il codice HEC-RAS, al fine di seguire il calcolo, necessita, oltre della geometria dell'alveo tramite l'inserimento delle sezioni rilevate (*cross section*), di definire il valore del coefficiente di Manning.

Per i dettagli relativi a ciascun corso d'acqua si rimanda agli allegati delle sezioni dei modelli, in generale per gli affluenti del Fiume Elsa, si sono assunti valori medi del *Manning*, desunti dal Manuale di Hec-Ras e dal *Manuale dell'Ingegnere civile e ambientale* (Hoepli, 2015) pari a:

- 0.06 s/m^{1/3} corrispondente a un valore intermedio per "golene con sottobosco" nel caso di aree golenali in tratti non arginati, quali sono quelli oggetto di studio.
- 0.035 s/m^{1/3} corrispondente a un valore intermedio per "fiumi di montagna con fondo in ghiaia, ciottoli e pochi massi, lati ripidi" e "canali in terra sinuosi e lenti con folta vegetazione".

Per il Fiume Elsa sono stati utilizzati valori di *Manning* maggiormente cautelativi, si è voluto infatti tenere conto che il corso d'acqua attraversa aree fortemente vegetate come quelle del parco fluviale Sentierelsa. I valori assunti sono pari a:

- 0.08 s/m^{1/3} nel caso di aree golenali in tratti non arginati, quali sono quelli oggetto di studio.
- 0.04 s/m^{1/3} per l'alveo.

Al fine di rendere eseguibili le simulazioni, occorre definire le *boundary conditions* a monte e a valle del tratto studiato nel caso di simulazioni in moto vario. Com'è noto tali condizioni possono essere impostate in vari modi: livello idrico noto, altezza critica, altezza di moto uniforme o scala di deflusso. Nel caso in esame, quali condizioni al contorno di monte sono stati assunti gli idrogrammi



di piena; per la condizione di valle sul F. Elsa, invece, si è utilizzata una *normal depth* calcolata dalla pendenza d'alveo valutata nella zona terminale del tratto studiato.

Per le aree potenzialmente inondali, modellate in bidimensionale, si è considerato un *Manning* pari a:

- $0.06 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$ corrispondente a un valore intermedio per "golene con sottobosco/ aree coltivate/con molti alberi.

6.3 Modellazioni idrauliche bidimensionali Hec-Ras 5.0.7

Il software HEC-RAS ha la capacità di eseguire uno schema di modellazione bidimensionale all'interno della simulazione condotta in regime di moto vario. Nel presente studio, per i tratti in cui fosse necessario l'impiego di modelli 2D per la determinazione delle aree allagate, si è infatti svolto una modellazione in moto vario con schema monodimensionale (1D) combinato anche con uno schema bidimensionale (2D) con l'aggiunta di aree 2D (*2D-flow area*) nel modello. Tale area 2D viene aggiunta nel modello 1D disegnando un poligono connesso al *river* attraverso l'uso di uno sfioratore laterale (*lateral structure*).

Il codice di calcolo consente di risolvere il problema bidimensionale del moto sia risolvendo le equazioni complete di Saint Venant o di diffusione dell'onda in 2D. In generale, le equazioni di diffusione dell'onda (scelte ai fini del presente studio) consentono al codice di funzionare più velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità numerica. L'algoritmo di risoluzione è "*ai volumi finiti*" ed è "accoppiato" a quello di risoluzione del problema monodimensionale nello stesso passo temporale di calcolo. Questo permette una perfetta coerenza a ogni passo temporale tra le componenti monodimensionali e quelli bidimensionali. L'equazione dello stramazzo è utilizzata per calcolare il deflusso tra le sezioni del corso d'acqua modellato e la *2D-flow area*.

HEC-RAS 5.0.7 funziona per celle, che però possono essere sia strutturate che non strutturate. Ciò significa che le celle computazionali possono essere triangoli, quadrate, rettangolari o anche elementi a cinque e sei facce (ma non più di 8). La maglia può essere una miscela di forme e dimensioni delle celle (Figura 5.1). Il contorno esterno della maglia computazionale è definito, invece, con un poligono. Generalmente, come si nota in Figura 5.1, il software crea delle celle di forma quadrata nella zona centrale, mentre in prossimità del contorno esterno la *mesh* si adatta al profilo dell'area.

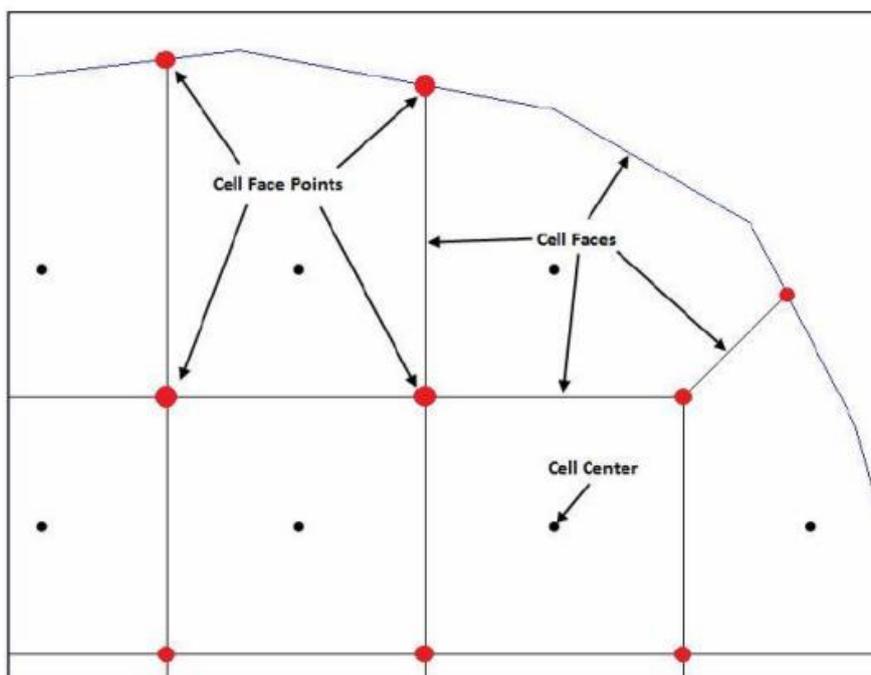


Figura 5.1 - Esempio mesh computazionale HEC-RAS 5.0.7

Si noti inoltre come ogni *cell center*, *cell face* e *cell face point* è identificato da un numero, in modo da facilitare l'operazione di analisi e visualizzazione dei risultati.

Il più grande vantaggio della modellazione bidimensionale in HEC-RAS riguarda comunque la dimensione della mesh computazionale. Ogni cella viene infatti pre-processata in modo da creare una serie di tabelle idrauliche, che mettono in relazione l'elevazione e il volume e, su ogni lato della cella, l'elevazione con il perimetro bagnato, l'area e la scabrezza. Queste curve permettono di utilizzare celle di dimensioni più grandi rispetto ad altri programmi 2D, con evidente diminuzione dei tempi computazionali.

Ad ogni modo, in una simulazione di moto vario bidimensionale, il parametro più significativo da considerare è l'intervallo computazionale ΔT , che deve essere scelto con accuratezza in modo da non influenzare negativamente l'esito delle analisi. Generalmente questo valore viene valutato basandosi sul criterio di Courant, esprimibile, nel caso di impiego del set di equazioni *diffusive wave*, nella maniera seguente:

$$C = \frac{V \Delta T}{\Delta X} \leq 2$$



essendo C il numero di Courant, V la velocità massima dell'acqua, ΔT il tempo di calcolo e ΔX la dimensione media delle celle.

Infine, occorre sottolineare che il software computa la velocità della corrente nei nodi della griglia, mentre il livello idrico è calcolato nel *cell center* della griglia stessa.



7 RISULTATI DELLE MODELLAZIONI IDRAULICHE

La descrizione qui riportata delle varie modellazioni idrauliche, è articolata secondo lo schema seguente, rimandando agli allegati di HEC-RAS per le informazioni di dettaglio:

- Descrizione generale dell'area e dei tratti del corso d'acqua oggetto di studio;
- Tipo di modellazione effettuata (mono-dimensionale in moto vario oppure mono-dimensionale in moto vario con sfioratori laterali e settori di allagamento con HEC-RAS 5.0.7.).
- Descrizione delle condizioni al contorno imposte e peculiarità del modello.
- Descrizione sintetica dei risultati più significativi

Per quel che riguarda gli input idrologici utilizzati nei modelli HEC-RAS, si è utilizzato quelli calcolati nei precedenti capitoli. Nello specifico con durate di pioggia da 1 a 3 ore, per gli affluenti del F. Elsa oggetto di modellazione si è utilizzato input riferiti a valori del coefficiente di ragguglio Kr “singolo”, cioè riferiti all'area dei singoli bacini in modo da massimizzarne gli effetti per gli scenari d'alluvione considerati, mentre per il F. Elsa, T. Senna e gli input di affluente non modellati si è fatto riferimento a valori del coefficiente di ragguglio Kr “globale”, cioè riferiti all'intero bacino del Fiume Elsa considerato. Nelle durate di pioggia da 5 a 7 ore si è, invece, fatto per tutti gli input idrologici valori del coefficiente di ragguglio Kr “globale”.

Non si è ritenuto necessario modellare la durata 9h, malgrado questa sia stata determinata nell'analisi idrologica, in quanto ritenuta non incisiva per la determinazione delle aree a pericolosità d'alluvione (si ricorda che per il F. Elsa la durata critica individuata è di 5h).

Laddove nello studio bidimensionale dei singoli affluenti dell'Elsa si sono constatate potenziali interazioni dei deflussi superficiali, i modelli sono stati inglobati nel modello del Fiume Elsa. In alcuni casi, per ottimizzare le simulazioni, i modelli di alcuni affluenti sono stati considerati a sé e sono state opportunamente valutate le condizioni di valle e di monte per tenere in considerazione delle interazioni.

L'area di studio risulta quindi suddivisa nei seguenti modelli:

- “Elsa”
- “Doccina”
- “Sant'Agostino_Convento”
- “Amboiana”



7.1 Modello “Elsa”

Descrizione Generale

Il modello comprende il tratto del Fiume Elsa dai pressi della località “Paurano” fin poco a valle dell’abitato di Colle di Val d’Elsa, in località Castiglioni. Il corso d’acqua si sviluppa da Sud a Nord, il tratto a monte scorre parallelamente alla SP541 e lambisce aree in prevalenza agricole. Nel tratto iniziale si trova il maggiore affluente, T. Senna, il quale presenta una cassa di espansione in linea poco a monte della confluenza con il F. Elsa. Proseguendo verso valle si trova la cassa di espansione S. Giulia sul F. Elsa. Si tratta di una cassa in derivazione in destra idraulica, presenta una soglia con quota di sfioro pari a 184.2 m s.l.m. e lunghezza pari a 35 m. Lo scarico di fondo presenta una sezione di 1.5 x 1.5 m a quota 180 m s.l.m.

A valle della cassa si trova l’area industriale, Pian dell’Olmino, in cui sono stati studiati anche Botro ai Colli e Fosso podere Valli, affluenti in sinistra del F. Elsa.

Avanzando verso Nord, il F. Elsa attraversa la località Gracciano dell’Elsa, urbanizzata con carattere residenziale e industriale. L’abitato è interessato anche da Botro degli Strulli e T. Scarna, affluenti del F. Elsa rispettivamente di sinistra e destra. Sul T. Scarna è presente una cassa di espansione in linea con bocca tarata e arginatura perimetrale.

A valle, in località San Marziale, inizia il parco fluviale del F. Elsa, denominato “Sentierelsa”, che si sviluppa attraversando l’abitato di Colle di Val d’Elsa. L’alveo in quest’area presenta sezioni maggiori e aree golenali fortemente vegetate mentre i piani strada adiacenti si trovano a quote superiori. In questo tratto si ha un notevole incremento di pendenza d’alveo, in particolare nel primo tratto sono presenti due salti di circa 10 metri l’uno, il primo è determinato dallo scivolo a valle del Ponte di San Marziale, il secondo dalla così detta Cascata del Diborrato. In questo tratto è presente anche il Fosso di S. Marziale, affluente in sinistra del F. Elsa.

A Nord, nella parte terminale del tratto del F. Elsa studiato si trova Botro di Ricorboli, affluente di sinistra che si immette sul F. Elsa nei pressi del depuratore di Colle Val d’Elsa.

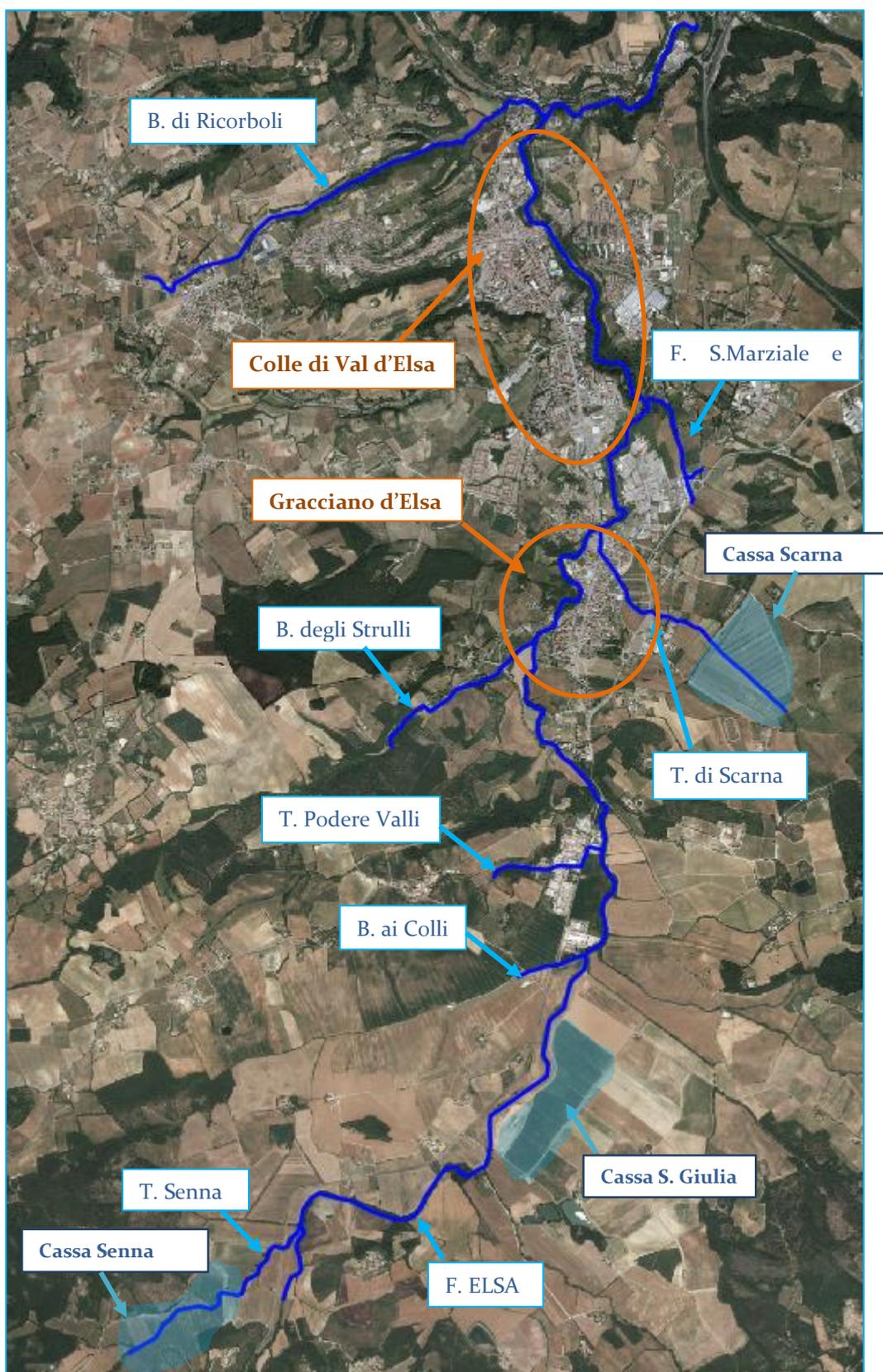


Figura 7.1 – Inquadramento Torrente Ambra e affluenti nel tratto di monte



Caratteristiche del modello

Il modello è realizzato con HEC-RAS 5.0.7 in cui l'asta fluviale del Fiume Elsa e dei suoi affluenti sono modellati come elemento *river* monodimensionale definito per mezzo di *cross sections* abbinato a elementi *2D flow area* per la modellazione bidimensionale dei deflussi esondati. Sono presenti dodici *2D flow area*: due comprese tra F. Elsa e T. Senna in corrispondenza della confluenza e valle di essa, due in sinistra al F. Elsa tra B. ai Colli e Fosso Podere Valli, due in destra al F. Elsa tra T. Scarna e il F. di S. Marziale, due in sinistra al F. Elsa in corrispondenza della confluenza con B. degli Strulli e valle di essa, due in sinistra e destra del F. Elsa a valle della confluenza con B. di Ricorboli. Nei tratti in cui si è resa necessaria la modellazione bidimensionale, le sezioni rilevate sono state impiegate in modo che la modellazione 1D riguardi il solo *main channel*, mentre le aree golenali e di espansione naturale del corso d'acqua sono state modellate con gli elementi *2D flow area*, collegati all'alveo tramite delle *lateral structures*.

Sono stati inoltre considerati gli effetti delle casse di laminazione in linea e in derivazioni esistenti. La geometria delle casse e delle opere connesse, utilizzata nelle modellazioni idrauliche, con particolare riferimento alle dimensioni e quota delle opere di sfioro e della bocca tarata, alla quota della sommità arginale e alla capacità di invaso, è stata delineata a partire da documenti forniti dall'Amministrazione Comunale, rilievi di dettaglio, come già riportato in precedenza, e messa a disposizione di progetti e modelli della Regione Toscana.

Per quanto riguarda la cassa di espansione sul T. Senna, stante la morfologia dei luoghi, si è modellata in monodimensionale; il funzionamento della bocca tarata è simulato attraverso un elemento *inline structure* con culvert scatolare e profilo superiore sagomato in corrispondenza della gaveta.

