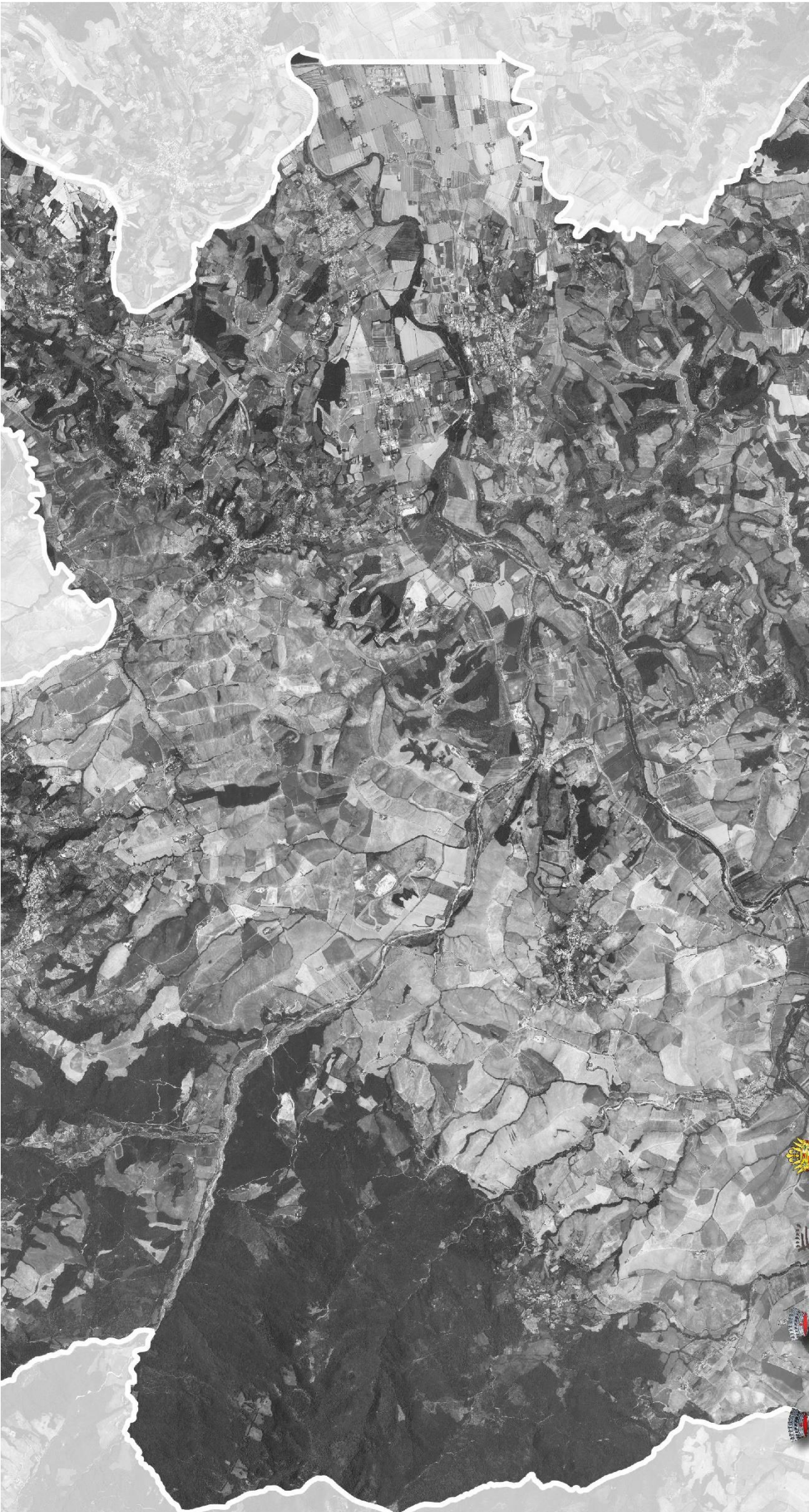




PSI 2022 CHIANNI, LAJATICO, PECCIOLI, TERRICCIOIOLA



Piano Strutturale Intercomunale
Legge Regionale 65/2014 e s.m.i.

ELAB PSI
Q1.001
Luglio 2026

Relazione idrologica idraulica





Sindaci

Giacomo TARRINI (Comune di Chianni)
Alessio BARBAFIERI (Comune di Lajatico)
Renzo MACELLONI (Comune di Peccioli)
Mirko BINI (Comune di Terricciola)

Responsabile Procedimento:

Arch. Antonio CORTESE

Garante dell'informazione e della partecipazione:

Ing. Stefano PARRI

Ufficio di Piano:

Ing. Stefano PARRI (Comune di Chianni)
Geom. Massimo GIANNELLI (Comune di Lajatico)
Arch. Antonio CORTESE (Comune di Peccioli)
Geom. Adriano BASSI e Geom. Riccardo TURCHI (Comune di Terricciola)

GRUPPO DI LAVORO

Coordinamento Generale

Urb. Daniele RALLO

Responsabile Contrattuale

Urb. Raffaele GEROMETTA

Responsabile Coordinamento Locale

Arch. Antonio MUGNAI

Progetto Urbanistico

Urb. Daniele RALLO
Arch. Antonio MUGNAI
Urb. Ivan SIGNORILE

SIT e Cartografia

Urb. Lisa DE GASPER
Urb. Ivan SIGNORILE

VAS

Ing. Elettra LOWENTHAL
Dott. Andrea LOTENI DELLE VEDOVE

Aspetti geologici e sismici

Geol. Francesca FRANCHI (Geoprogetti)
Geol. Alberto FRULLINI (Geoprogetti)
Ing. Simone GALARDINI (Dream)

Aspetti idraulici

Ing. Simone POZZOLINI (HS ingegneria)

Collaboratori:

Ing. Giacomo ABRARDO
Ing. Virgilio GRIGIOTTI
Ing. Lino POLLASTRI (MATE)



<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

INDICE GENERALE

1. PREMESSA.....	2
2. STUDI PREGRESSI SULLE AREE DI INTERESSE.....	3
3. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO.....	4
4. RELAZIONE IDROLOGICA.....	6
4.1. <i>Caratteristiche geomorfologiche dei bacini di interesse.....</i>	<i>6</i>
4.2. <i>Definizione degli afflussi.....</i>	<i>9</i>
4.2.1. <i>Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica.....</i>	<i>9</i>
4.2.2. <i>Ietogramma di progetto e fattore di ragguaglio.....</i>	<i>14</i>
4.3. <i>Determinazione delle perdite di bacino: Il metodo CN.....</i>	<i>15</i>
4.4. <i>Trasformazione afflussi netti – deflussi.....</i>	<i>19</i>
4.4.1. <i>Idrogramma unitario di Clark.....</i>	<i>19</i>
4.5. <i>Propagazione dei deflussi.....</i>	<i>23</i>
4.6. <i>Risultati della modellazione idrologica.....</i>	<i>25</i>
5. RELAZIONE IDRAULICA.....	35
5.1. <i>Modelli di calcolo RAS.....</i>	<i>36</i>
5.1.1. <i>Modello di calcolo a moto vario monodimensionale.....</i>	<i>36</i>
5.1.1. <i>Modello di calcolo a moto vario bidimensionale.....</i>	<i>37</i>
5.1.2. <i>Modello di calcolo a moto permanente.....</i>	<i>39</i>
5.2. <i>Modelli idraulici dell'area di studio.....</i>	<i>41</i>
5.2.1. <i>Caratteristiche geometriche.....</i>	<i>42</i>
5.2.2. <i>Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata.....</i>	<i>46</i>
5.2.3. <i>Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena.....</i>	<i>49</i>
5.2.4. <i>Impostazioni generali di calcolo.....</i>	<i>52</i>
5.2.5. <i>Scenari simulati.....</i>	<i>53</i>
6. ANALISI DEI RISULTATI.....	55
7. ALLEGATI.....	56

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

1. PREMESSA

La presente indagine è redatta a supporto del Piano Strutturale Intercomunale (PSI) Alta Valdera dei Comuni di Peccioli, Lajatico, Terricciola e Chianni (PI).

L'indagine è redatta ai sensi del Decreto del Presidente della Giunta Regionale 5/R/2020 *"Regolamento di attuazione dell'articolo 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."* e della L.R. 41/2018 *"Disposizioni in materia di rischio alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010 n 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni)"*, oltre che della vigente Disciplina di Piano del Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) dell'Autorità di Distretto Appennino Settentrionale.

I corsi d'acqua presi in esame in questa sede sono quelli le cui esondazioni possono potenzialmente interessare gli ambiti del territorio urbanizzato e le aree potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, sulla base delle indicazioni delle amministrazioni comunali.

Nel seguito, dopo un inquadramento generale relativo al territorio ed ai corsi d'acqua oggetto di analisi, si procede dapprima con l'analisi idrologica dei corsi d'acqua di interesse, successivamente viene descritta la modellazione idraulica implementata per la definizione delle aree di esondazione trentennali e duecentennali e delle relativi classi di magnitudo.

Si precisa che, sulla base del grado di aggiornamento del quadro conoscitivo di PGRA attualmente vigente, le indagini idrologico idrauliche hanno riguardato essenzialmente i Comuni di Chianni e Lajatico, come descritto nel seguito.