Per la cassa di espansione S. Giulia sul F. Elsa è stato utilizzato il modello modello Hec-Ras fornito direttamente dalla Regione Toscana. Il funzionamento della cassa è simulato attraverso due *lateral structures*, una per l'opera di presa e una per quella di restituzione, e una *storage area*.

La cassa di espansione sul T. Scarna è modellata in monodimensionale; la traversa con bocca tarata è rappresentata da un elemento *bridge/culvert* opportunamente sagomato sulla base del rilievo di dettaglio realizzato in sito. L'arginatura perimetrale è stata rappresentata all'interno delle *cross sections*, le quote di sommità sono state definite raccordando la quota rilevata in testa allo sbarramento con la quota del terreno da lidar.



Per le scabrezze nel corso d'acqua del F. Elsa sono stati assunti i seguenti valori del coefficiente di Manning:

- n pari a $0.04 \text{ s m}^{-1/3}$ per l'alveo principale;
- n pari a $0.08 \text{ s m}^{-1/3}$ fuori dall'alveo principale;
- n pari a $0.02 \text{ s m}^{-1/3}$ per le sezioni sullo scivolo a valle di Ponte S. Marziale (tratti realizzati in cemento o corrazzati)

Per i corsi d'acqua degli affluenti (per lo più regolari e in aree antropizzate) sono stati assunti i seguenti valori del coefficiente di Manning:

- n pari a $0.035 \text{ s m}^{-1/3}$ per l'alveo principale;
- n pari a $0.06 \text{ s m}^{-1/3}$ fuori dall'alveo principale.

Le condizioni al contorno inserite sono: in corrispondenza delle sezioni di monte delle aste gli idrogrammi di piena per tempi di ritorno 30 e 200 anni ottenuti dalle modellazioni idrologiche come descritto nei capitoli precedenti. Nella sezione di valle del F. Elsa si è utilizzata una *normal depth*, cioè l'altezza di moto uniforme del tratto terminale studiato, imponendo come "*friction slope*" la pendenza media dell'alveo nel tratto finale del modello valutata pari a 0.002, mentre sono state usate delle *uniform lateral inflow* e delle *lateral inflow hydrograph* per simulare lungo le aste studiate ulteriori immissioni dovute ai contributi, puntuali o distribuiti, degli affluenti minori che non sono rientrati nella presente modellazione.

Si precisa l'asta del Fosso S. Marziale, per scelte di ottimizzazione modellistica, non è stata connessa con quella del F. Elsa attraverso l'elemento *junction*. Si è quindi impostata una condizione di valle al Fosso S. Marziale del tipo *stage hydrograph* e una *uniform lateral inflow* sul F. Elsa in corrispondenza della immissione del fosso. Per la prima si è assunta una quota costante pari a 141.93 m s.l.m (pari alla piena per T_{r200} anni sull'Elsa) corrispondente alla condizione più sfavorevole sull'Elsa, mentre l'immissione nel F. Elsa è imposta pari all'idrogramma corrispondente all'ultima sezione del Fosso S. Marziale. Nonostante le aste siano state studiate sconnesse tra loro, sono state simulate all'interno dello stesso modello ai fini della modellazione bidimensionale dei volumi che esondati da un'asta si vanno a immettere in un'altra.

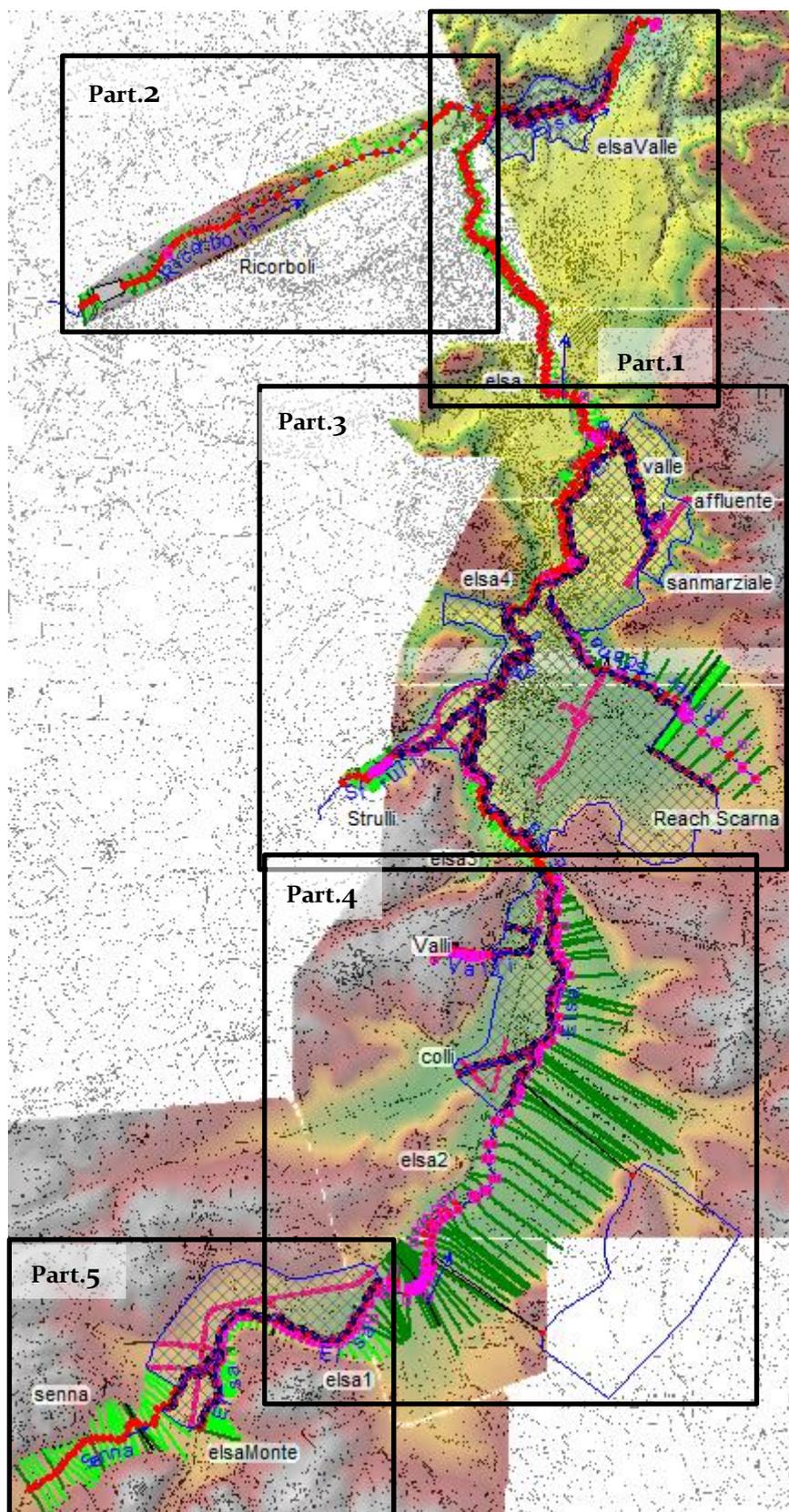


Figura 7.2 – Inquadramento complessivo del modello Hec Ras “Elsa”

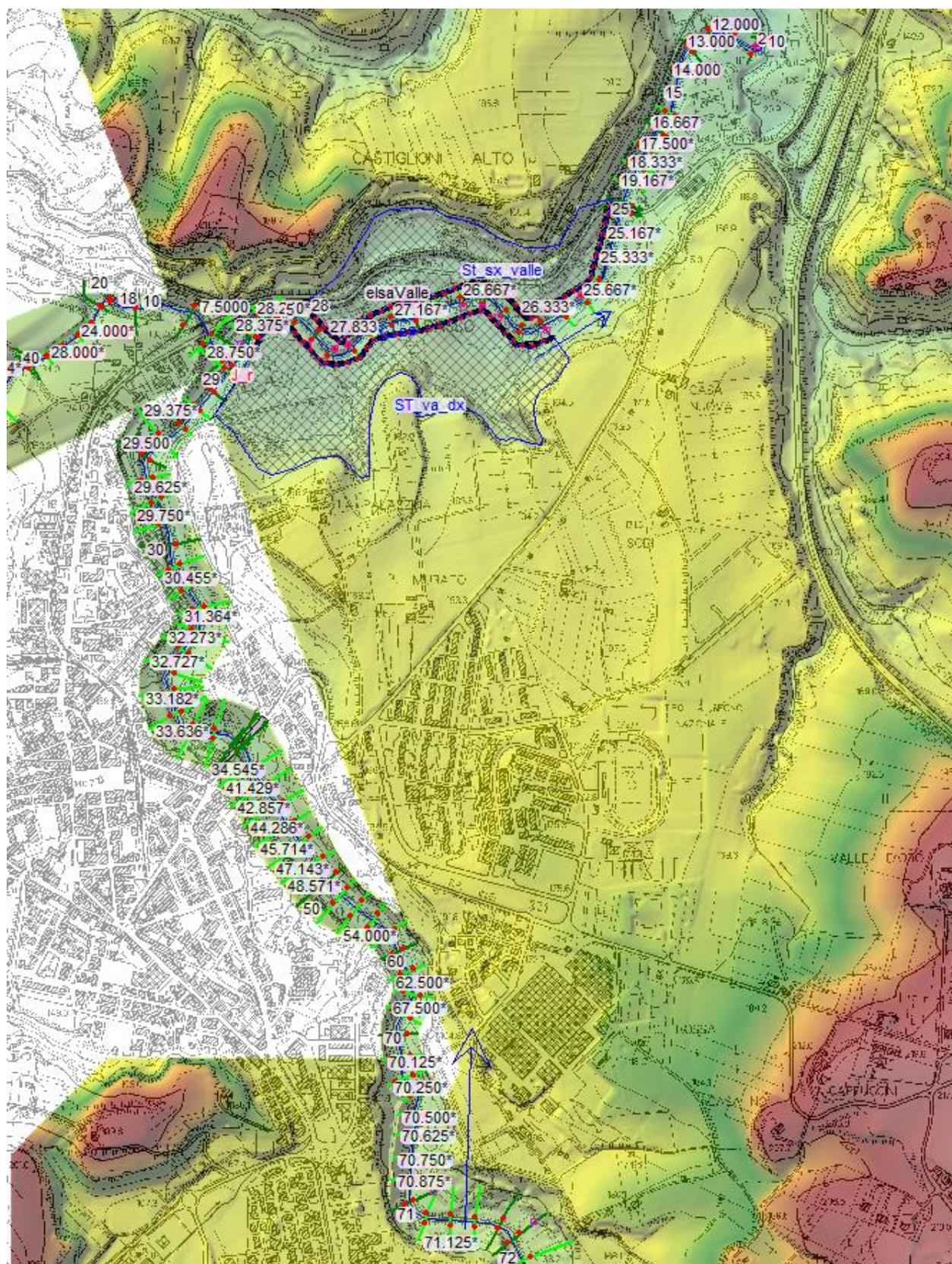


Figura 7.3 Particolare 1 del modello “Elsa”, tratto terminale F. Elsa.

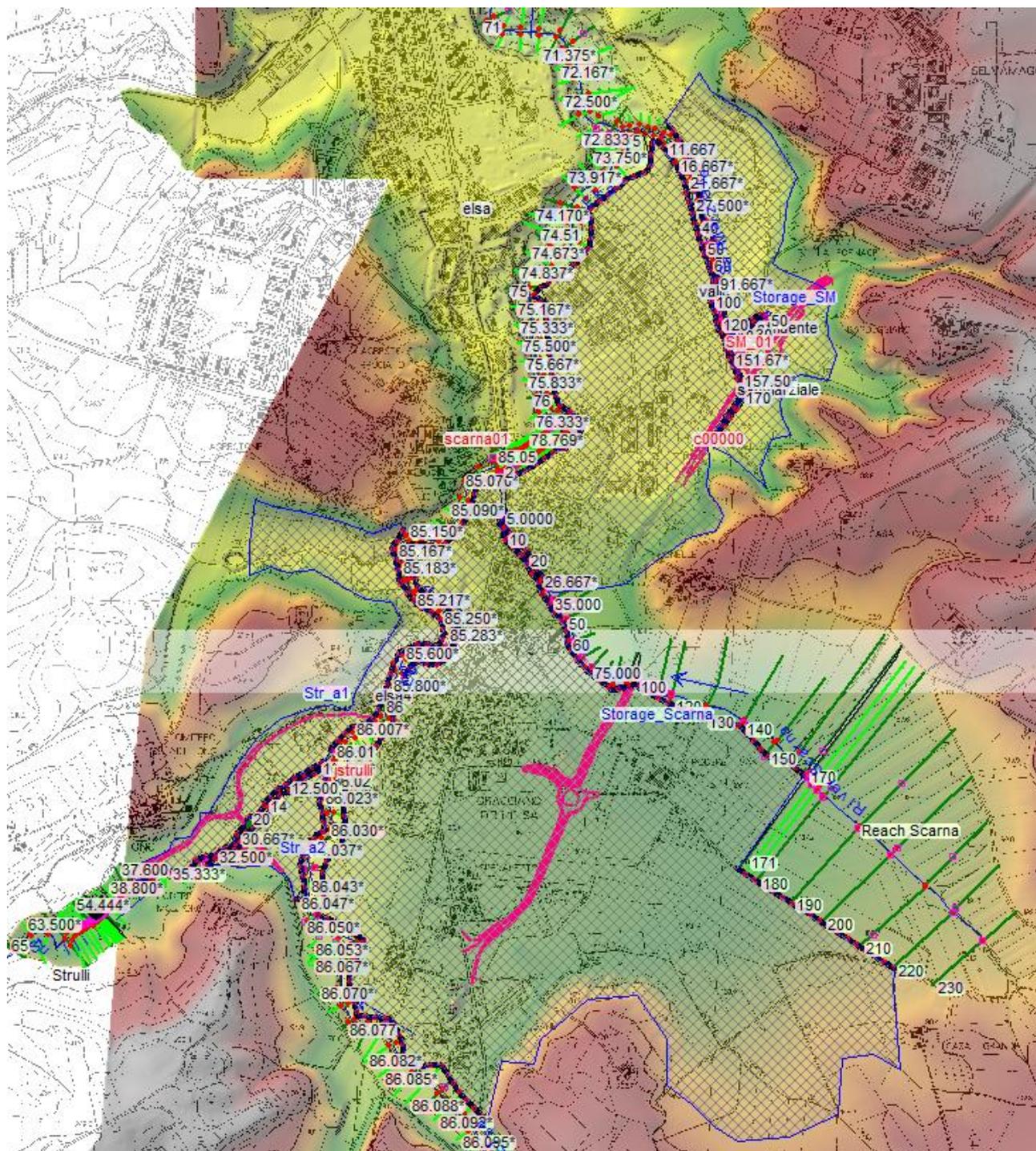


Figura 7.6 – Particolare 3 del modello “Elsa”, tratto F. Elsa con gli affluenti Fosso S. Marziale, B. degli Strulli e T. Scarna con relativa cassa.

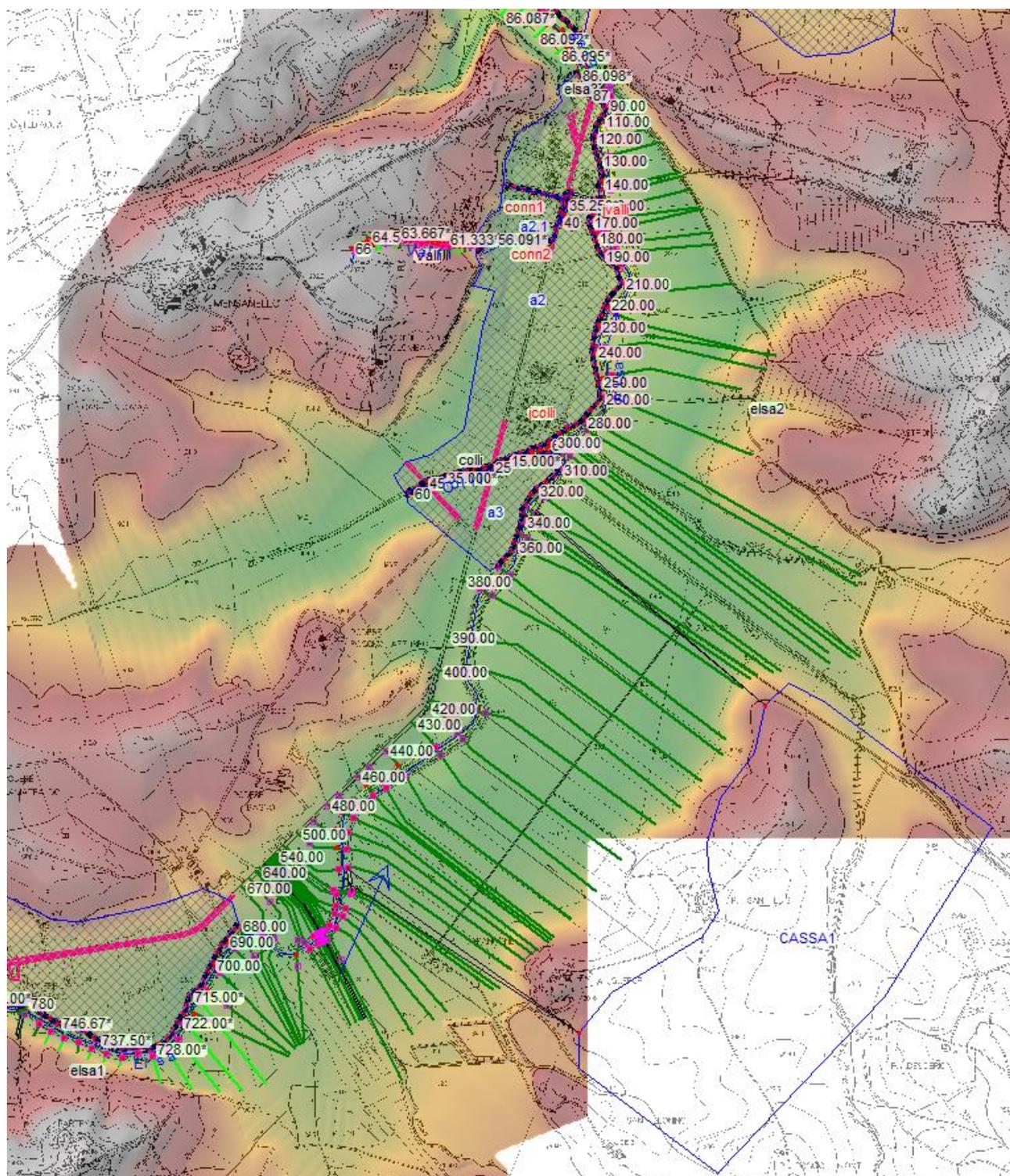


Figura 7.7 – Particolare 4 del modello “Elsa”, tratto F. Elsa interessato dalla cassa S. Giulia.



Sintesi dei risultati

Data la collocazione morfologicamente più elevata dell'abitato di Colle di Val d'Elsa rispetto al fondo d'alveo del F. Elsa, non si riscontrano particolari criticità per tempi di ritorno 30 e 200 anni dovute a inefficienze delle sezioni idrauliche del Fiume Elsa. Maggiori criticità dovute al F. Elsa si riscontrano al di fuori del centro abitato, in corrispondenza di zone a carattere industriale in località Pian dell'Olmino, Gracciano dell'Elsa, San Marziale e a valle in località Castiglioni Basso. Ulteriori problematiche si riscontrano nel tratto iniziale del modello, dove l'immissione del T. Senna genera un fenomeno esondativo a monte e a valle della confluenza che arriva ad interessare anche la SP541 nella zona alle pendici dell'area sopraelevata con toponimo "Partena".

Per quanto riguarda criticità dovute ad affluenti si fa presente l'inefficienza della cassa sul T. Scarna che determina l'allagamento di aree a monte di Gracciano dell'Elsa per deflussi superficiali che dal T. Scarna si propagano fino alla reimmissione sul F. Colle.

Sempre nella zona di Gracciano, si rileva l'allagamento di aree in sinistra idraulica del F. Elsa dovuta a inefficienza del B. degli Strulli e poco più a valle a causa di un fenomeno di rigurgito dovuto all'immissione dal Fosso Valle Salda, non modellato.

La zona industriale di San Marziale presenta criticità dovute ad insufficienza di capacità idraulica delle sezioni del Fosso San Marziale. Anche con tempi di ritorno di 30 anni si rileva l'allagamento della Sp541 e degli stabilimenti adiacenti.

L'affluente Botro degli Strulli determina vaste aree allagate che interessano a monte i molini Le Vene e Calcinaia, mentre a valle, in corrispondenza della confluenza con F. Elsa, si rilevano allagamenti che interessano sia le unità abitative in località Le Nove sia l'area golenale in sinistra al F. Elsa destinate all'ortocoltura.

Il Botro di Ricorboli presenta criticità unicamente nella zona a monte dove l'area allagata in sinistra e in destra interessa le abitazioni adiacenti, a valle invece l'aumento di pendenza d'alveo e la distanza da zone abitate evitano ulteriori problematiche.

Si rimanda alle tavole allegate alla presente relazione per la consultazione dei risultati sia in termini di aree a pericolosità per alluvioni frequenti (Tr_{30}) e poco frequenti (Tr_{200}).

Infine, al fine di verificare la coerenza della modellazione effettuata con quella dello "Studio idraulico sul Fiume Elsa da Loc. Castiglioni (Comune di Poggibonsi) allo scolmatore (Comune di Castelfiorentino)" con la modellazione effettuata si sono confrontati i tiranti idraulici in prossimità



delle sezione del ponte che divide la porzione del Fiume Elsa tra quella attinente al reticolo secondario (DCRT 28/2020) e quella attinente al reticolo principale di pertinenza dell'AdBDAS. Sulla base dei raster messi a disposizione dell'Ing. Gabbrilli che ha condotto lo studio sul Fiume Elsa a valle del Comune di Colle val d'Elsa, si sono misurati nelle aree contermini alla sezione considerata valori compresi tra 116.1-116.5 m slm che si ritengono confrontabili con quelli di questo studio pari a 116.53 m slm, tenuto conto del diverso coefficiente di ragguaglio impiegato nelle due modellazioni (più basso nello studio dell'AdBDAS in quanto riferito al Bacino del F. Elsa allo scolmatore nel Comune di Castel Fiorentino).



7.1.1 Cassa di espansione sul T. Senna

La cassa di espansione in linea presenta una traversa con bocca tarata e gaveta posta in opera lungo un tratto dell'asta del T. Senna poco a monte della confluenza con il Fiume Elsa, in una sezione che sottende un bacino imbrifero di poco inferiore a 25 kmq.

Nel corso della piena la bocca tarata di regolazione riduce la portata rilasciata a valle rispetto a quella in arrivo da monte e i volumi d'acqua in eccesso vengono conseguentemente trattenuti nell'invaso: quando la portata in arrivo diminuisce si determina il graduale rilascio dei volumi accumulati fino al completo svuotamento della vasca.

La bocca tarata di dimensioni 4.1 x 2.7 metri determina perciò una laminazione delle portate che poco a valle sono immesse sul F. Elsa. Per Tr 30 anni si ha un rapporto di laminazione della portata di picco che va da 0.6 per durate pari a 2 e 3 ore a 0.8 per durate pari a 7 ore. Per Tr200 il rapporto di laminazione arriva a 0.5 per durate di pioggia basse.

Inoltre per Tr 200 anni, a partire da eventi di pioggia con durate superiori o uguali a 2 ore si rileva l'attivazione dello sfioro della gaveta, posto a quota 197.9 m s.l.m., determinando un evidente incremento delle portate in uscita dalla cassa e quindi in ingresso sul F. Elsa. Per Tr 30 anni, invece, lo sfioro dalla gaveta non è mai attivato.

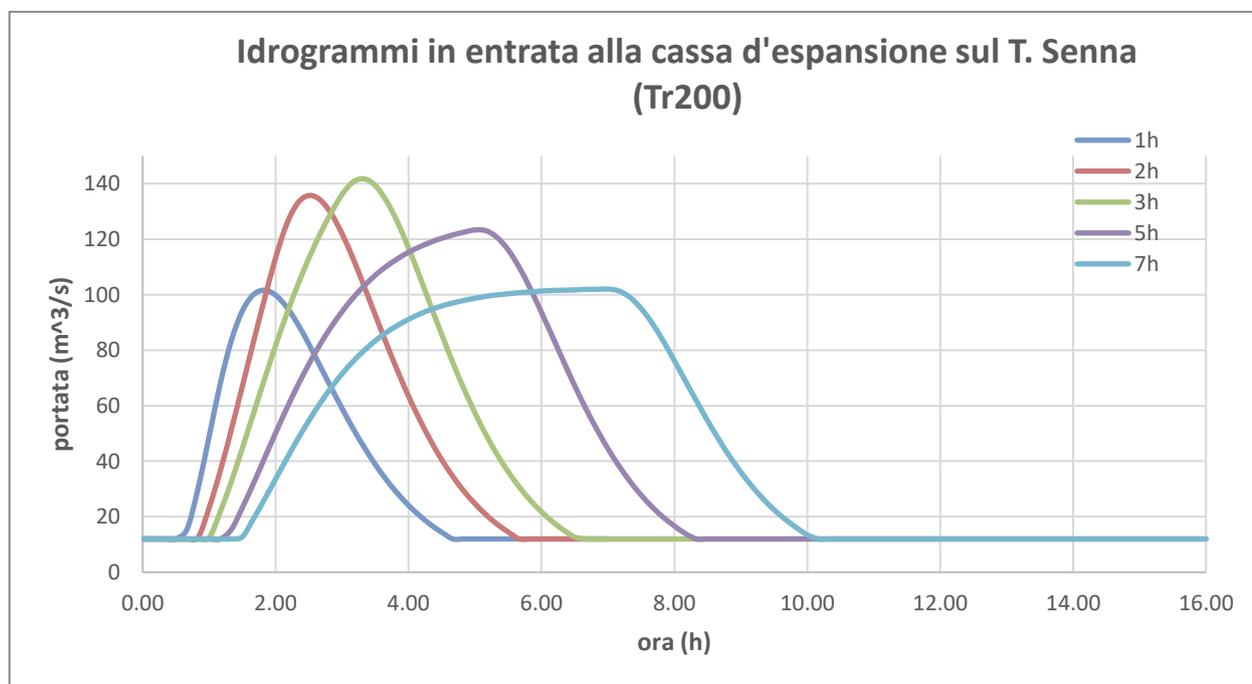


Figura 7.8 – Idrogrammi in entrata alla cassa d'espansione sul T.Senna (Tr200)

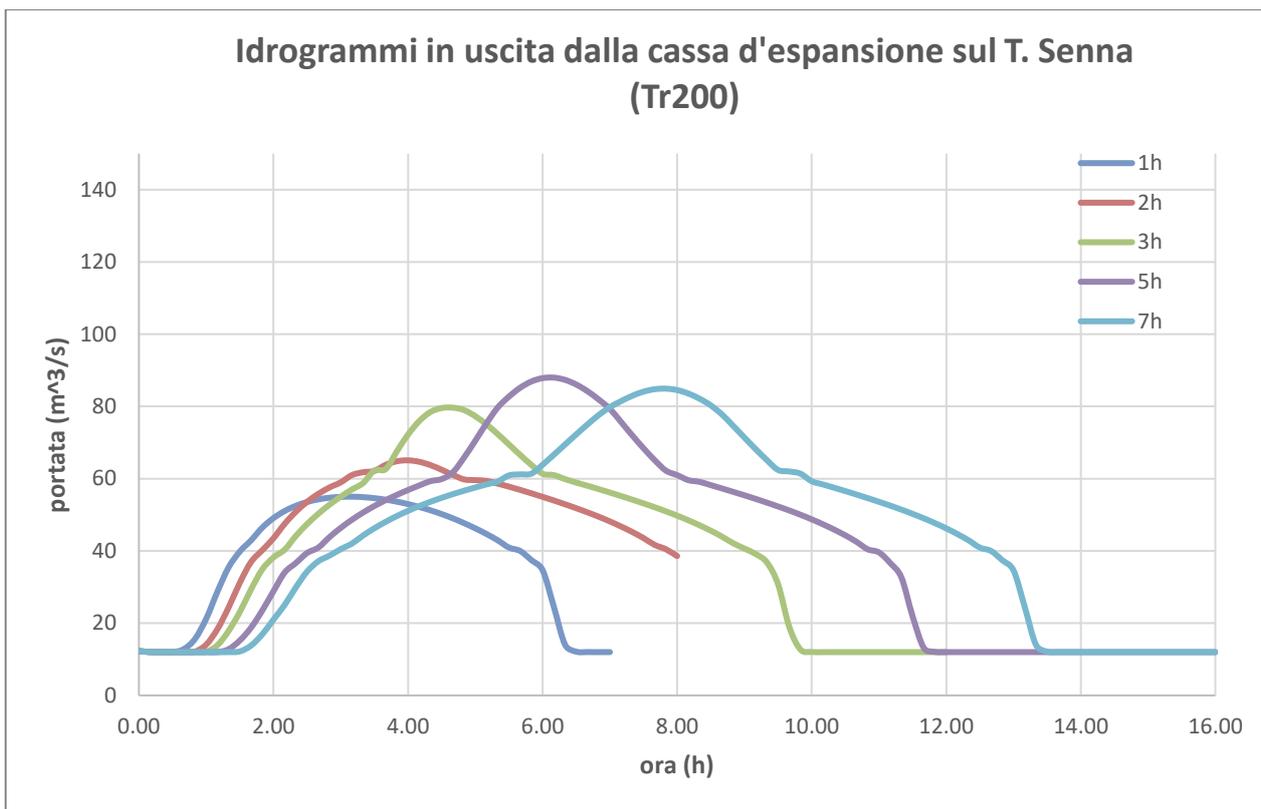


Figura 7.9 – Idrogrammi in uscita dalla cassa d’espansione sul T.Senna (Tr200)

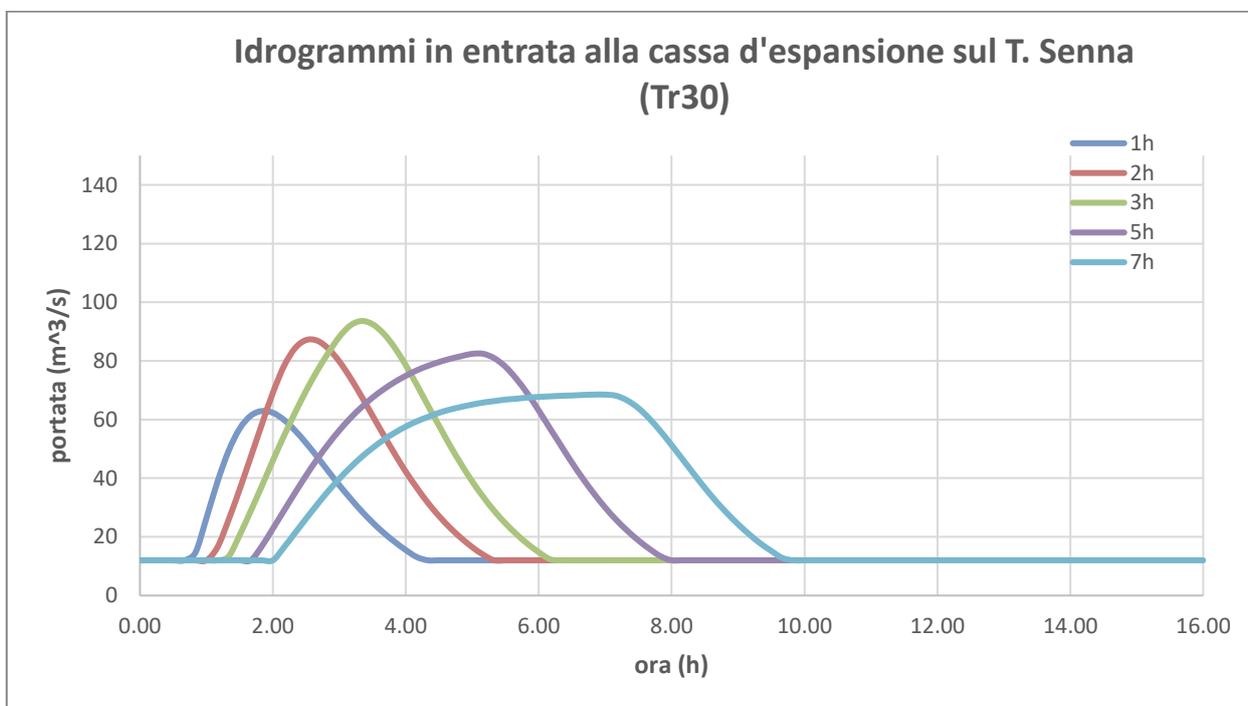


Figura 7.10 – Idrogrammi in entrata alla cassa d’espansione sul T.Senna (Tr30)

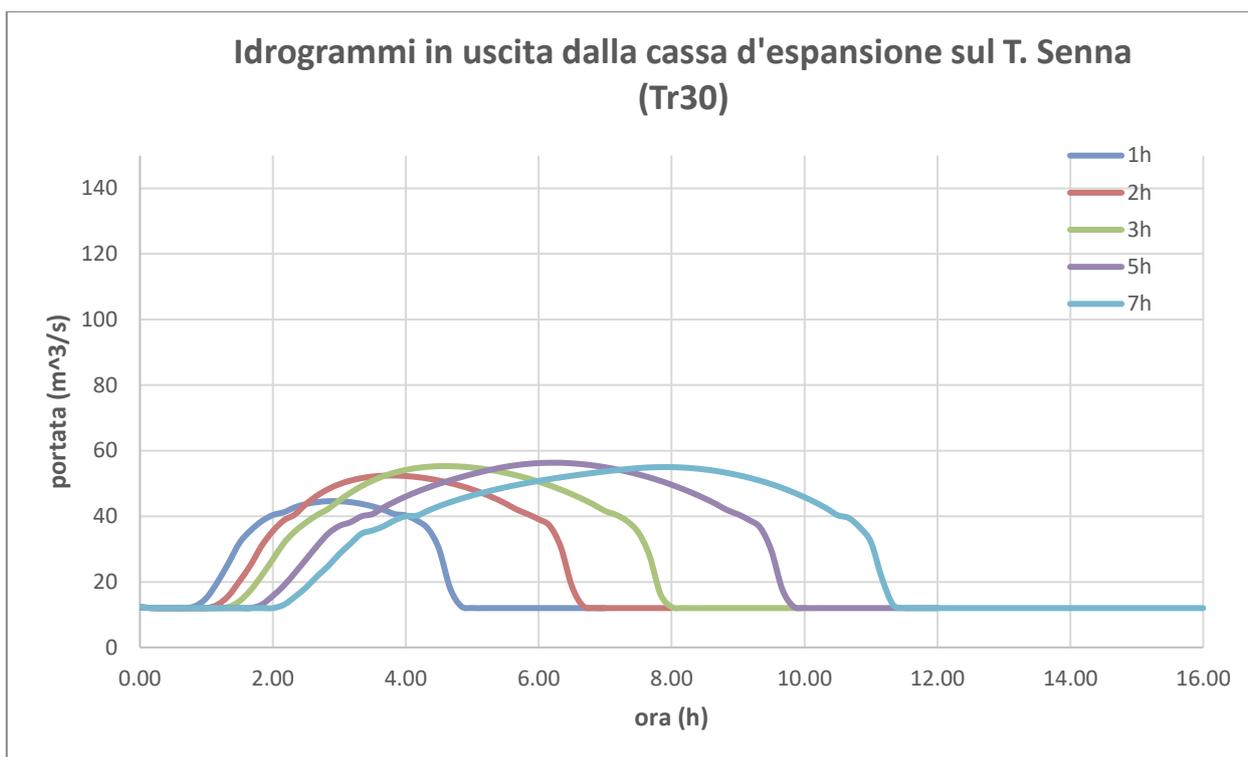


Figura 7.11 – Idrogrammi in uscita dalla cassa d'espansione sul T.Senna (Tr30)