Le analisi qui condotte riproducono quanto già presentato in sede di adozione del presente Piano, con le precisazioni richieste dal competente Genio Civile, per le quali si rimanda anche alla nota di accompagnamento allegata. Le uniche modifiche apportate alla modellazione idraulica sono legate al modello del Botro delle Macchie nella zona della Sterza. Nella fase tra adozione ed approvazione il Comune di Lajatico ha infatti trasmesso la documentazione relativa ad avvenute modifiche morfologiche del piano campagna nelle aree circostanti il "Centro Educativo 0-6 A. Bocelli", legate alla realizzazione del complesso scolastico, ed effettuate dopo la realizzazione dei voli Lidar della Regione Toscana, ed ante data di adozione del presente Piano Intercomunale. La modellazione del Botro delle Macchie, che incide sull'area in esame, è stata quindi aggiornata sulla base del rilievo topografico dello stato attuale dei luoghi.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

2. STUDI PREGRESSI SULLE AREE DI INTERESSE

Il quadro conoscitivo della pericolosità idraulica disponibile per i comuni in esame deriva da più studi, con diversi gradi di dettaglio ed aggiornamento. In particolare:

- per il territorio comunale di Peccioli si fa riferimento agli studi già redatti sul reticolo idrografico a supporto del Piano Strutturale e del Piano Operativo (*Indagini idrauliche per il Piano Strutturale*, H.S. Ingegneria 2015; *Studio idraulico del Fosso Recinaio ed affluenti a supporto del Piano Operativo del Comune di Peccioli*, H.S. Ingegneria 2018; *Studio idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Peccioli*, H.S. Ingegneria 2019), senza ulteriore analisi, essendo tali studi già aggiornati alle vigenti curve di precipitazione ed approvati dagli enti competenti;
- per il territorio comunale di Terricciola si ha una situazione analoga a Peccioli, per cui si fa riferimento agli studi già redatti sul reticolo idrografico a supporto del Piano Operativo, (*Studio idrologico idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Terricciola* H.S. Ingegneria 2022) senza ulteriore analisi;
- per i Comuni di Lajatico e Chianni mancano studi aggiornati sul territorio comunale, per cui si procede con la redazione delle indagini idrologiche ed idrauliche sul reticolo secondario di cui alla LR 79/2012.

Per quel che riguarda in particolare il reticolo principale del Piano Gestione Rischio Alluvioni del Distretto Appennino Settentrionale nell'area in esame sono presenti i corsi d'acqua Cascina, Era e Roglio: per tali corsi d'acqua si fa riferimento alle perimetrazioni risultanti dagli studi recentemente redatti da H.S. Ingegneria (*Studio idrologico idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio*, H.S. Ingegneria 2021) a supporto degli strumenti urbanistici dei Comuni di Ponsacco, Terricciola e Peccioli, ed approvati dal competente Distretto Appennino Settentrionale.

Sulla base di quanto sopra sono state impostate le indagini idrauliche descritte a seguire.

Nella scelta degli approcci di calcolo seguiti (in particolare per la modellazione idrologica) si è cercato di mantenere un approccio coerente con gli studi precedentemente redatti sull'area in esame.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

3. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

Nell'area di studio in esame il corso d'acqua di dimensioni maggiori è il fiume Era. Gli affluenti principali (facenti parti del reticolo principale di PGRA) sono il fiume Cascina ed il torrente Roglio, affluenti rispettivamente di sinistra e destra. Sono poi presenti ulteriori aste a carattere torrentizio, tra cui i principali sono il Torrente Fosce e il torrente Ragone.

Il reticolo idraulico considerato in fase di modellazione comprende i seguenti corsi d'acqua del reticolo secondario, facenti parti del reticolo idrografico di riferimento della Regione Toscana di cui alla LR 79/2012, elencati ordinati per comuni, da Ovest ad Est e da Sud a Nord:

- Comune di Chianni
 - BV16307;
 - BV16579;
 - Botro San Donato;
 - Fiume Cascina.
- Comune di Lajatico
 - Torrente Fosce;
 - Botro delle Capanne;
 - BV17658;
 - Botro delle Macchie.

La seguente figura riporta l'inquadramento dei corsi d'acqua oggetto di modellazione.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>



Figura 1: Inquadramento del reticolo oggetto di studio

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

4. RELAZIONE IDROLOGICA

Scopo della presente relazione idrologica è quello di determinare le massime portate e gli idrogrammi di massima piena attesi nei tratti dei corsi d'acqua da analizzare per la definizione delle condizioni di pericolosità idraulica nelle aree di interesse ai fini urbanistici.

I tempi di ritorno assunti nell'analisi idrologica sono pari a 30 e 200 anni.

La modellazione idrologica è stata eseguita con il software HMS, con approccio coerente con gli studi pregressi che hanno interessato il territorio in esame.

La seguente figura riporta la schermata del modello HMS realizzato.

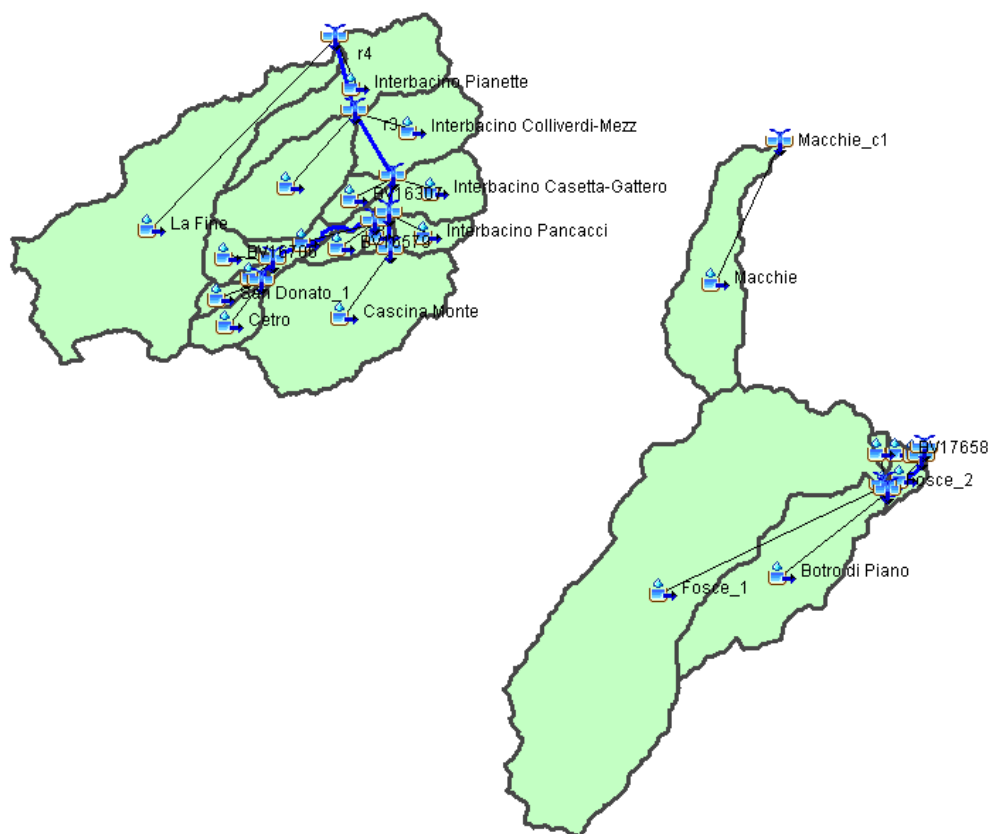


Figura 2: Planimetria di modellazione idrologica software HMS

4.1. Caratteristiche geomorfologiche dei bacini di interesse

Le principali caratteristiche geomorfologiche dei bacini idrologici sono state individuate sulla base delle seguenti fonti: Carta Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:10000 ed 1:2000, dove disponibile, modello digitale del terreno (DTM) della Regione Toscana con risoluzione 10m x 10m integrato, laddove disponibili, con i dati dei rilievi LIDAR del terreno con risoluzione 1m x 1m, strato informativo del reticolo idrografico della Regione Toscana.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

In Tabella 1 vengono riportate le caratteristiche morfologiche di ciascun bacino, suddivisi comune per comune.

In Figura 3, invece, è riportato l'inquadramento dei bacini oggetto di studio su base DTM 10mx10m.

Bacino	Comune	Area [km²]	Pendenza media [-]	z_{max} [m s.l.m.]	z_{min} [m s.l.m.]
BV16307	Chianni	0.422	0.081	156.912	84.767
BV16579	Chianni	0.325	0.138	233.966	101.229
BV16706	Chianni	0.534	0.308	486.517	219.890
Cetro	Chianni	0.641	0.329	550.13	269.60
San Donato_1	Chianni	0.26	0.357	540	269.6
San Donato_2	Chianni	0.12	0.359	432.06	219.89
San Donato_3	Chianni	0.54	0.220	340	101.23
San Donato_4	Chianni	0.19	0.081	140	92.32
Botro di Piano	Lajatico	3.713	0.152	438.700	89.328
BV17658	Lajatico	0.070	0.117	130.000	82.374
Capanne	Lajatico	0.129	0.142	147.893	88.914
Fosce_1	Lajatico	14.75	0.204	646.73	88.91
Fosce_2	Lajatico	0.02	0.015	92.83	89.33
Fosce_3	Lajatico	0.32	0.109	143.99	82.37
Fosce_4	Lajatico	0.03	0.078	104.97	80.27
Macchie	Lajatico	2.94	0.160	211.7	54.43
Cascina Monte	Chianni	4.438	0.0443	422.156	102.136
Cafaggio	Chianni	2.272	0.0227	403.188	73.207
Interbacino Pancacci	Chianni	0.536	0.0054	171.866	92.474
Interbacino Casetta-Gattero	Chianni/Terriciola	1.202	0.0117	174.505	84.680
Interbacino Coliverdi-Mezzane	Chianni/Terriciola	1.882	0.0190	174.654	73.257
La Fine	Chianni/Casciana Terme Lari	8.02	0.0801	586.019	62.933
Interbacino Pianette	Chianni/Terriciola	2.52	0.0252	288.364	63.023

Tabella 1: Principali caratteristiche geomorfologiche dei bacini oggetto di studio