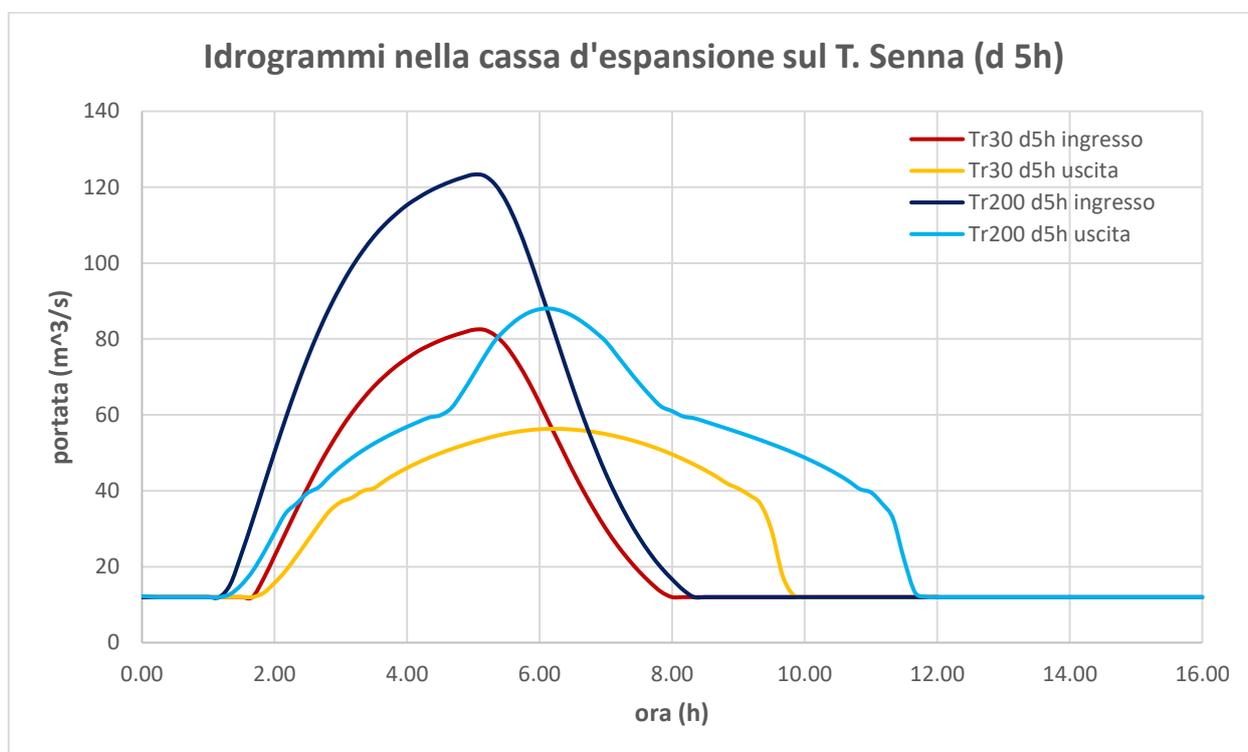


Figura 7.12 – Confronto Idrogrammi nella cassa d'espansione sul T.Senna (Tr200 e Tr30)

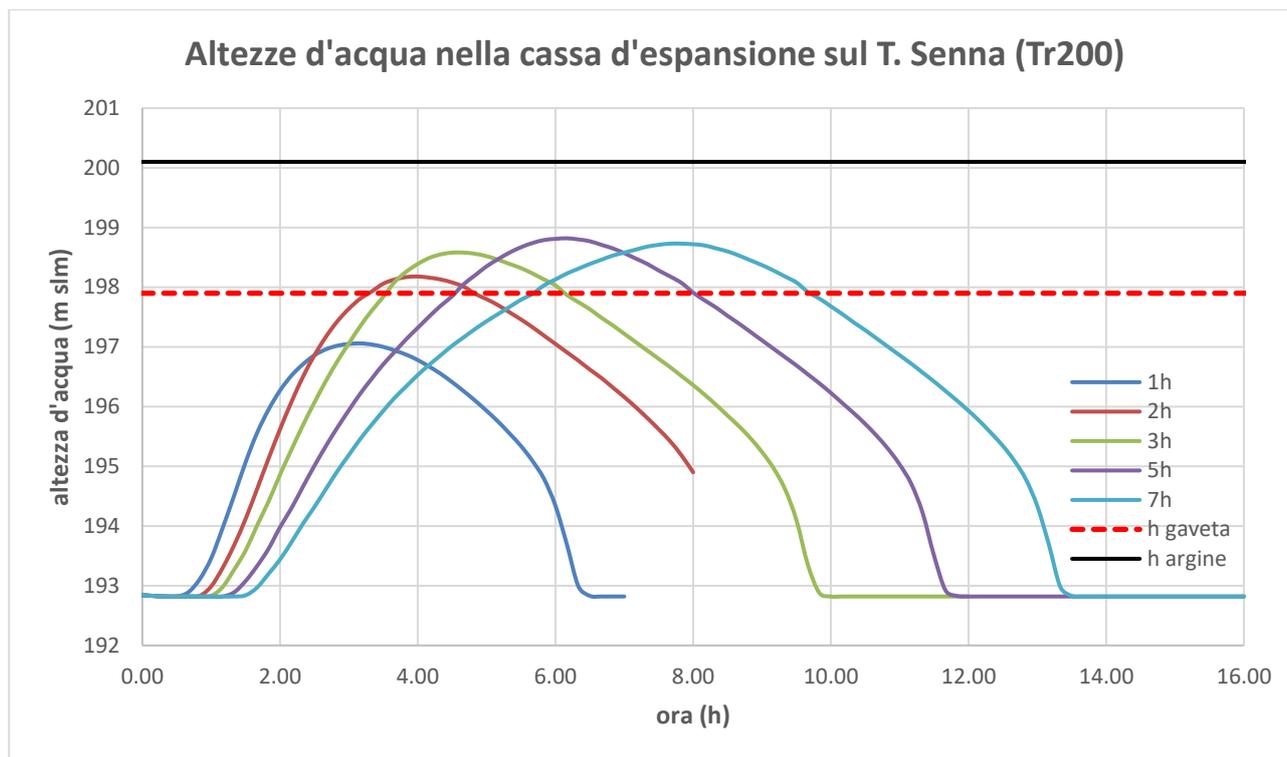


Figura 7.13 – Altezze d’acqua nella cassa d’espansione sul T. Senna (Tr200)

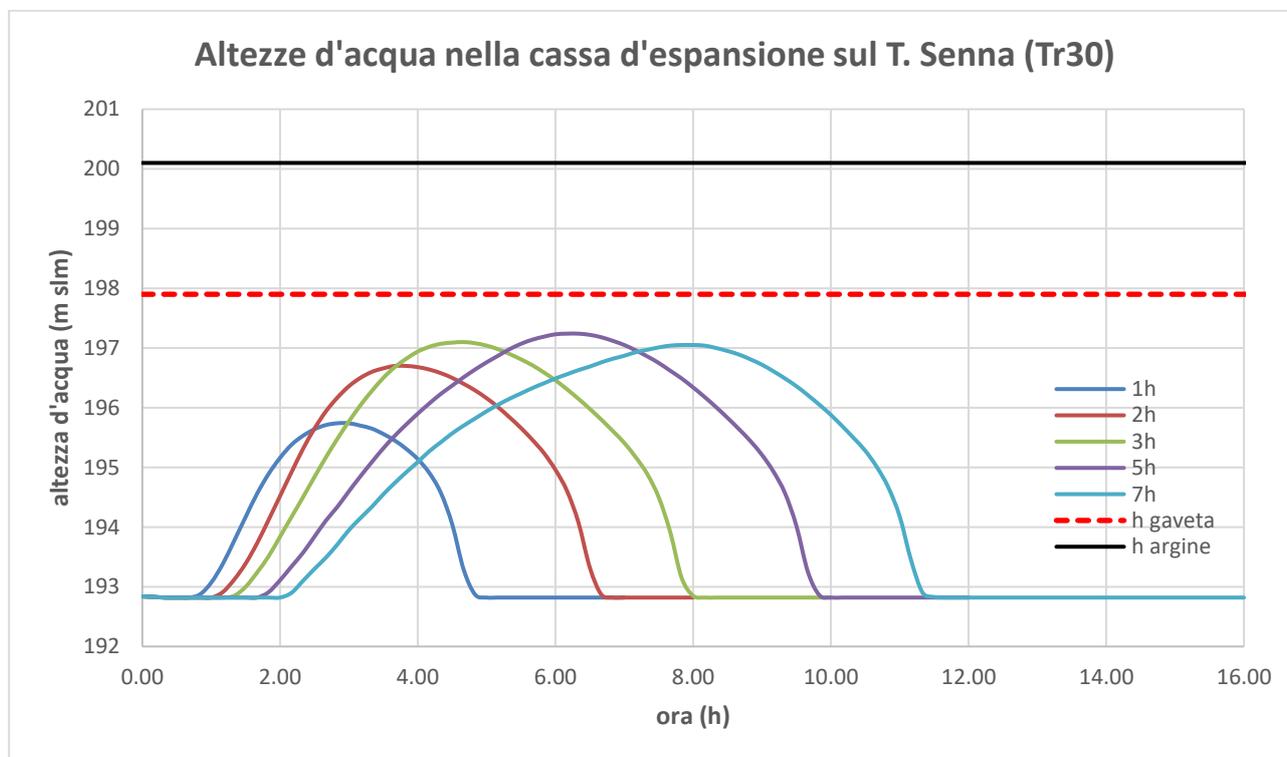


Figura 7.14 – Altezza d’acqua nella cassa d’espansione sul T.Senna (Tr30)

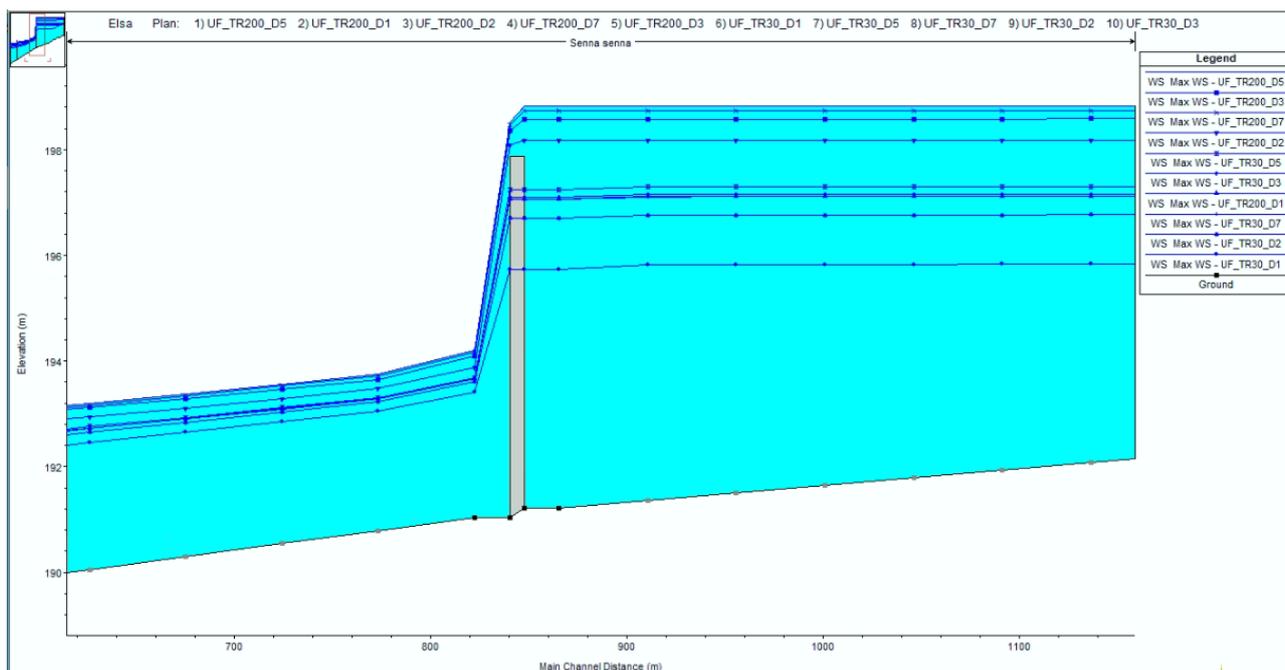


Figura 7.15 – Particolare modello HEC-RAS “Elsa”, profili sulla gaveta dello sbarramento sul T. Senna

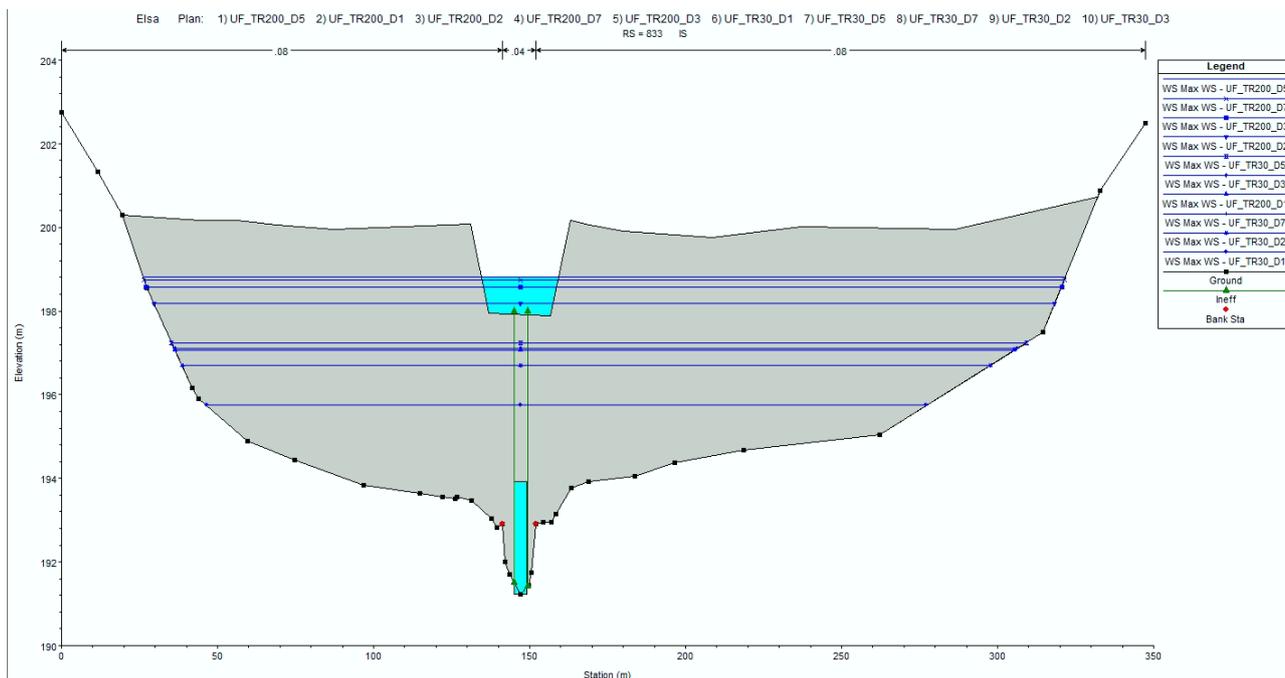


Figura 7.16 – Particolare modello HEC-RAS “Elsa”, cassa di laminazione sul Torrente Senna



7.1.2 Cassa di laminazione S. Giulia sul F. Elsa

La cassa di espansione è del tipo in derivazione, si colloca in destra al Fiume Elsa in un'area prevalentemente agricola a monte delle aree abitate di Colle di Val d'Elsa.

Dal Primo stralcio funzionale del progetto generale della Casse di Espansione sul Fiume Elsa in località Santa Giulia:

“L'intervento mira al conseguimento degli obiettivi d'invaso (...) per la riduzione del rischio idraulico come da Piano di Bacino del Fiume Arno – Stralcio Rischio Idraulico (D.P.C.M. del 05.11.99).

Le opere del primo lotto Funzionale ricadono interamente nel Comune di Monteriggioni e riguardano la sola cassa di monte dotata di una superficie complessiva di circa 55 ha. L'area di cassa sarà delimitata da arginature [con quota di coronamento pari a 186.70 m s.l.m. secondo le tavole di progetto esecutivo trasmesso dalla Regione Toscana]. (...)”

In destra al Fiume Elsa è presenta una soglia con quota di sfioro pari a 184.2 m s.l.m. e lunghezza pari a 35 m con funzione di opera di presa. Lo scarico di fondo presenta una sezione di 1.5 x 1.5 m a quota 180 m s.l.m.

L'invaso temporaneo all'interno della cassa determina una riduzione del picco a valle della cassa, per Tr 30 si rileva per le durate esaminate rapporti di laminazione da 0.8 a 0.90. Mentre per Tr 200 si ottiene rapporti di laminazione che vanno da 0.7 a 0.8.

Dalla valutazione dell'andamento delle altezze d'acqua in corrispondenza dell'opera di presa, si può valutare il carico battente sulla soglia di sfioro, mentre l'arginatura adiacente non viene sormontata in nessun caso.