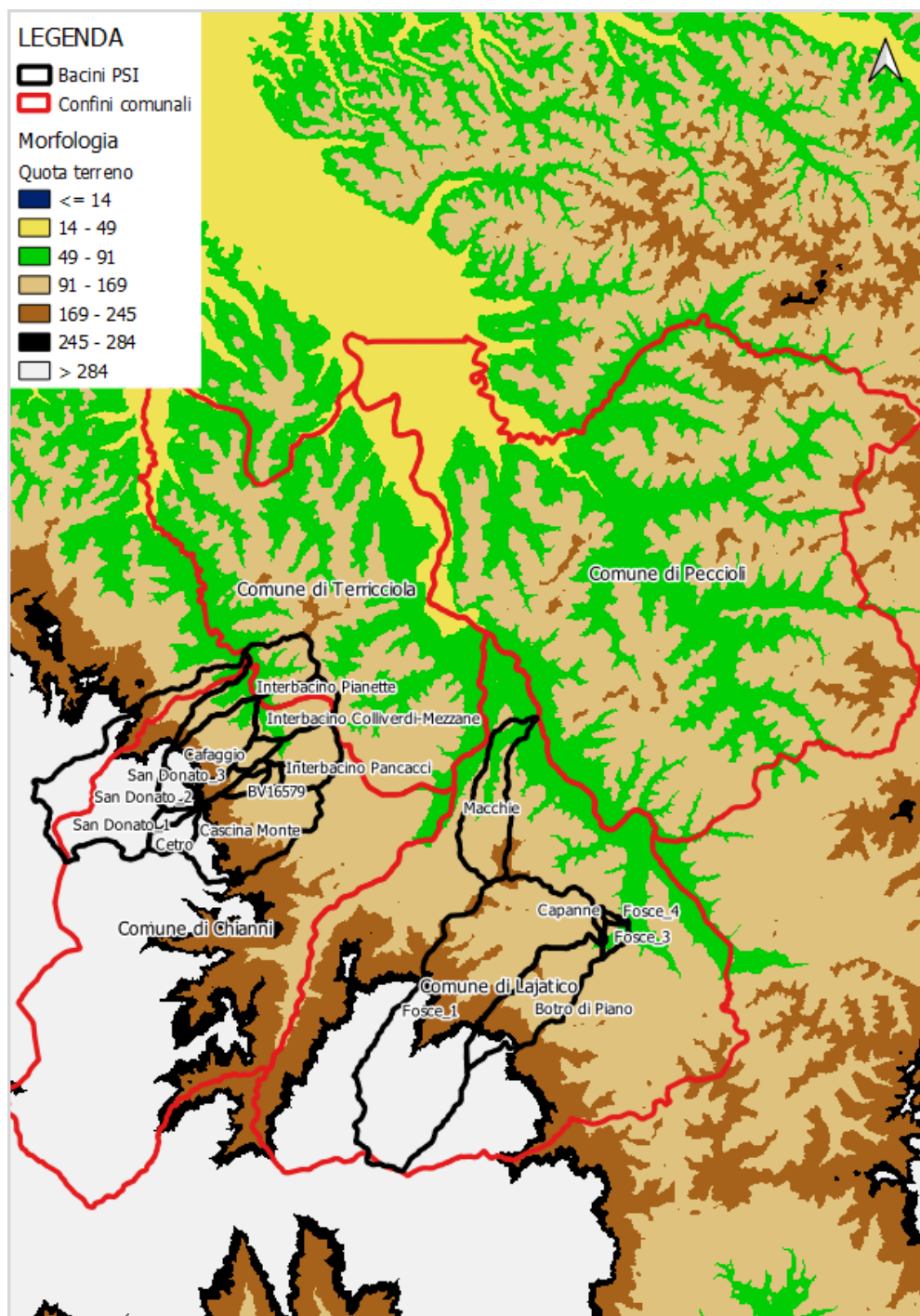


Figura 3: Altimetria del terreno sulla base del DTM Regione Toscana 10mx10m.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

4.2. Definizione degli afflussi

4.2.1. Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica

Per la stima delle piogge intense è stato utilizzato il modello TCEV (*Two Component Extreme Value*), facendo riferimento alle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP) dedotte nell'ambito dell' "Accordo di Collaborazione Scientifica RT-UNIFI - Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme", di cui alla D.G.R.T. 1133/2012 e basate sulle elaborazioni dei dati di pioggia aggiornati fino al 2012.

Il modello a doppia componente TCEV interpreta gli eventi massimi annuali come il risultato di una miscela di due popolazioni distinte: la prima relativa agli eventi massimi ordinari, più frequenti ma meno intensi, e la seconda relativa agli eventi massimi straordinari, meno frequenti e spesso catastrofici. La distribuzione TCEV ha espressione:

$$P(x) = \exp\left[-\lambda_1 \exp(-x/\theta_1) - \lambda_2 \exp(-x/\theta_2)\right],$$

dove $P(x)$ indica la probabilità di non superamento del valore x della generica variabile casuale X mentre λ_i e θ_i ($i=1,2$) sono i quattro parametri (positivi) della distribuzione.

La forma canonica della distribuzione (1) è:

$$P(z) = \exp\left[-\exp(-z) - \lambda \exp(-z/\theta)\right] \quad z = (x - \varepsilon_1)/\theta_1;$$

$$\varepsilon_1 = \theta_1 \ln \lambda_1, \quad \theta = \theta_2/\theta_1, \quad \lambda = \lambda_2/(\lambda_1)^{1/\theta};$$

Per la stima dei parametri della distribuzione è stato seguito un approccio gerarchico di regionalizzazione (Figura 4).

Attraverso l'analisi di frequenza regionale sono state stimate su tutto il territorio regionale le altezze di pioggia per le durate 1, 3, 6, 12, 24 ore ed i tempi di ritorno 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 500 anni. Attraverso una regressione lineare sono stati calcolati i parametri delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica a ed n , grazie ai quali è possibile calcolare, per qualsiasi durata, in qualsiasi punto del territorio regionale l'altezza di pioggia per i tempi di ritorno suddetti.

I parametri a ed n sono forniti in formato raster, con celle aventi risoluzione 1kmx1km.

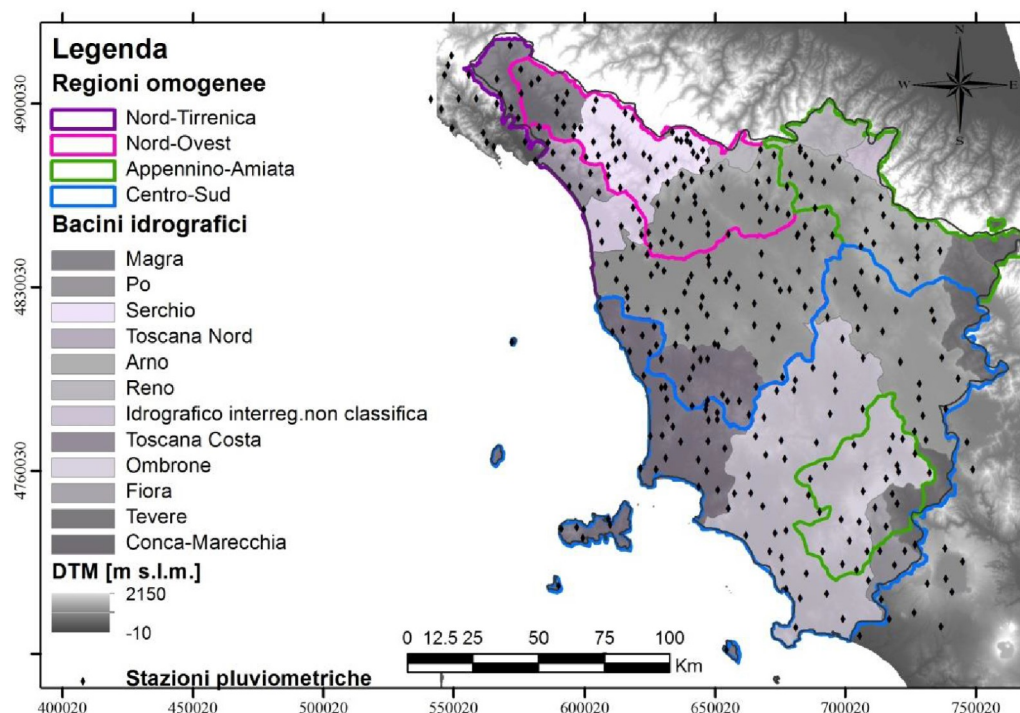


Figura 4: Suddivisione dell'area di studio in regioni omogenee.

La determinazione dei parametri a ed n è stata effettuata considerando due macro aree relative agli affluenti del Cascina ed a quelli dell'Era.

	Tr 30 anni	Tr 200 anni
a	58.957	82.045
n	0.266	0.291

Tabella 2: Valori parametri a ed n per affluenti Cascina

	Tr 30 anni	Tr 200 anni
a	55.219	76.847
n	0.278	0.304

Tabella 3: Valori parametri a ed n per affluenti Era

La distribuzione dei parametri a e n per le aree di interesse e per i tempi di ritorno considerati, ovvero 30 e 200 anni è riportata nelle seguenti figure.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

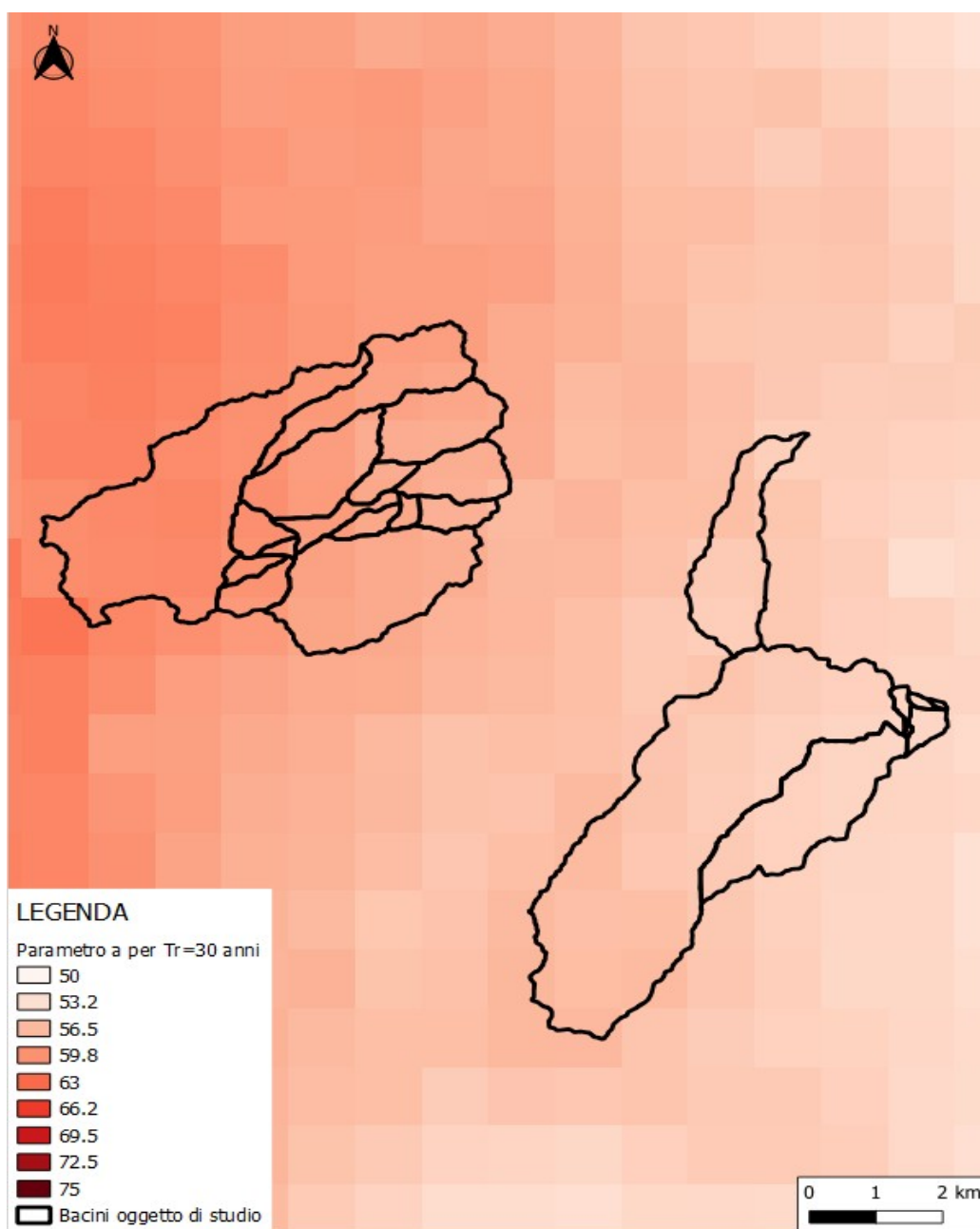


Figura 5: Variabilità spaziale del parametro a per $Tr30$.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

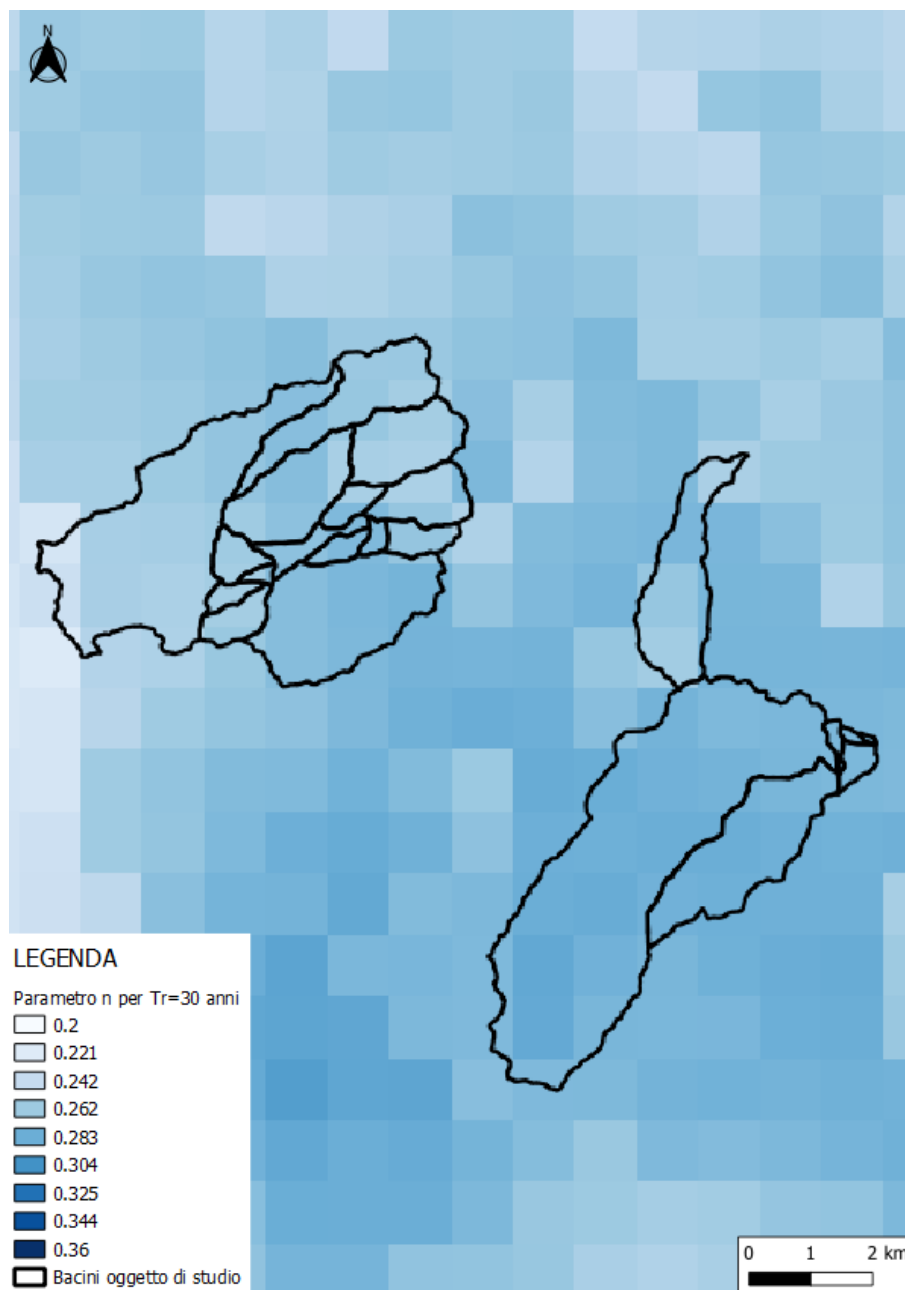


Figura 6: Variabilità spaziale del parametro n per Tr30.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

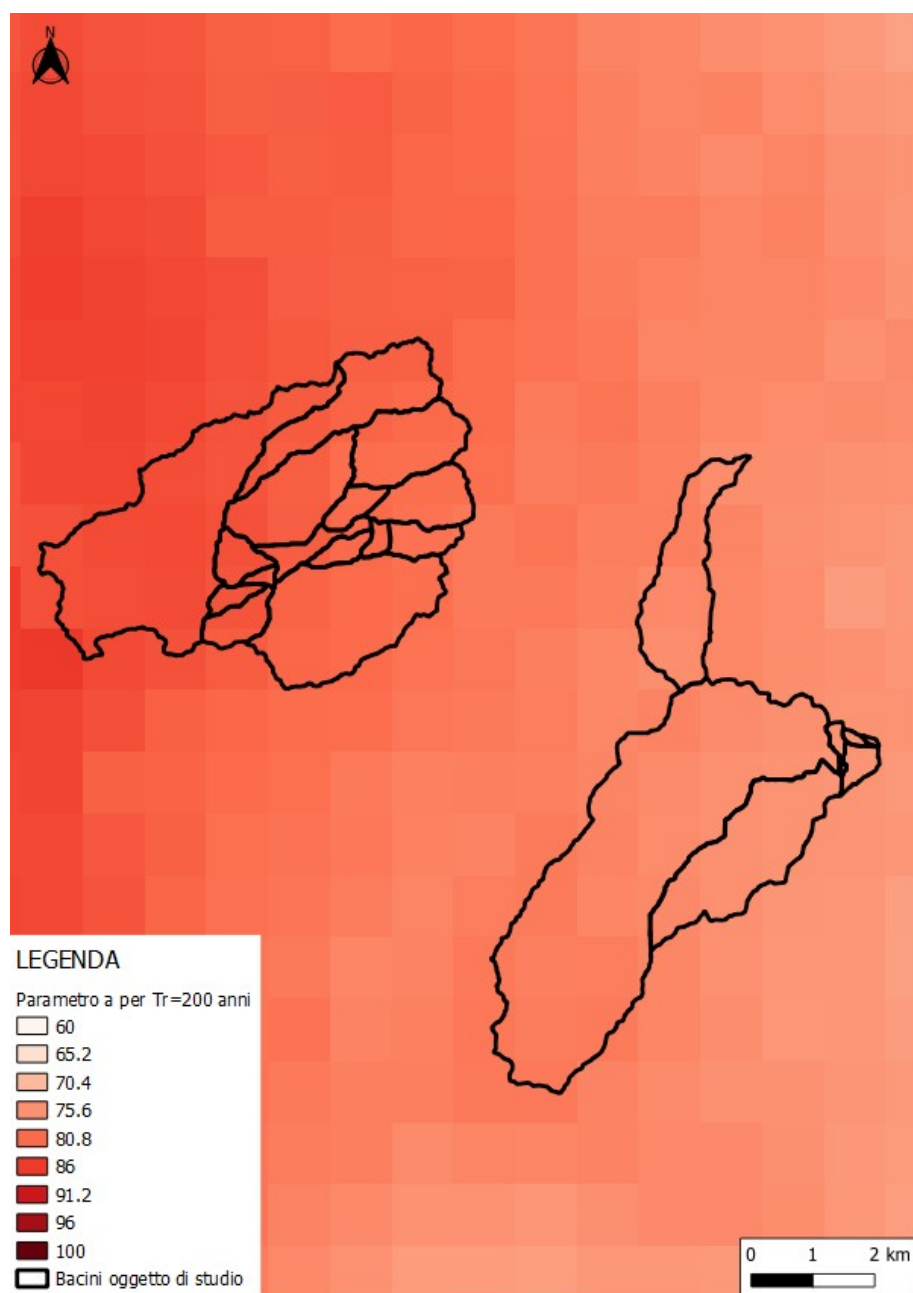


Figura 7: Variabilità spaziale del parametro a per Tr200.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