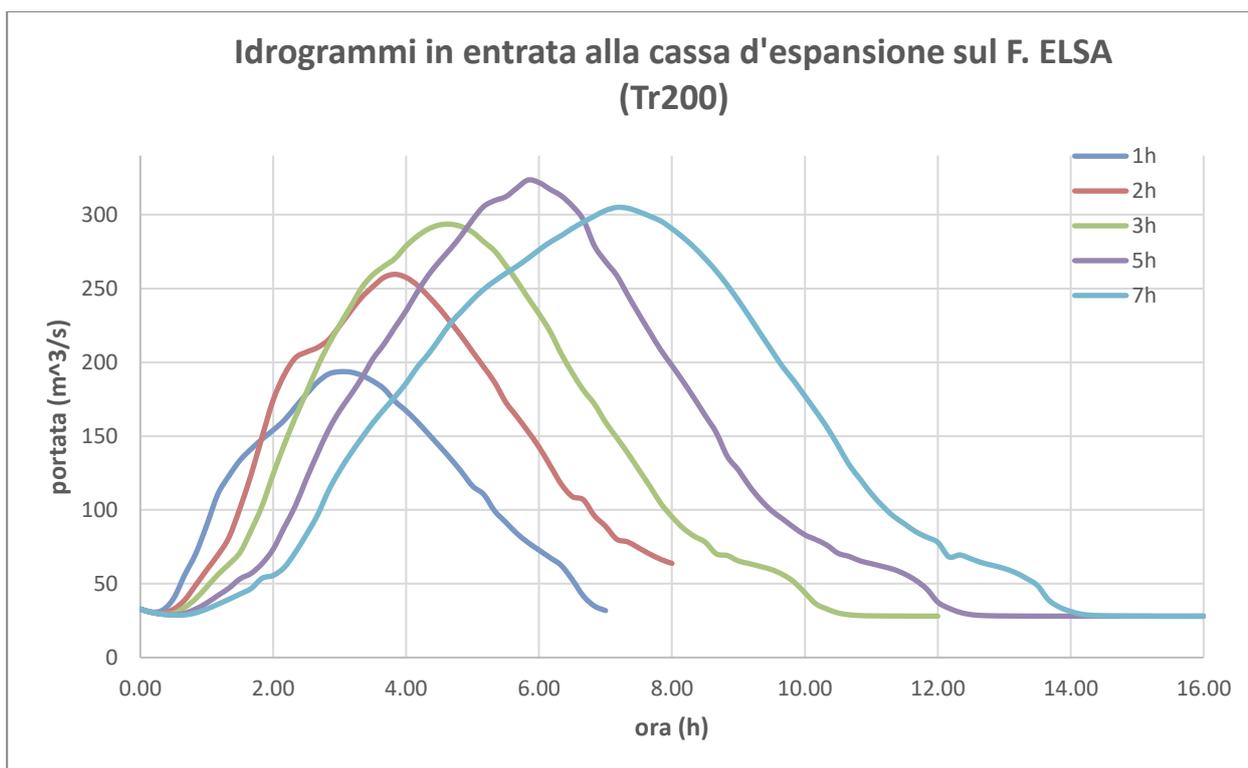


Figura 7.18 – Idrogrammi in entrata alla cassa d'espansione sul F. Elsa (Tr200)

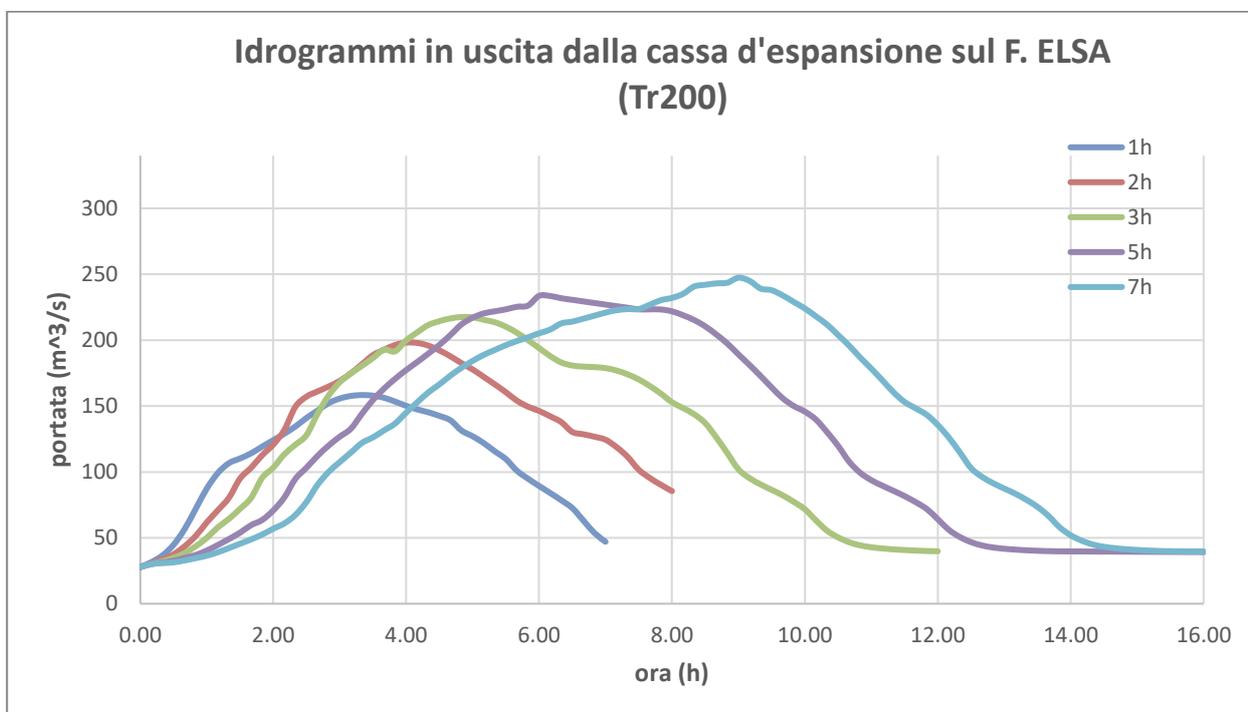


Figura 7.19 – Idrogrammi in uscita dalla cassa d'espansione sul F. Elsa (Tr200)

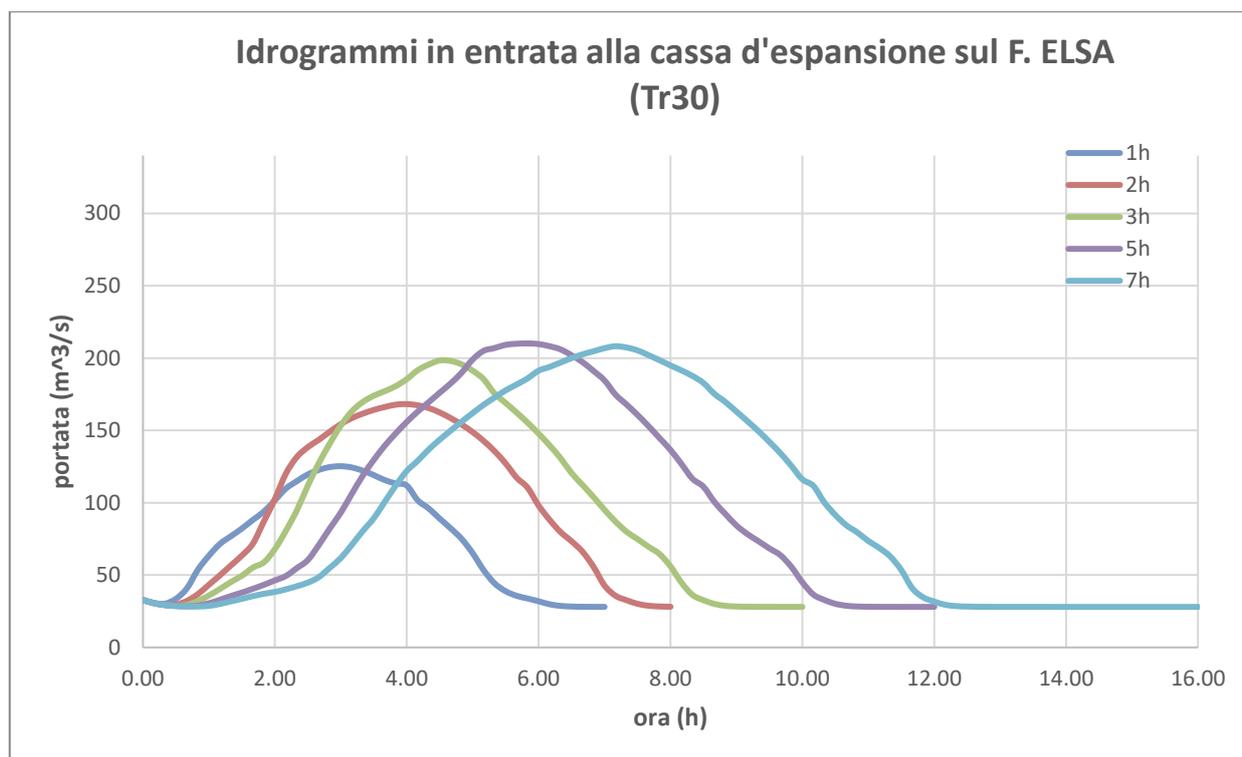


Figura 7.20 – Idrogrammi in entrata alla cassa d'espansione sul F. Elsa (Tr30)

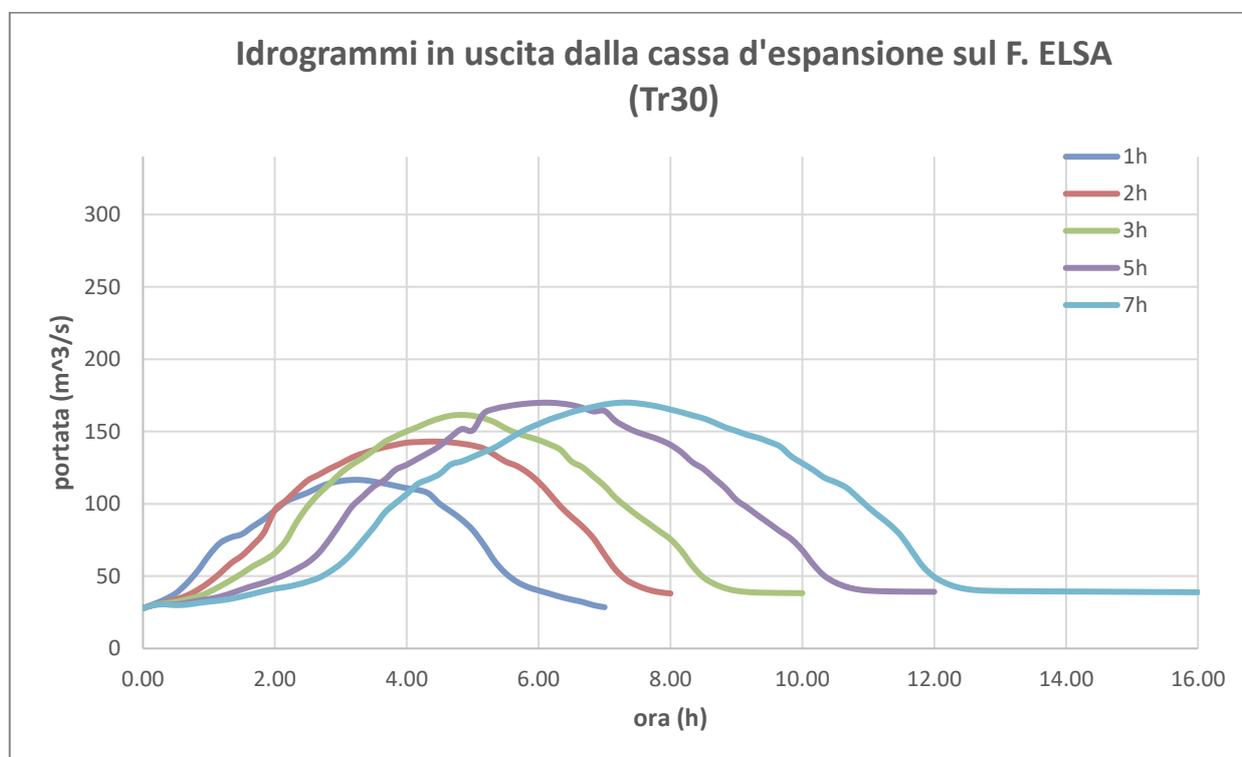


Figura 7.21 – Idrogrammi in uscita dalla cassa d'espansione sul F. Elsa (Tr30)

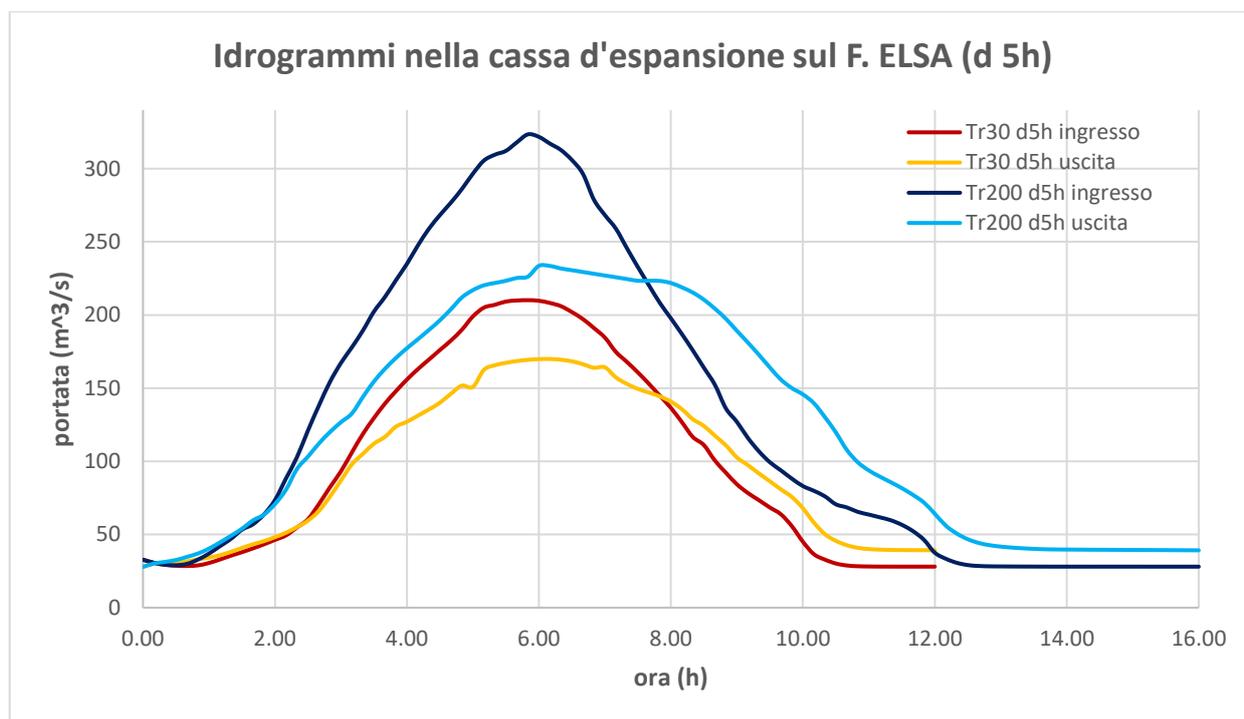


Figura 7.22 – Confronto Idrogrammi nella cassa d'espansione sul F. Elsa (Tr200 e Tr30)

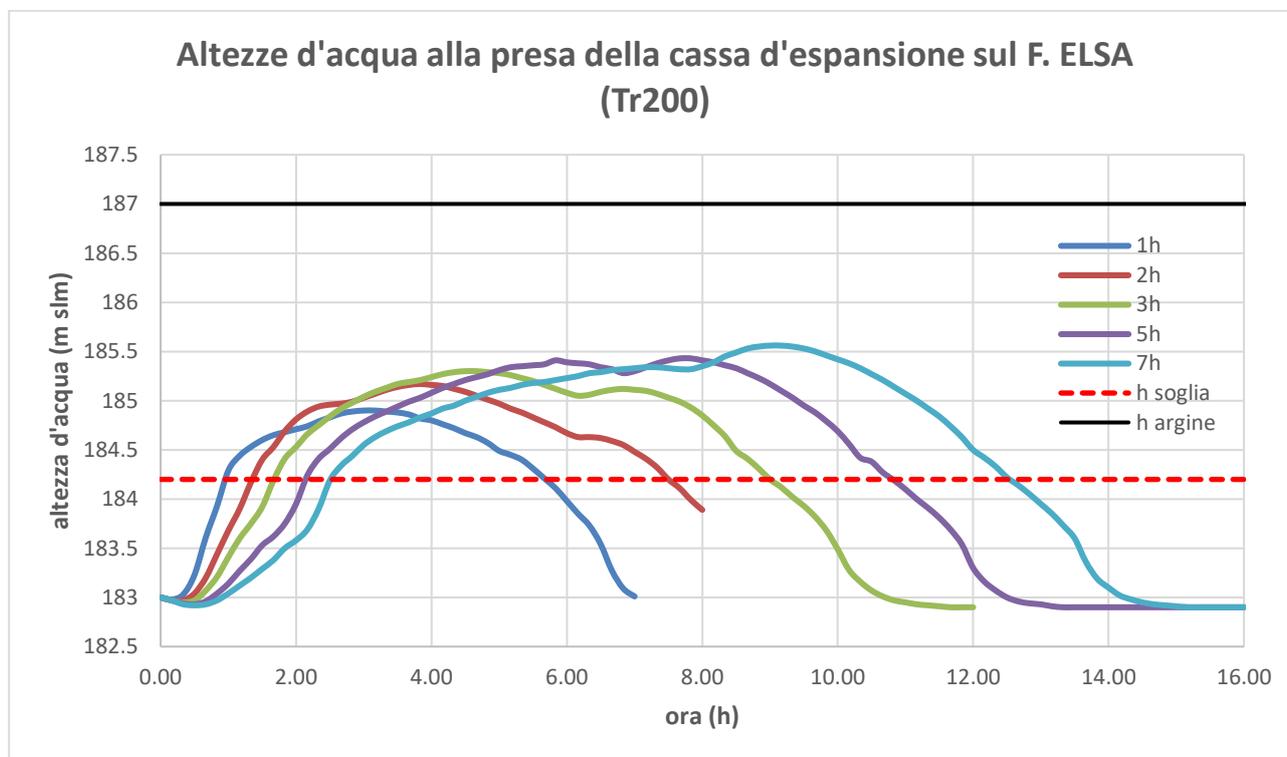


Figura 7.23 – Altezze d'acqua nella cassa d'espansione sul F. Elsa (Tr200)