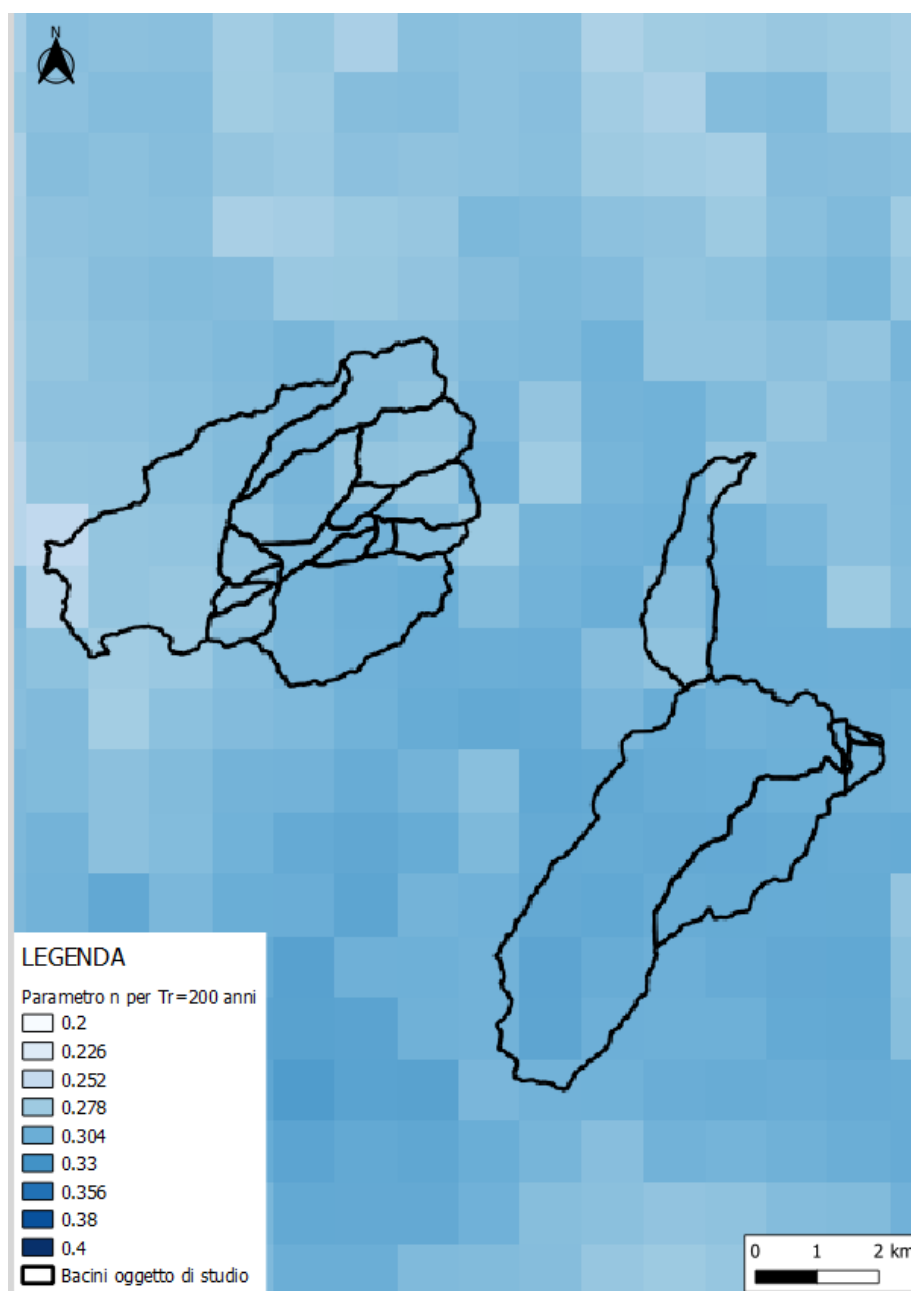


Figura 8: Variabilità spaziale del parametro n per Tr200.

4.2.2. Ietogramma di progetto e fattore di ragguaglio

Per le simulazioni idrologiche eseguite si è fatto riferimento ad uno ietogramma triangolare con picco di intensità posto al 50% della durata dell'evento di precipitazione ($r = 0.5$).

Date le ridotte dimensioni dei bacini in esame, non si è cautelativamente proceduto con il ragguaglio delle precipitazioni all'area.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

4.3. Determinazione delle perdite di bacino: Il metodo CN

Per la valutazione delle perdite di bacino è stato utilizzato il metodo Curve Number (CN), elaborato dal Soil Conservation Service (SCS). Nella stima dei dati di perdita si è fatto riferimento ai dati più aggiornati disponibili sul sito della Regione Toscana.

Per l'assegnazione del parametro *CN* è necessario conoscere i dati relativi al gruppo idrologico dei suoli ricadenti nell'area di analisi, le condizioni di umidità del suolo, l'uso e copertura del suolo.

Per quanto riguarda le informazioni sul gruppo idrologico dei suoli, si è fatto riferimento a quanto presente nel DB Pedologico della Regione Toscana, il quale identifica quattro gruppi idrologici: A, B, C, D. La distribuzione spaziale di tali gruppi è rappresentata in Figura 9.

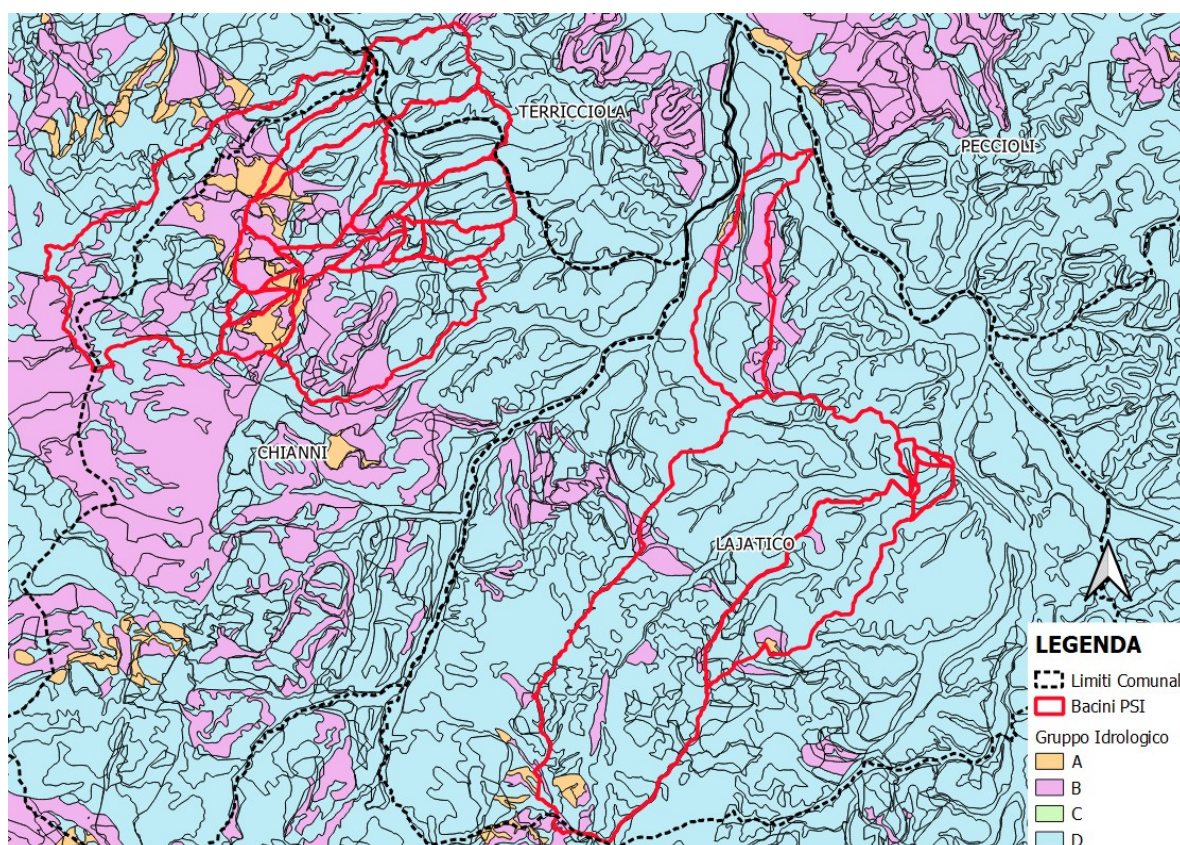


Figura 9: Gruppo idrologico per i bacini oggetto di studio

Vengono poi riportati di seguito i valori relativi all'uso e copertura del suolo che sono stati ricavati dal database UCS 2019 della Regione Toscana.

PROGETTO:	ELABORATO:
Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera	Relazione idrologica idraulica

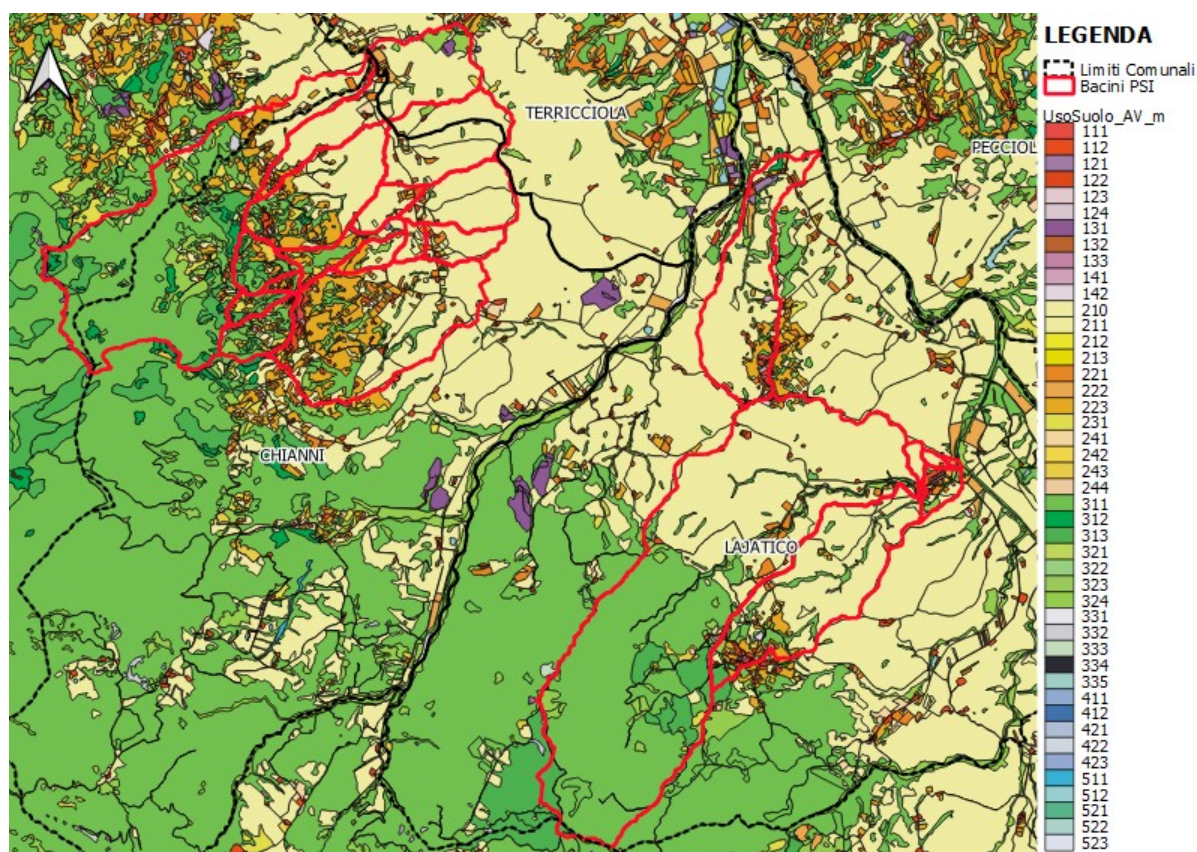


Figura 10: Distribuzione dell'uso e copertura del suolo

Per l'assegnazione del parametro *CN* si è fatto riferimento alla specifica tabella riportata in "Macroattività B - Modellazione idrologica Attività B2: Modellazione idrologica caso pilota. Implementazione modello distribuito per la Toscana MOBIDIC. Addendum: parametrizzazione HMS" (Università di Firenze, Regione Toscana, 2014). È stata tuttavia effettuata una correzione a tale tabella in merito ad i valori assegnati alle aree boscate (codici Corine 311, 312 e 313) sulla base delle indicazioni di cui alle tabelle del metodo CN redatte dall'USDA Natural Resources Conservation Service (Tabella 9-1, National Engineering Handbook, part 630 Hydrology, Chapter 9: Hydrologic Soil Cover complexes), come indicato nella Tabella 4. La distribuzione spaziale del parametro CN è rappresentata nella figura sotto riportata.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

	Valori Regione Toscana				Valori USDA			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Boschi di latifoglie (311)	36	60	73	79	36	48	57	63
Boschi di conifere (312)	36	60	73	79	36	48	57	63
Boschi misti di latifoglie e conifere (313)	36	60	73	79	36	48	57	63

Tabella 4: parametro CN per le aree boscate. Per la colonna A dei valori USDA si sono assunti gli stessi valori proposti dalla Regione Toscana, in assenza di indicazioni sul *National Engineering Handbook, part 630 Hydrology*.

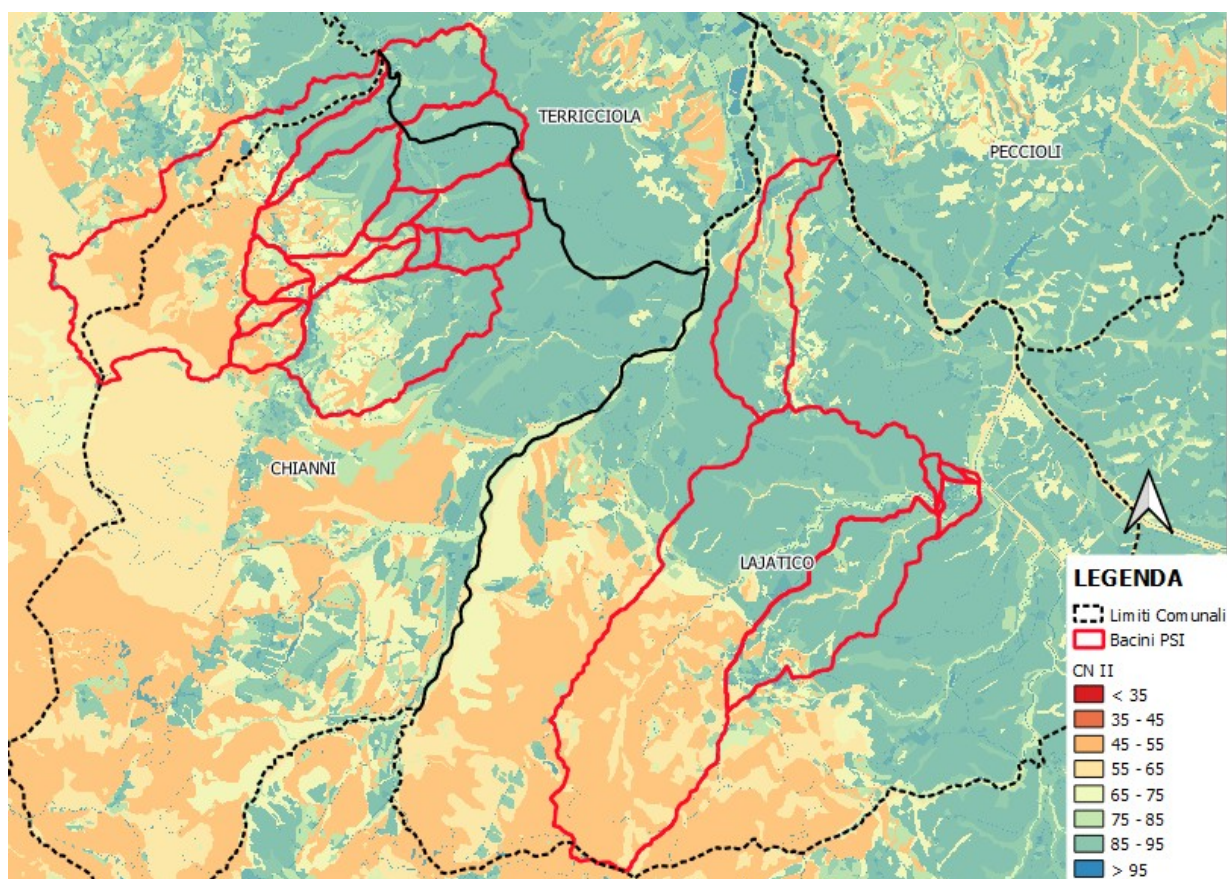


Tabella 5: Distribuzione del parametro CN II

Si fa presente che nonostante le figure riportino i valori di CN II, nella modellazione idrologica sono stati utilizzati i valori relativi al CN III.

Il calcolo standard del *CN* fa riferimento a condizioni di umidità medie. La valutazione del CN per le altre condizioni di umidità può essere effettuata tramite le seguenti relazioni:

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

$$CN(I) = \frac{4.2 \cdot CN(II)}{10 - 0.058 \cdot CN(II)} \quad CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0.13 \cdot CN(II)}$$

Nel presente studio è stata presa a riferimento la condizione AMC III di elevata umidità.

A partire dal valore del CN_{III} appena ricavato, è possibile stimare le perdite iniziali I_a in mm dovute all'intercettazione, infiltrazione e saturazione delle depressioni superficiali, variabile solitamente nell'intervallo 0.1-0.4 S. Per il caso in esame si assume $I_a = 0.1$ S. La valutazione di S viene eseguita noto il valore dell'indice CN , secondo la seguente relazione, valida per S espressa in mm:

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Si riporta in Tabella 6 il valore del parametro CN_{III} e di I_a per i vari sottobacini oggetto di studio.

Bacino	CN_{III}	I_a
Botro di Piano	91.262	2.432
BV16307	92.568	2.039
BV16579	87.045	3.780
BV16706	75.803	8.108
BV17658	93.611	1.733
Capanne	93.818	1.674
Cetro	77.305	7.457
Fosce_1	82.554	5.368
Fosce_2	92.732	1.991
Fosce_3	92.351	2.104
Fosce_4	89.335	3.032
Macchie	90.773	2.582
San Donato_1	75.014	8.460
San Donato_2	81.275	5.852
San Donato_3	82.000	5.576
San Donato_4	93.644	1.724

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

Bacino	CNIII	I_a
Cascina Monte	87.900	3.496
Cafaggio	87.262	3.708
Interbacino Pancacci	94.045	1.608
Interbacino Casetta-Gattero	93.655	1.721
Interbacino Colliverdi-Mezzane	93.636	1.726
La Fine	76.808	7.669
Interbacino Pianette	92.650	2.015

Tabella 6: Valori del parametro CNIII e I_a

4.4. Trasformazione afflussi netti – deflussi

Per la trasformazione afflussi netti deflussi è stato scelto di utilizzare l'idrogramma di Clark, in coerenza con l'approccio seguito nel citato studio a scala generale del bacino dell'Era redatto da H.S. Ingegneria.