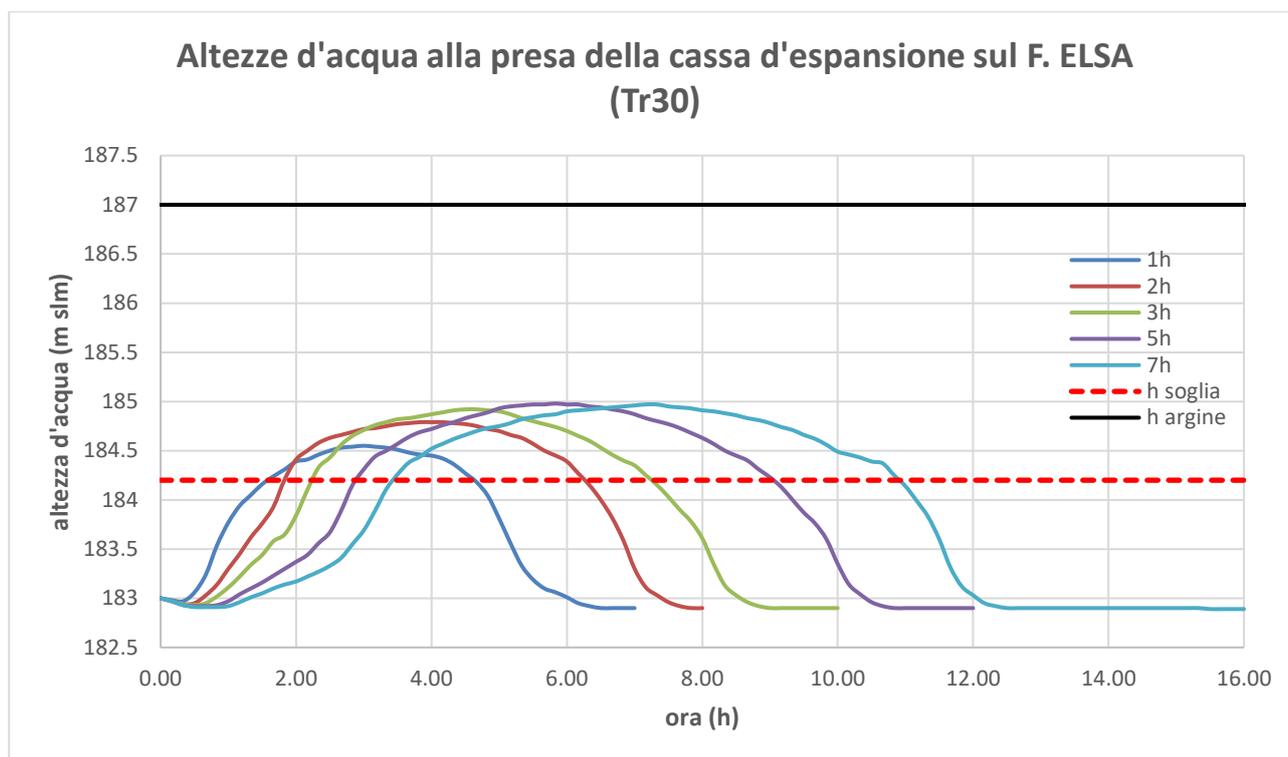


Figura 7.24 – Altezza d'acqua nella cassa d'espansione sul F. Elsa (Tr30)

7.1.3 Cassa di laminazione sul T. Scarna

La cassa di espansione in linea presenta una traversa con bocca tarata e gaveta posta in opera lungo un tratto dell'asta del T. Scarna in località Casino di Scarna, in una sezione che sottende un bacino imbrifero di poco inferiore a 8 kmq.

Nel corso della piena la bocca tarata di regolazione riduce la portata rilasciata a valle proteggendo l'abitato di Gracciano dell'Elsa. rispetto a quella in arrivo da monte e i volumi d'acqua in eccesso vengono conseguentemente trattenuti nell'invaso: quando la portata in arrivo diminuisce si determina il graduale rilascio dei volumi accumulati fino al completo svuotamento della vasca.

La bocca tarata di dimensioni 2 x 1 metri determina, perciò, una laminazione delle portate dirette in direzione dell'abitato di Gracciano dell'Elsa e poi immesse sul F. Elsa.

Per durate da 1 a 7 ore, sia per Tr30 che per Tr200, si rileva l'attivazione dello sfioro della gaveta, posto a quota 188.2 m s.l.m., con conseguente incremento delle portate in uscita dalla cassa. Per Tr200, la durata di pioggia pari a 2 e 3 ore si rileva anche il sormonto della sommità arginale dello sbarramento con conseguente allagamento delle aree a valle.

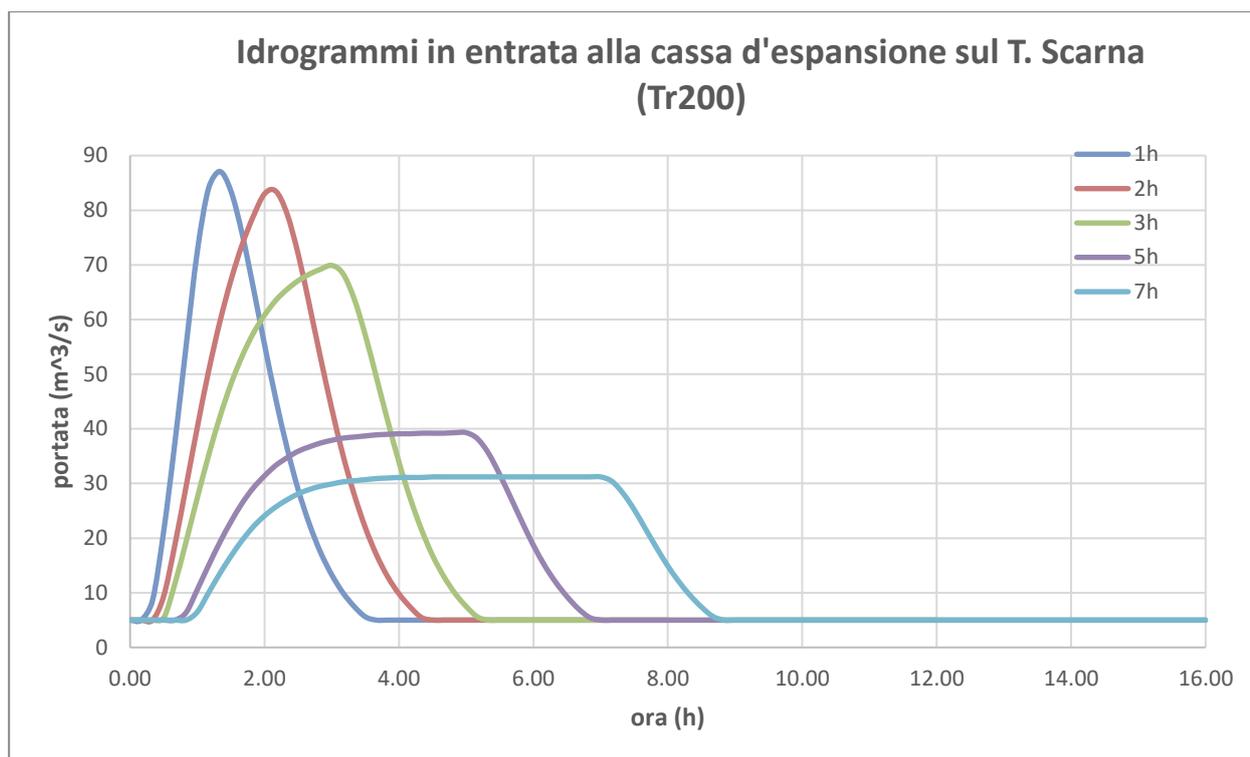


Figura 7.25 – Idrogrammi in entrata alla cassa d'espansione sul T. Scarna (Tr200)

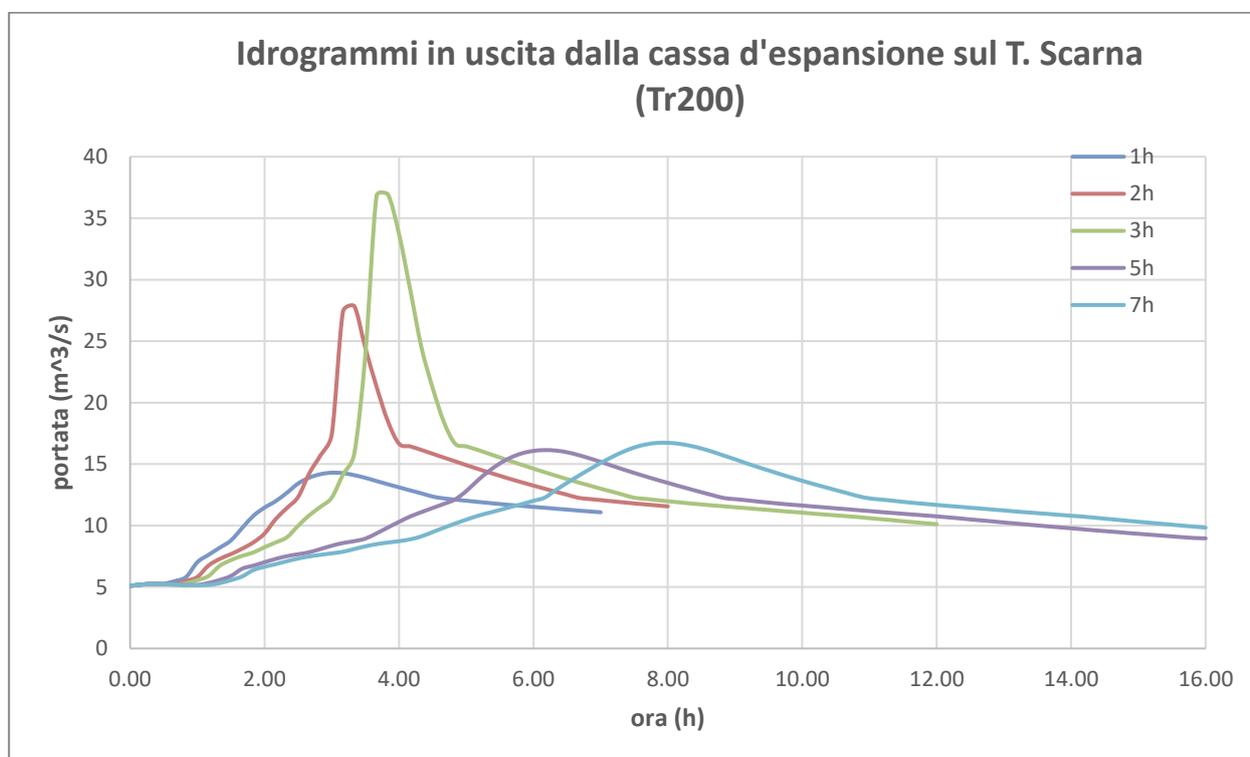


Figura 7.26 – Idrogrammi in uscita dalla cassa d'espansione sul T. Scarna (Tr200)

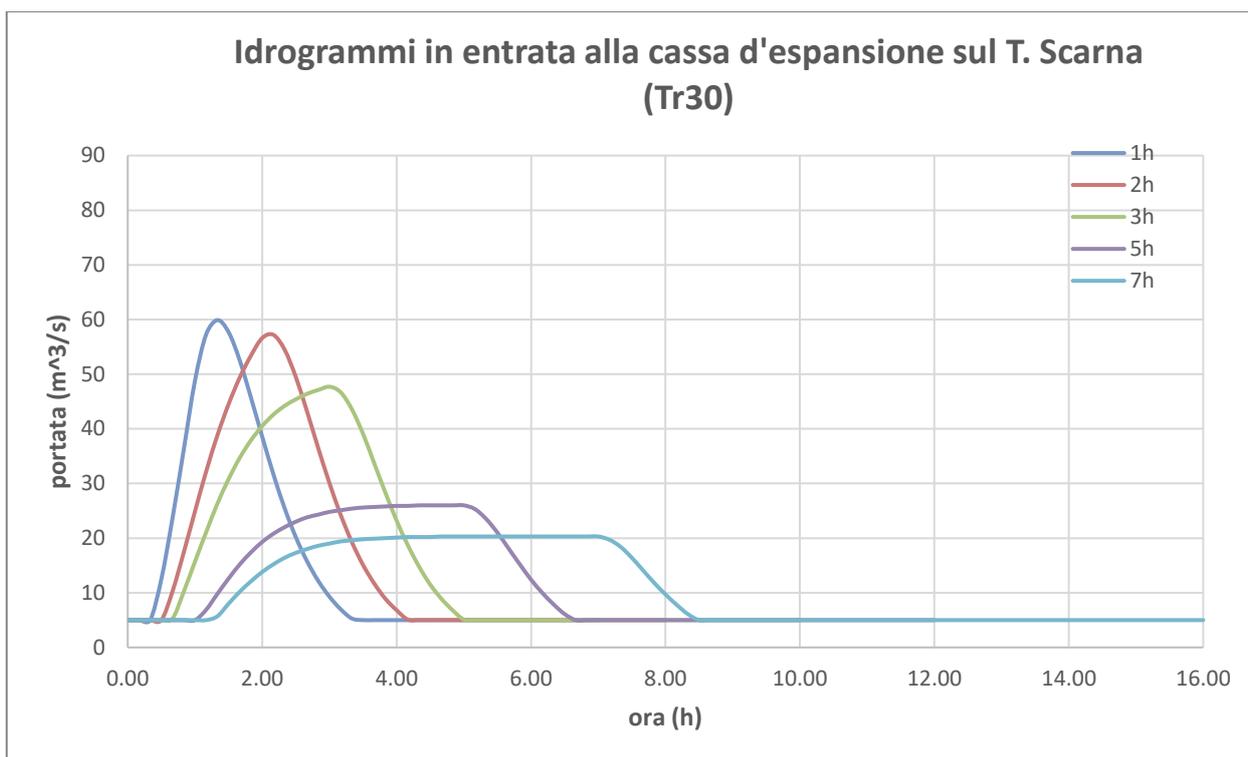


Figura 7.27 – Idrogrammi in entrata alla cassa d'espansione sul T. Scarna (Tr30)

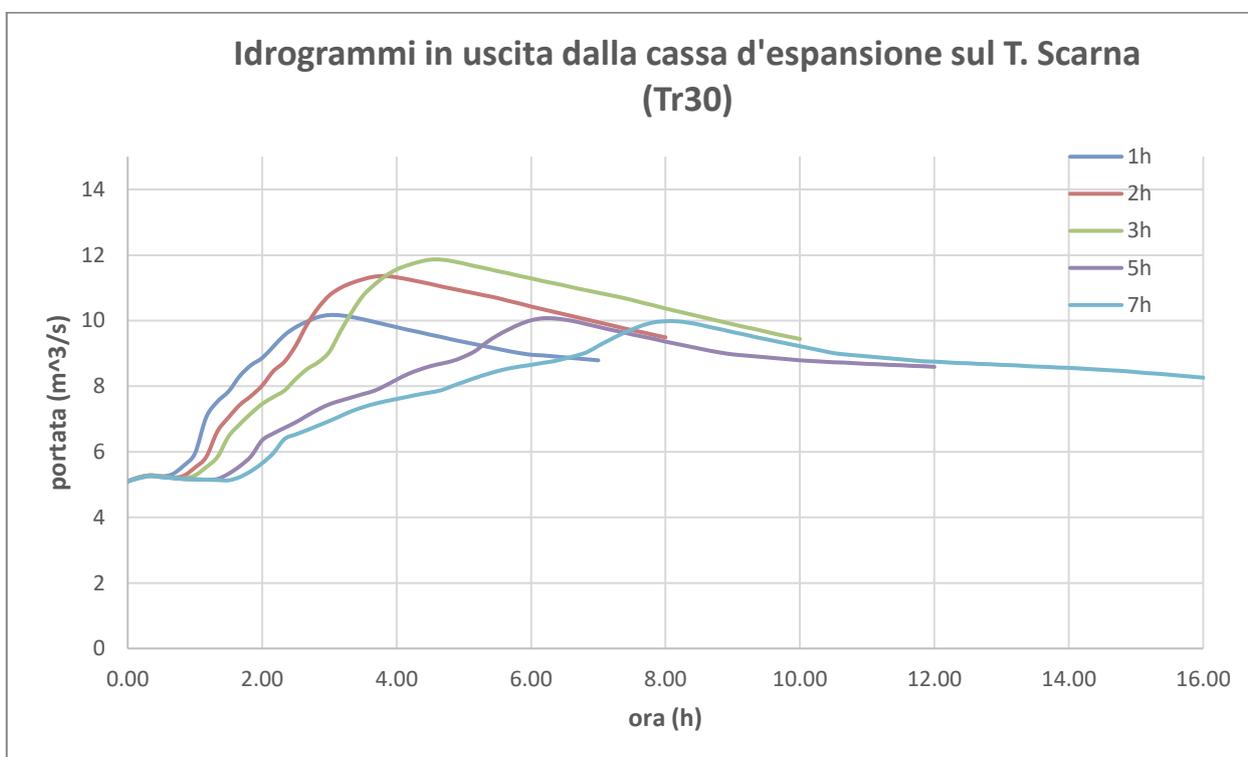


Figura 7.28 – Idrogrammi in uscita dalla cassa d'espansione sul T. Scarna (Tr30)