4.4.1. Idrogramma unitario di Clark

La definizione dell'IU di Clark nasce dalla considerazione che i fenomeni fisici che governano la trasformazione afflussi deflussi sono essenzialmente due:

- la traslazione della pioggia netta dal suo punto di origine alla sezione di chiusura del bacino idrografico;
- i fenomeni di invaso e svasso di acqua che avvengono in un bacino soggetto ad eventi meteorici.

La sua applicazione richiede la definizione del tempo di corrivazione del bacino " T_c " e della costante di invaso del serbatoio lineare " R ", che rappresenta i fenomeni di invaso nel bacino idrografico.

Secondo Eaglin e Wanielista la costante R può essere posta in prima approssimazione uguale al tempo di corrivazione del bacino. Inoltre, sulla base degli studi condotti da HEC-USACE, il rapporto $R/(T_c+R)$ assume generalmente un valore costante all'interno di regioni idrologiche omogenee. Tale parametro varia generalmente da valori prossimi a 0.1, tipici solitamente di idrogrammi caratterizzati da un ramo ascendente ripido (ad esempio idrogrammi generati da bacini urbani o da bacini ad elevata pendenza media) fino a valori prossimi a 0.7, che si hanno per idrogrammi relativi a bacini agricoli pianeggianti o coperti da boschi, con bassa pendenza media.

Per mantenere coerenza con il citato studio generale sul bacino dell'Era si è scelto di applicare ai bacini del modello lo stesso rapporto $R/(T_c+R)$, pari a 0.35, ricavato per calibrazione su bacini

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

idrologicamente simili.

Per i bacini oggetto di studio sono state utilizzate le seguenti formulazioni dei tempi di corrvazione, scegliendo per ogni sottobacino le formule ritenute più idonee, riportate nella Tabella 7.

$$T_c = 0.000325 \cdot (L/\sqrt{I})^{0.77} \quad \text{Kirpich (1)}$$

$$T_c = \frac{L m^{0.8} \cdot \left(\left(\frac{1000}{(C N 2)} - 10 \right) + 1 \right)^{0.7}}{(1140 \cdot S_w^{0.5})} \quad \text{US SCS (2)}$$

$$T_c = 0.191 \cdot (L^{0.76} / I^{0.19}) \quad \text{Corps Engineers (3)}$$

$$T_c = 0.1602 \cdot \left(\frac{L^{0.64}}{I^{0.5}} \right) \quad \text{Ven te Chow (4)}$$

$$T_c = 0.02221 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0.8} \quad \text{Kirpich, Chow, Watt, Pezzoli (5)}$$

$$T_c = \frac{0.26}{0.6} \cdot \left(\frac{L^{0.82} \cdot (1 + S 02)^{0.13}}{S_w^{0.2}} \right) \quad \text{Bocchiola, De Michele, Pecora, Rosso (6)}$$

$$T_c = 0.675 \sqrt{A} \quad \text{Ferro (7)}$$

$$T_c = 0.32 \frac{\sqrt{A}}{0.6} \quad \text{Toscana (A) (8)}$$

$$T_c = \frac{0.322 \cdot (A^{0.594} \cdot S 02^{(0.313)})}{L_{max}^{(0.594)} \cdot S_w^{(0.150)}} \quad \text{Simas -Hawkins (9)}$$

$$T_c = 1.66 \cdot L^{0.82} \cdot H_m^{-0.188} \quad \text{Toscana (L Hm) (10)}$$

$$T_c = 1.66 \cdot L^{0.86} \cdot H_m^{-0.177} \quad \text{Toscana (L Hmax) (11)}$$

Dove L rappresenta la lunghezza dell'asta principale, A l'area del bacino in esame, I la pendenza media dell'asta principale, S_w invece la pendenza media del bacino, L_{max} rappresenta la distanza massima tra lo spartiacque e la sezione di chiusura, H_m indica la quota media del bacino rispetto alla sezione di chiusura in m, H_{max} invece la quota massima e il CN II identifica il parametro descritto al capitolo precedente.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

Bacino	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Valor medio
Botro di Piano	0.000	0.000	0.960	0.927	0.835	0.000	1.300	1.030	0.000	0.000	0.000	1.010
BV16307	0.200	0.506	0.325	-	0.292	0.460	-	-	-	-	-	0.356
BV16579	0.159	0.553	0.290	-	0.231	0.440	-	-	-	-	-	0.335
BV16706	0.141	0.559	0.304	-	0.203	0.530	-	-	-	-	-	0.347
BV17658	-	-	0.166	0.211	0.131	-	0.180	0.140	-	-	-	0.166
Capanne	-	-	0.257	0.316	0.218	-	0.240	0.190	-	-	-	0.245
Cetro	0.184	0.678	0.386	-	0.268	0.650	-	-	-	-	-	0.433
Fosce_1	-	-	1.573	1.351	1.337	-	2.590	2.050	-	-	-	1.780
Fosce_2	-	-	0.056	0.099	0.051	-	0.090	0.070	-	-	-	0.073
Fosce_3	-	-	0.328	0.446	0.334	-	0.380	0.300	-	-	-	0.358
Fosce_4	-	-	0.073	0.123	0.067	-	0.110	0.090	-	-	-	0.092
Macchie	0.683	1.185	1.100	-	1.049	1.550	-	-	-	-	-	1.113
San Donato_1	0.100	0.498	0.223	-	0.142	0.380	-	-	-	-	-	0.268
San Donato_2	0.053	0.259	0.114	-	0.073	0.170	-	-	-	-	-	0.134
San Donato_3	0.257	0.711	0.474	-	0.380	0.740	-	-	-	-	-	0.512
San Donato_4	0.085	0.299	0.140	-	0.120	0.180	-	-	-	-	-	0.166
Cascina Monte	-	1.763	-	-	-	-	1.42	-	1.429	1.470	1.663	1.550
Cafaggio	-	2.580	-	-	-	-	1.020	-	1.920	1.440	1.619	1.715
Interbacino Pancacci	-	2.081	-	-	-	-	0.490	-	1.159	1.080	1.246	1.213
Interbacino Casetta-Gattero	-	1.774	-	-	-	-	0.740	-	1.444	1.300	1.415	1.335
Interbacino Colliverdi-Mezzane	-	1.513	-	-	-	-	0.930	-	1.682	1.390	1.542	1.410
La Fine	-	4.534	-	-	-	-	1.910	-	2.376	3.190	3.052	3.012
Interbacino Pianette	-	2.108	-	-	-	-	1.070	-	1.483	1.740	2.139	1.708

Tabella 7 Tempi di corrivazione ottenuti dalle varie formulazioni scelte e valor medio

Si è fatto riferimento al valore medio valutato sulla base delle diverse formule applicabili. Il valore così ottenuto è stato anche confrontato in maniera speditiva con i tempi di scorrimento sui versanti e nel canale lungo il massimo percorso idraulico, effettuando il calcolo del tempo di percorrenza attraverso il percorso idraulico più lungo dei diversi bacini (suddiviso in tratti omogenei di lunghezza L_i), valutando per ogni tratto la velocità V_i della corrente in condizioni di piena utilizzando la formula di Manning per il deflusso in canali e corsi d'acqua e la formula dell'*overland flow* per il moto delle particelle d'acqua sui versanti, secondo la relazione:

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

$$T_c = \frac{\sum l_i}{V_i}$$

I parametri del modello di Clark assunti in sede di modellazione sono riassunti nella seguente tabella.

Bacino	Tc [h]	R [h]
Botro di Piano	1.010	0.54
BV16307	0.356	0.19
BV16579	0.335	0.18
BV16706	0.347	0.19
BV17658	0.166	0.09
Capanne	0.245	0.13
Cetro	0.433	0.23
Fosce_1	1.780	0.96
Fosce_2	0.073	0.04
Fosce_3	0.358	0.19
Fosce_4	0.092	0.05
Macchie	1.113	0.6
San Donato_1	0.268	0.14
San Donato_2	0.134	0.07
San Donato_3	0.512	0.27
San Donato_4	0.166	0.09
Cascina Monte	1.550	0.83
Cafaggio	1.715	0.92
Interbacino Pancacci	1.213	0.65
Interbacino Casetta-Gattero	1.335	0.72
Interbacino Colliverdi-Mezzane	1.410	0.76
La Fine	3.012	1.62

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

Bacino	Tc [h]	R [h]
Interbacino Pianette	1.708	0.92

Tabella 8: Valori dei parametri Tc ed R

4.5. Propagazione dei deflussi

Per la propagazione dei deflussi negli elementi reach si è adottato il metodo di Muskingum Cunge, che si basa sull'equazione di continuità e sull'approssimazione parabolica delle equazioni complete di De Saint Venant. I coefficienti del metodo di Muskingum vengono calcolati in base alle relazioni:

$$k = \frac{\Delta x}{c} \quad X = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{Q}{BS_0 c \Delta x} \right) \quad c = \frac{dQ}{dA}$$

in cui Δx è l'intervallo di discretizzazione spaziale, Δt il passo temporale di calcolo, c la celerità di traslazione dell'onda, S_0 la pendenza di fondo ed A l'area liquida. Con tale metodo i valori dei coefficienti K ed X del metodo di Muskingum vengono calcolati in base alle caratteristiche del corso d'acqua.

Reach	Lenght [m]	Slope [m/m]	Manning's n	Shape	Bottom Width [m]	Side Slope [xH:1V]
SD2	349	0.221	0.100	Trapezoidale	2.5	1
SD3	1886	0.106	0.045	Trapezoidale	2.5	1.5
SD4	322	0.054	0.045	Trapezoidale	4	2
F2	84	0.032	0.045	Trapezoidale	7	1.5
F3	839	0.029	0.045	Trapezoidale	10	1.5
F4	120	0.033	0.045	Trapezoidale	20	1.5
r1	780.46	0.013	0.045	Trapezoidale	2.56	2.4
r2	643.77	0.011	0.045	Trapezoidale	2.84	1.7
r3	1194.76	0.008	0.045	Trapezoidale	3.05	1.33
r4	1460	0.007	0.045	Trapezoidale	3.81	1.56

Tabella 9: Parametri elementi "reach".