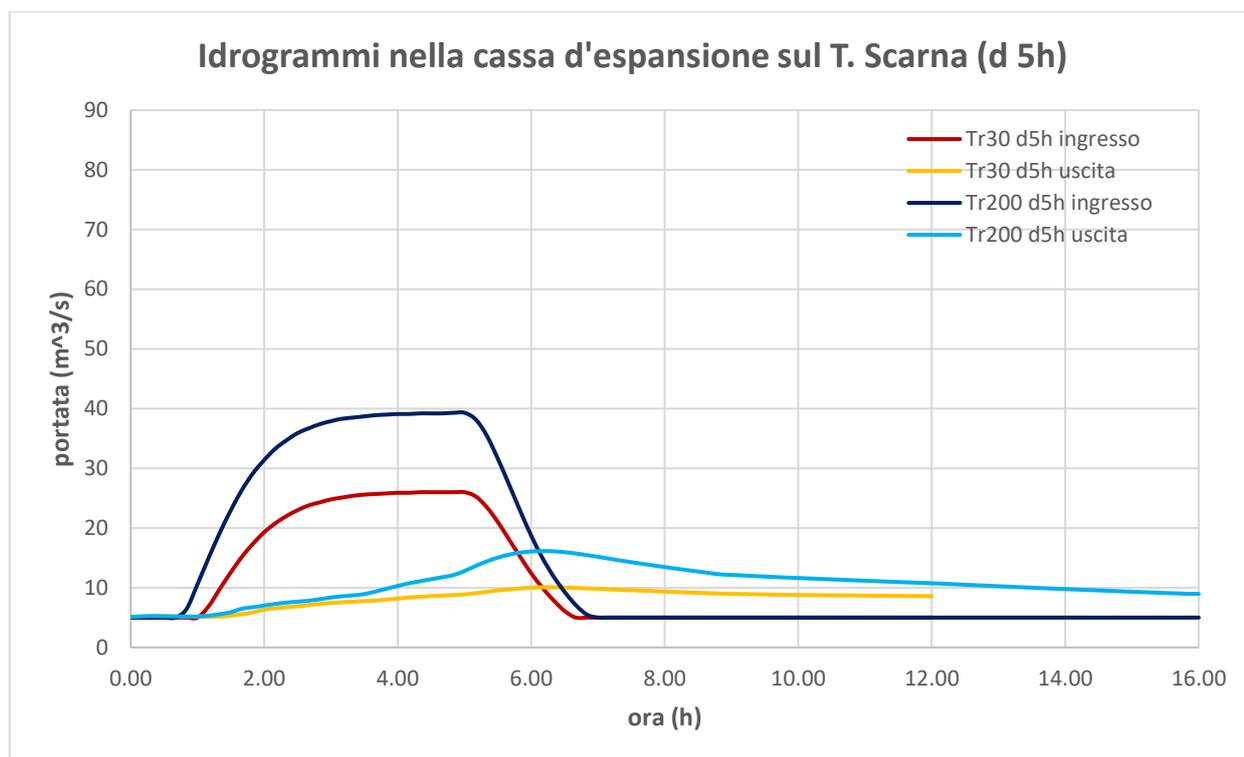


Figura 7.29 – Confronto Idrogrammi nella cassa d'espansione sul T. Scarna (Tr200 e Tr30)

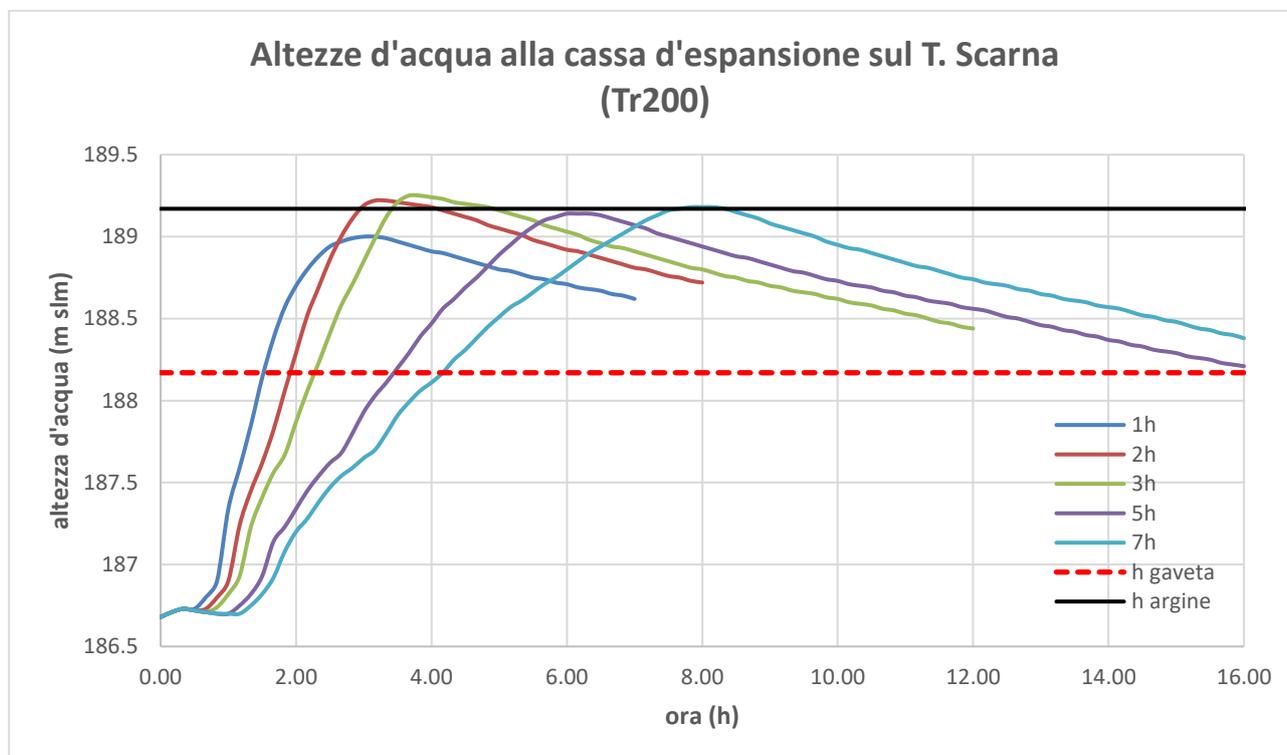


Figura 7.30 – Altezze d'acqua nella cassa d'espansione sul T. Scarna (Tr200)

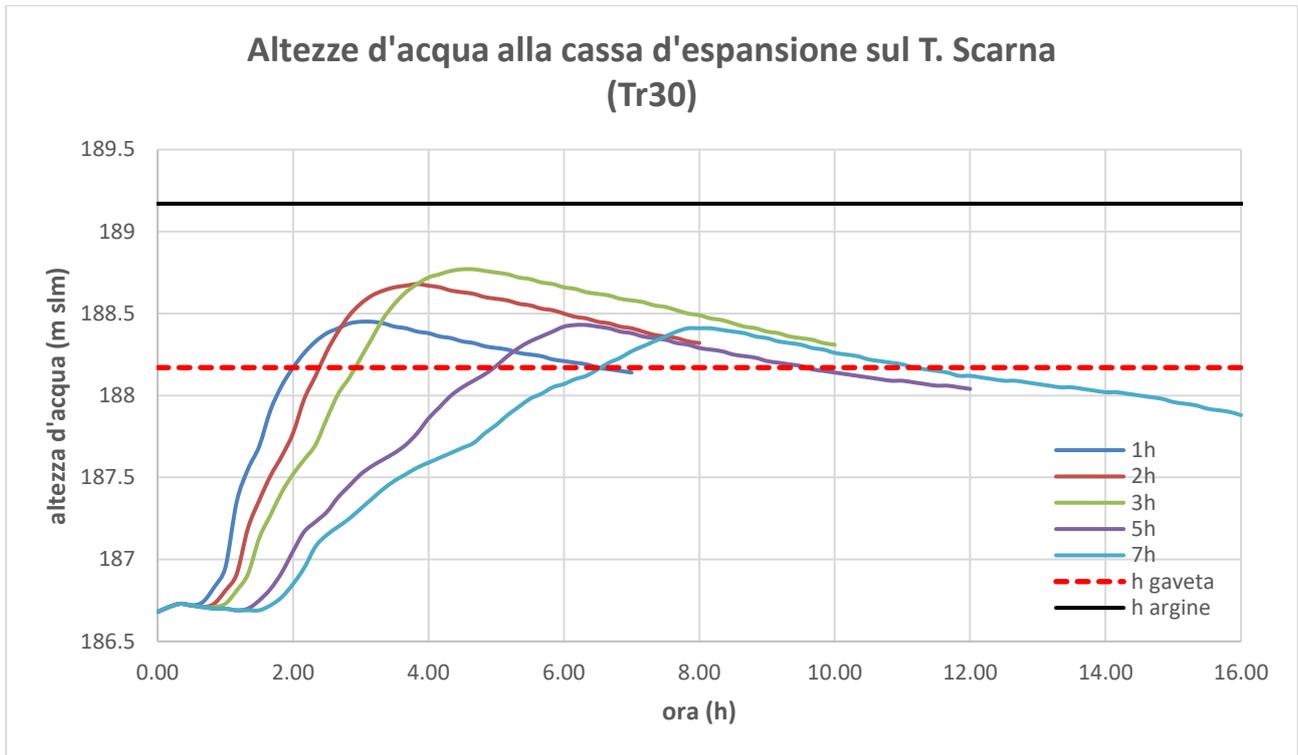


Figura 7.31 – Altezza d’acqua nella cassa d’espansione sul T. Scarna (Tr30)

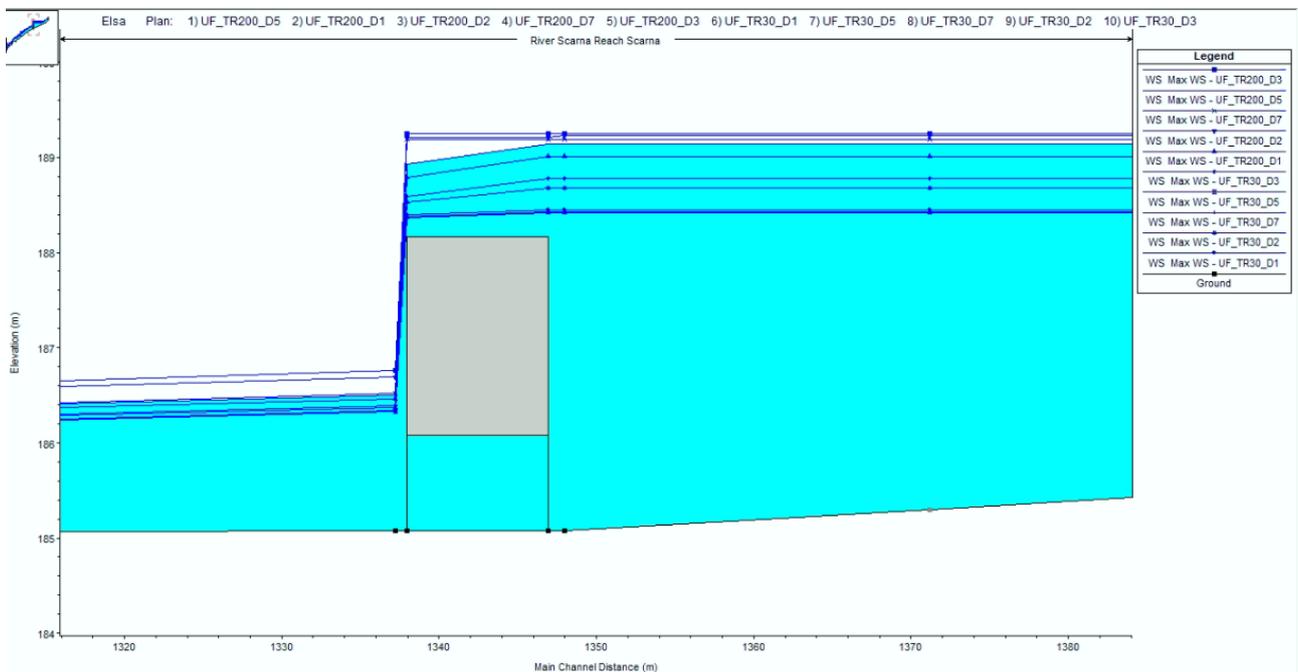


Figura 7.32 – Particolare modello HEC-RAS “Elsa”, profili sulla gaveta dello sbarramento sul T. Scarna



Figura 7.33 – Particolare modello HEC-RAS “Elsa”, cassa di laminazione sul Torrente Scarna



7.2 Modello “Doccina”

Descrizione Generale

Il modello comprende il Fosso della Doccina, che scorrendo da Ovest verso Est attraversa la zona industriale di Str. delle Lellere e si tomba in corrispondenza del centro abitato della zona sud di Colle di Val d'Elsa fino alla confluenza con il F. Elsa.

Il fosso nella zona industriale viene deviato per scorrere lateralmente al piazzale degli stabilimenti, collocato a quota superiore rispetto al fondo d'alveo, nel tratto sono presenti brevi tratti di *culvert* consecutivi e in sponda sinistra si ha il muro di sostegno dei piazzali adiacenti.

A valle il tratto tombato che attraversa l'abitato presenta un consistente dislivello altimetrico tra la sezione di ingresso e quella finale in corrispondenza dell'area golenale sinistra del F. Elsa.



Figura 7.27 – Inquadramento Fosso della Doccina

Caratteristiche del modello

Il modello è realizzato con HEC-RAS 5.0.7, l'asta fluviale del Fosso Doccina è modellato come elemento *river* monodimensionale definito per mezzo di *cross sections* e di una *2D flow area*, che



copre le superfici in sinistra e in destra al Fosso. Nei tratti in cui la modellazione bidimensionale è stata necessaria, le sezioni rilevate sono state impiegate in modo che la modellazione 1D riguardi il solo *main channel*, mentre le aree golenali e di espansione naturale del corso d'acqua sono state modellate *2D flow area*, collegate all'alveo tramite degli sfioratori laterali chiamati *lateral structures*.

A valle, in corrispondenza della sponda sinistra del F. Elsa, è stata inserita una condizione al contorno, *boundary condition lines*, in uscita dalla *storage area*, per simulare i reingressi nel corso d'acqua principale. Alla *boundary condition lines* è stata assegnata una altezza di moto uniforme imponendo come *friction slope* la pendenza d'alveo del tratto di F. Elsa in cui si reimmette.

Ulteriori condizioni al contorno sull'asta sono gli idrogrammi di piena a monte, calcolati così come descritti nei capitoli precedenti, e l'altezza di moto uniforme del tratto terminale, ottenuta imponendo come "friction slope" la pendenza media dell'alveo nel tratto finale del modello, valutata pari a 0.09.

La geometria delle sommità arginali e dei manufatti idraulici presenti lungo i corsi d'acqua è stata ricavata da LIDAR e attraverso una campagna di rilievi di dettaglio.

Per le scabrezze nel corso d'acqua sono stati assunti i seguenti valori del coefficiente di Manning:

- n pari a 0.035 s m^{-1/3} per l'alveo principale;
- n pari a 0.06 s m^{-1/3} fuori dall'alveo principale;

Sintesi dei risultati

Le maggiori criticità sul modello si presentano per durate di pioggia basse (da 1 a 3 ore), sia per Tr200 che per Tr30 anni. L'insufficienza di capacità idraulica delle sezioni avviene nel tratto che costeggia i piazzali industriali prima dell'attraversamento stradale di Via Venezia. I volumi esondati in tali sezioni sono da allagare e sormontare il piano stradale, compresa Str. delle Lellere e la sua rotonda. I deflussi superficiali proseguono quindi interessando anche l'area abitata a valle, dove il fosso è tombato, fino alla sponda sinistra del F. Elsa.

Si rimanda alle tavole allegate alla presente relazione per la consultazione dei risultati sia in termini di aree a pericolosità per alluvioni frequenti (Tr30) e poco frequenti (Tr200).

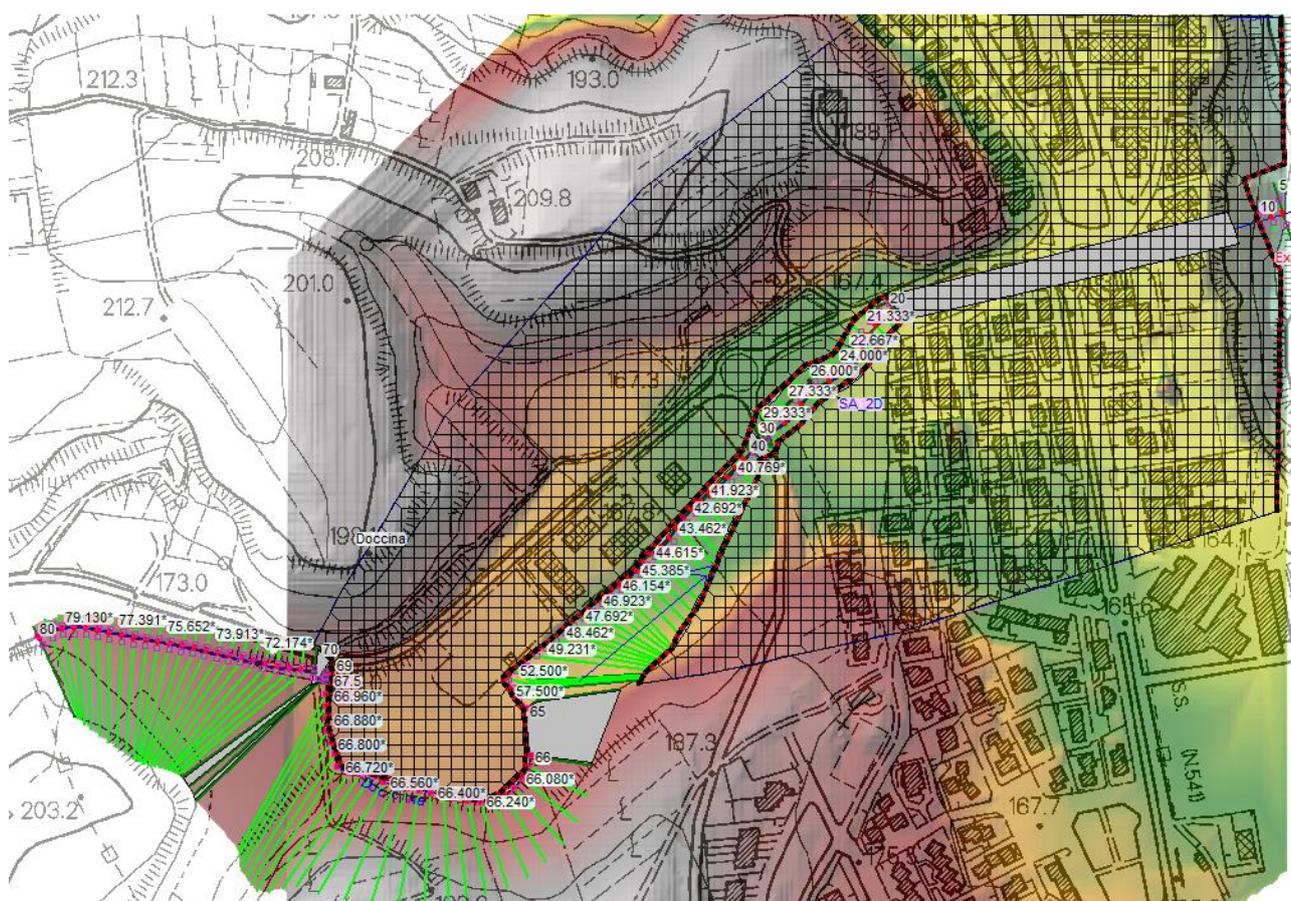


Figura 7.28 – Inquadramento modello HEC-RAS “Doccina”



7.3 Modello “SantAgostino_Convento”

Descrizione Generale

Il modello riguarda il Fosso di Sant’Agostino e il Botro del Convento, affluenti di sinistra del F. Elsa. A monte i due corsi d’acqua scorrono alle pendici del centro storico di Colle di val d’Elsa, “Colle Alta”, collocato a quota nettamente superiore rispetto alle quote d’alveo. A valle, in corrispondenza dell’abitato di Colle di Val d’Elsa, detto “Colle Bassa”, i due corsi d’acqua entrano invece nel sistema di tombamenti sotterranei di Colle di Val d’Elsa per poi essere rilasciati nel F. Elsa. B. del Convento presenta sezione di ingresso al tombamento collocata nel retro del Supermercato Conad, prima dell’attraversamento di Via F. Livini. Il tombamento di Fosso Sant’Agostino principia a monte del parcheggio per l’ascensore di Colle Alta.

I tratti tombati sono assunti concludersi in corrispondenza del canale a cielo aperto parallelo a Via delle Ferriera, qui sono convogliati gli apporti provenienti da più tombamenti prima del tombamento di restituzione nel F. Elsa.



Figura 7.31 – Inquadramento Fosso Sant’Agostino e Botro del Convento



Caratteristiche del modello

Il modello è realizzato con HEC-RAS 5.0.7, le aste fluviali sono modellate come elementi *river* monodimensionali definiti per mezzo di *cross sections*. La modellazione delle due aste si conclude in corrispondenza del canale a cielo aperto che convoglia le acque dei tombamenti di “Colle Bassa”.

Al modello monodimensionale è abbinata una *2D flow area* che copre le superfici urbane di Colle Bassa potenzialmente interessate da allagamenti. Nei tratti in cui la modellazione bidimensionale è stata necessaria, le sezioni rilevate sono state impiegate in modo che la modellazione 1D riguardi il solo *main channel*, mentre le aree golenali e di espansione naturale del corso d'acqua sono state modellate *2D flow area*, collegate all'alveo tramite degli sfioratori laterali chiamati *lateral structures*.

Le condizioni al contorno inserite sono gli idrogrammi di piena per tempi di ritorno 30 e 200 anni ottenuti dalle modellazioni idrologiche in corrispondenza delle sezioni di monte e una *normal depth* nelle sezioni di valle, ottenuta impostando una *friction slope* pari a 0.005.

Per le scabrezze nel corso d'acqua sono stati assunti i seguenti valori del coefficiente di Manning:

- n pari a 0.035 s m^{-1/3} per l'alveo principale;
- n pari a 0.06 s m^{-1/3} fuori dall'alveo principale;

Sintesi dei risultati

Nei tratti a monte del centro abitato non si riscontrano criticità, non si presentano infatti casi di insufficienza di capacità idraulica nelle sezioni con tempi di ritorno di 30 e 200 anni. Le maggiori criticità si hanno a valle in corrispondenza del centro abitato di “Colle Bassa”, causate dall'insufficienza delle sezioni in ingresso al tombamento terminale lungo il Fosso Sant'Agostino per durate di pioggia di 1, 2 a 3 ore. I volumi esondati sono tali da allagare e sormontare il piano stradale e il parcheggio subito a valle. I deflussi superficiali proseguono per un breve tratto arrestandosi tra gli edifici nelle immediate vicinanze.

Si rimanda alle tavole allegate alla presente relazione per la consultazione dei risultati sia in termini di aree a pericolosità per alluvioni frequenti (Tr30) e poco frequenti (Tr200).

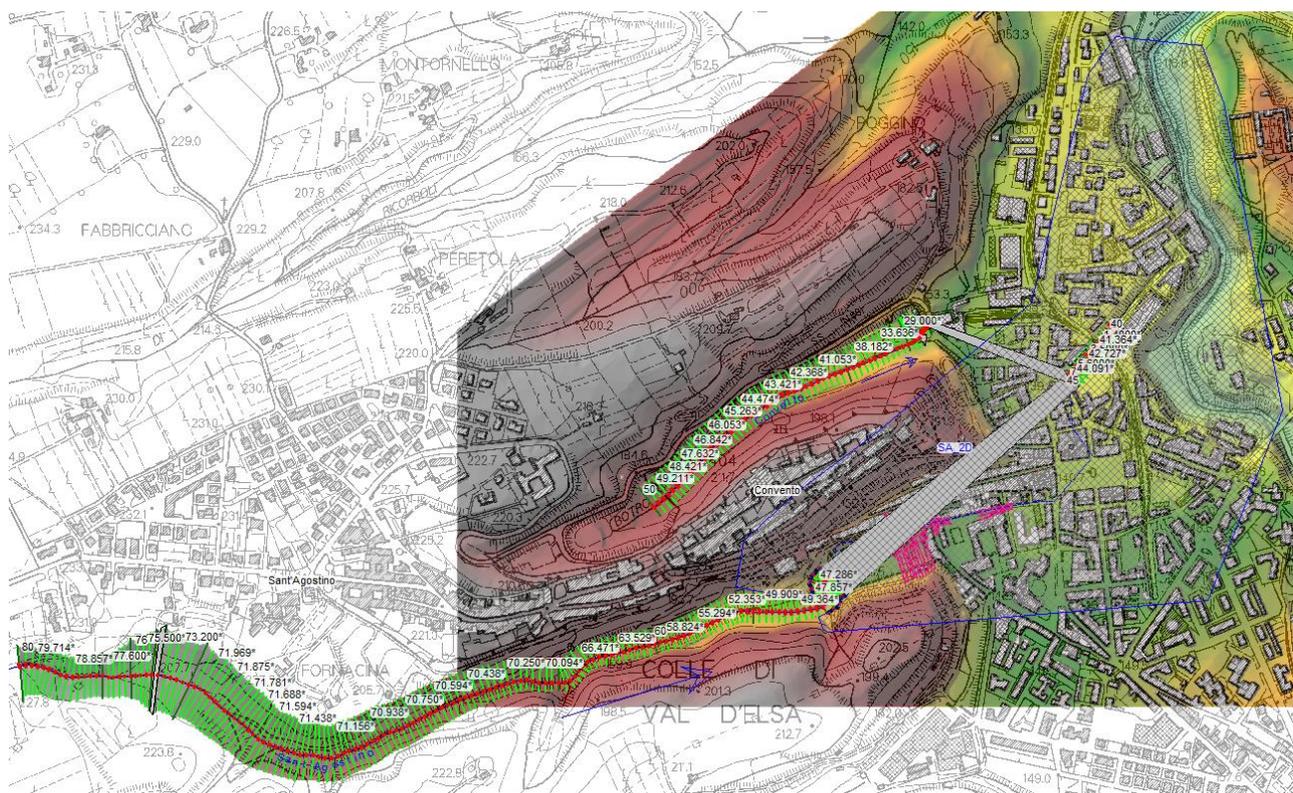


Figura 7.32 – Inquadramento modello HEC-RAS “SantAgostino_Convento”



7.4 Modello “Amboiana”

Descrizione Generale

Il modello comprende un tratto del Fosso Amboiana che scorre attraversando l’area commerciale e industriale in località Belvedere e in prossimità del Raccordo Autostradale Firenze-Siena. Dopo un primo tratto a cielo aperto, il fosso devia e si intuba per un breve tratto costeggiando la SP Colligiana, in seguito si intuba per attraversare la strada stessa e il piazzale degli stabilimenti adiacenti. Proseguendo verso valle, il fosso costeggia zone rurali e presenta due attraversamenti al di sotto del raccordo autostradale.



Figura 7.31 – Inquadramento Fosso Amboiana

Caratteristiche del modello

Il modello è realizzato con HEC-RAS 5.0.7, l’asta fluviale del Fosso Amboiana è modellato come elemento *river* monodimensionale definito per mezzo di *cross sections* e di una *2D flow area*, che copre le superfici in sinistra e in destra al Fosso. Nei tratti in cui la modellazione bidimensionale è stata necessaria, le sezioni rilevate sono state impiegate in modo che la modellazione 1D riguardi il solo *main channel*, mentre le aree golenali e di espansione naturale del corso d’acqua sono state modellate *2D flow area*, collegate all’alveo tramite degli sfioratori laterali chiamati *lateral structures*.



A valle, sono state inserite due condizioni al contorno, *boundary condition lines*, in uscita dalla *storage area*, per simulare il reingresso delle aree allagate nel corso d'acqua. Alla *boundary condition lines* è stata assegnata una altezza di moto uniforme imponendo come *friction slope* la pendenza d'alveo.

Le ulteriori condizioni al contorno sull'asta sono gli idrogrammi di piena a monte, calcolati così come descritti nei capitoli precedenti, e l'altezza di moto uniforme del tratto terminale, ottenuta imponendo come "friction slope" la pendenza media dell'alveo nel tratto finale del modello, valutata pari a 0.007.

La geometria delle sommità arginali e dei manufatti idraulici presenti lungo i corsi d'acqua è stata ricavata da LIDAR e attraverso una campagna di rilievi di dettaglio.

Per le scabrezze nel corso d'acqua sono stati assunti i seguenti valori del coefficiente di Manning:

- n pari a 0.035 s m^{-1/3} per l'alveo principale;
- n pari a 0.06 s m^{-1/3} fuori dall'alveo principale;



Figura 7.32 – Inquadramento modello HEC-RAS “Amboiana”



Sintesi dei risultati

Le maggiori criticità si riscontrano nella zona di monte in corrispondenza dell'area commerciale/industriale, per tutte le durate di pioggia basse (da 1 a 3 ore) e con tempi di ritorno di 30 e 200 anni. L'insufficienza di capacità idraulica delle sezioni nel primo tratto a cielo e nell'attraversamento della SP Colligiana, determina l'allagamento dei piazzali posti in sinistra idraulica del Fosso. I deflussi superficiali generati sono tali da determinare anche il sormonto del raccordo autostradale nell'area precedente le rampe dell'uscita Colle Val d'Elsa Sud.

A valle si riscontrano, invece limitati allagamenti che interessano solo i campi adiacenti senza interessare il piano stradale che si trova a quota superiore.

Si rimanda alle tavole allegate alla presente relazione per la consultazione dei risultati sia in termini di aree a pericolosità per alluvioni frequenti (Tr_{30}) e poco frequenti (Tr_{200}).



8 MAPPA DELLE AREE A PERICOLOSITA' D'ALLUVIONE

Le perimetrazioni delle aree a pericolosità d'alluvione sono state eseguite sulla base dei risultati delle modellazioni precedentemente descritte, nel seguente modo (art. 2 LR 41/2018):

- Aree a pericolosità d'alluvione frequente (per $Tr \leq 30$ anni) – P₃;
- Aree a pericolosità d'alluvione poco frequente ($30 < Tr \leq 200$ anni) – P₂;
- Aree a pericolosità d'alluvione rara o di estrema intensità ($200 < Tr \leq 500$ anni) – P₁;

Le perimetrazioni delle classi di pericolosità P₂ e P₃ sono state eseguite sulla base dei risultati delle modellazioni idrologiche e idrauliche per le durate critiche individuate e disegnate sul dettaglio della CTC in scala 1:10.000. Le mappe di pericolosità, battente, velocità e magnitudo sono state restituite in scala 1:5.000 su Cartografia Tecnica Comunale 10k.

Per la definizione delle aree a pericolosità d'alluvione rara, si è mantenuto in generale la P₁ di PGRA dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale. Nell'area di Gracciano e San Marziale la P₁ è stata definita invece sulla base di criteri storico-inventariali, con particolare riferimento alle "aree di fondovalle" dello strato informativo del Database Geologico Regionale. Nelle aree del Botro del Convento, del Fosso di Sant'Agostino e del Borro di Ricorboli sono stati utilizzati criteri geomorfologici.

Per la definizione delle aree allagate derivanti da modellazione idraulica è stato realizzato un involucro del perimetro massimo di allagamento con taglio del battente a 10 cm (ad esclusione delle zone di transito). L'involucro ha riguardato tutte le durate di pioggia per ogni tempo di ritorno considerato.



9 MAPPA DEI BATTENTI, DELLE VELOCITÀ E DELLE MAGNITUDO IDRAULICA

Al fine di implementare le mappe di pericolosità da alluvione e rischio alluvione, comprensive di battenti e velocità necessari per l'applicazione della L.R. 41/2018, sono redatte le carte dei battenti e quella delle velocità della corrente sulla base dei risultati raster messi a disposizione dai software di calcolo HEC-RAS 5.0.7.

Secondo le definizioni dell'Art.2 della L.R. 41/2018 è definito "battente" l'altezza della lama d'acqua in una determinata area associata allo scenario relativo alle alluvioni poco frequenti.

Si definisce "magnitudo idraulica": la combinazione del battente e della velocità della corrente in una determinata area, associata allo scenario relativo alle alluvioni poco frequenti:

- **magnitudo idraulica moderata:** valori di battente inferiore o uguale a 0,5 metri e velocità inferiore o uguale a 1 metro per secondo (m/s). Nei casi in cui la velocità non sia determinata, battente uguale o inferiore a 0,3 metri;
- **magnitudo idraulica severa:** valori di battente inferiore o uguale a 0,5 metri e velocità superiore a 1 metro per secondo (m/s) oppure battente superiore a 0,5 metri e inferiore o uguale a 1 metro e velocità inferiore o uguale a 1 metro per secondo (m/s). Nei casi in cui la velocità non sia determinata, battente superiore a 0,3 metri e inferiore o uguale a 0,5 metri;
- **magnitudo idraulica molto severa:** battente superiore a 0,5 metri e inferiore o uguale a 1 metro e velocità superiore a 1 metro per secondo (m/s) oppure battente superiore a 1 metro. nei casi in cui la velocità non sia determinata a battente superiore a 0,5 metri;

Le modellazioni bidimensionali eseguite HEC-RAS 5.0.7 hanno permesso di definire la magnitudo idraulica sulla base dei valori dei battenti e delle velocità ricavata dall'esecuzione del codice di calcolo e restituiti in formato raster su cartografia.

I raster dei battenti idraulici e delle velocità relativi alle aree a pericolosità da alluvione poco frequente, sono stati realizzati mediante inviluppo dei valori massimi per tutte le durate di pioggia considerate.

Il raster della magnitudo idraulica è stato realizzato combinando il raster dei battenti idraulici massimi con il raster della velocità massime. Fa eccezione l'area della cassa S. Giulia; data la disponibilità dei soli battenti, la magnitudo è stata determinata sulla base solo di quest'ultimi (art.2 della LR 41/2018).



10 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Con Decreto Dirigenziale del Responsabile del Settore Assetto del Territorio - Direzione Difesa del Suolo e Protezione Civile della Regione Toscana n. 21370 del 02-12-2019, il Comune di Colle Val d'Elsa è stato ammesso al finanziamento inerente al bando per la realizzazione di studi per l'implementazione delle mappe di pericolosità da alluvione e rischio di alluvioni, comprensive di carte dei battenti, velocità e magnitudo idraulica, proprio per l'applicazione della L.R. 41/2018.

Gli studi idrologico-idraulici precedentemente descritti ed utilizzati per la definizione del nuovo Quadro Conoscitivo di PS sono gli stessi di quelli redatti per il bando regionale citato, che hanno ottenuto il nulla osta dell'AdBDAS (prot. 8888/2020 del 25-11-2020) e del Settore Genio Civile Valdarno Superiore.

Per la realizzazione degli studi idraulici finalizzati all'implementazione delle mappe di pericolosità da alluvione e rischio di alluvioni, comprensive di carte dei battenti, velocità e magnitudo idraulica, si sono svolte le seguenti attività:

- attività sul campo, consistenti in sopralluoghi delle aree oggetto dello studio;
- modellazione idrologica, con metodo "tipo ALTO" (Ia e Ks per la stima delle perdite e trasformata di Nash)
- modellazione idraulica 1D e 2D con HEC-RAS 5.0.7;
- redazione degli elaborati grafici delle mappe di pericolosità, battenti, velocità e magnitudo.

La definizione delle aree a pericolosità d'alluvione deriva da valutazioni ed elaborazioni sviluppate tramite modelli informatici basati su dati, conoscenze e parametri vigenti allo stato attuale.

Qualsiasi modifica di tali condizioni, su cui sono state elaborate le valutazioni di carattere idrologico idraulico, pregiudicano la validità di quanto esposto e potrebbero rendere necessaria una rivalutazione del quadro conoscitivo.

Occorre osservare che i risultati del presente studio sono vincolati al mantenimento delle attuali condizioni e assetti del reticolo idrografico; eventuali modifiche di tali assetti impongono la necessità di una revisione dei presenti risultati.

Inoltre si ritiene doveroso osservare che tali risultati dovranno essere aggiornati anche in conseguenza di una possibile futura espansione edilizia, dell'eventuale approvazione di varianti al



Piano Operativo, delle variazioni significative dell'assetto dell'uso del suolo o delle reti idrauliche naturali e artificiali interferenti con le aree investigate.

Arezzo, Aprile 2021

I professionisti incaricati

Cooperativa Civile STP Soc. Coop

Ing. Luca Moretti

Ing. Lorenzo Lari

ProGeo Engineering Srl

Geol. Massimiliano Rossi

Geol. Fabio Poggi

Ing. Mirko Frasconi

Ing. Davide Giovannuzzi