I reach ed i nodi di modellazione sono riportati nelle seguenti figure. Le caratteristiche geometriche dei diversi tratti (reach) sono state desunte su base Lidar, facendo riferimento alle caratteristiche medie del tratto in esame.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>



Figura 11: Disposizione in pianta dei nodi e dei reach per il Comune di Lajatico

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

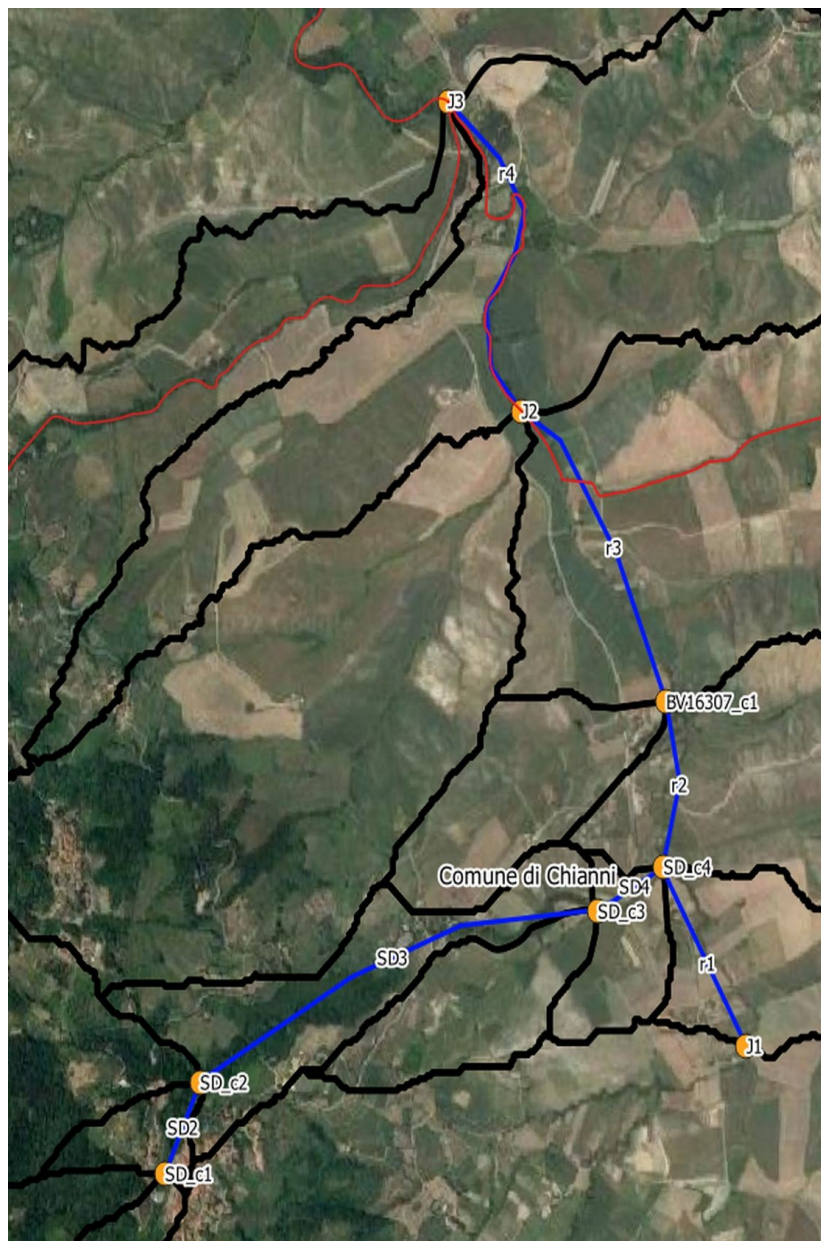


Figura 12: Disposizione in pianta dei nodi e dei reach per il Comune di Chianni

4.6. Risultati della modellazione idrologica

Sulla base di quanto sopra esposto sono stati implementati i modelli idrologici dell'intera area di studio. Sono state eseguite simulazioni per tempi di ritorno 30 e 200 anni. Per ogni bacino sono state considerate le durate di pioggia significative per la successiva definizione delle aree di esondazione.

Le simulazioni idrologiche sono individuate da un codice nella forma itTRxxxTPyyH, dove "xxx" indica il tempo di ritorno espresso in anni e "yy" la durata di pioggia espressa in ore.

PROGETTO:	ELABORATO:
Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera	Relazione idrologica idraulica

Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori di picco degli idrogrammi di piena per i bacini considerati nell'analisi.

Gli idrogrammi, invece, sono riportati direttamente nel file DSS allegato alla presente relazione. Qui di seguito vengono riportati esclusivamente gli idrogrammi dei nodi più rappresentativi, per tutti i tempi di pioggia simulati e per entrambi i tempi di ritorno.

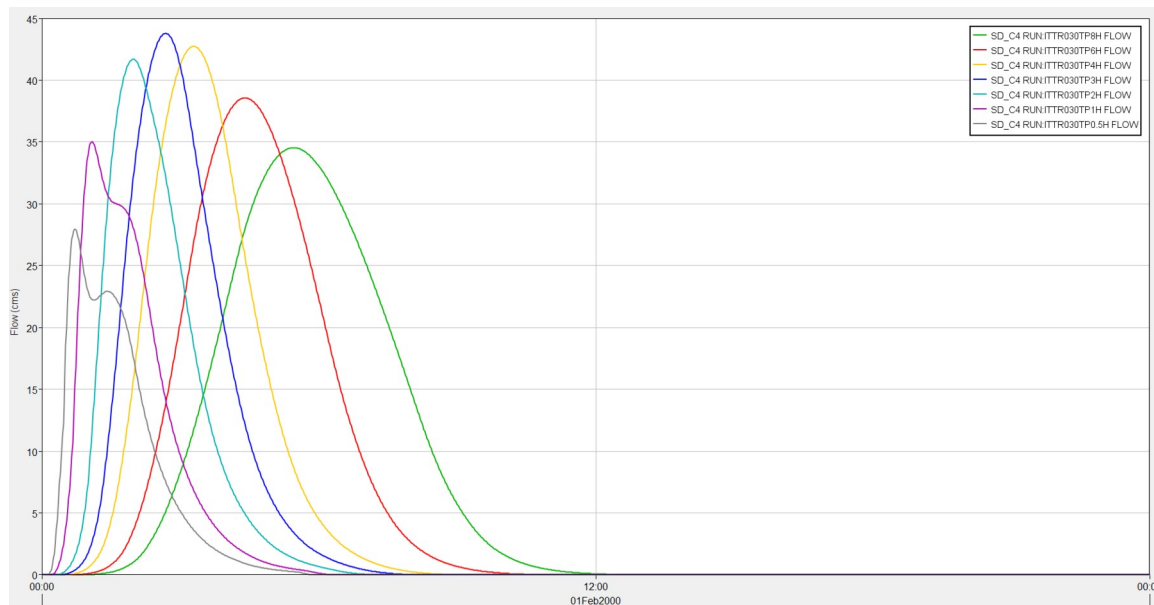


Figura 13: Idrogrammi per Tr 30 anni al nodo Sd_c4, fiume Cascina a valle della confluenza con il Botro San Donato.

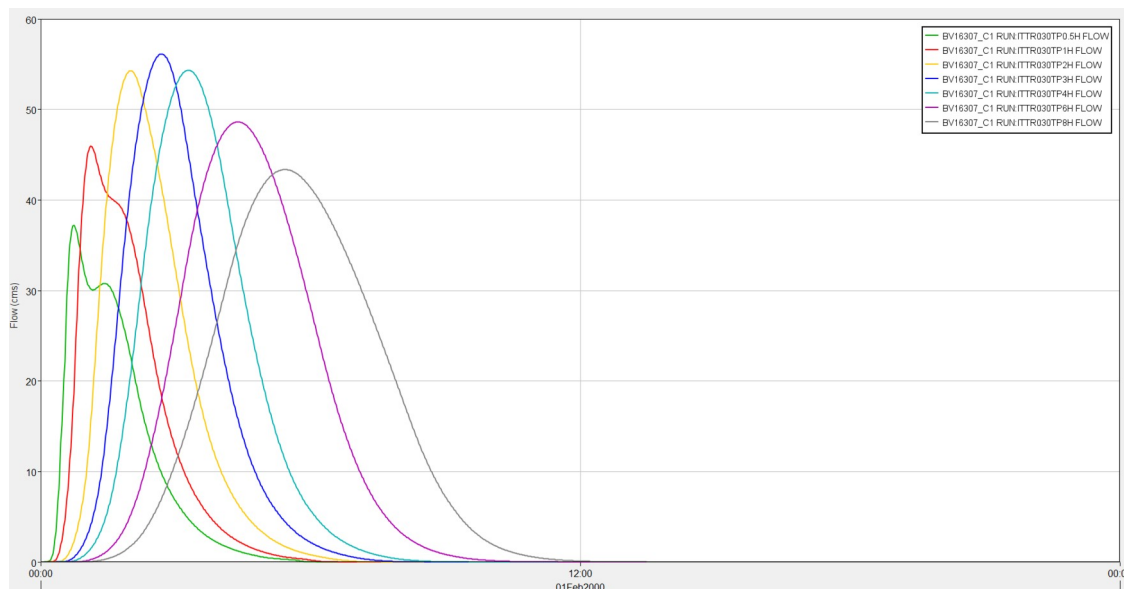


Figura 14: Idrogrammi per Tr 30 anni al nodo BV16307_c1, fiume Cascina a valle della confluenza con il fosso BV16307.

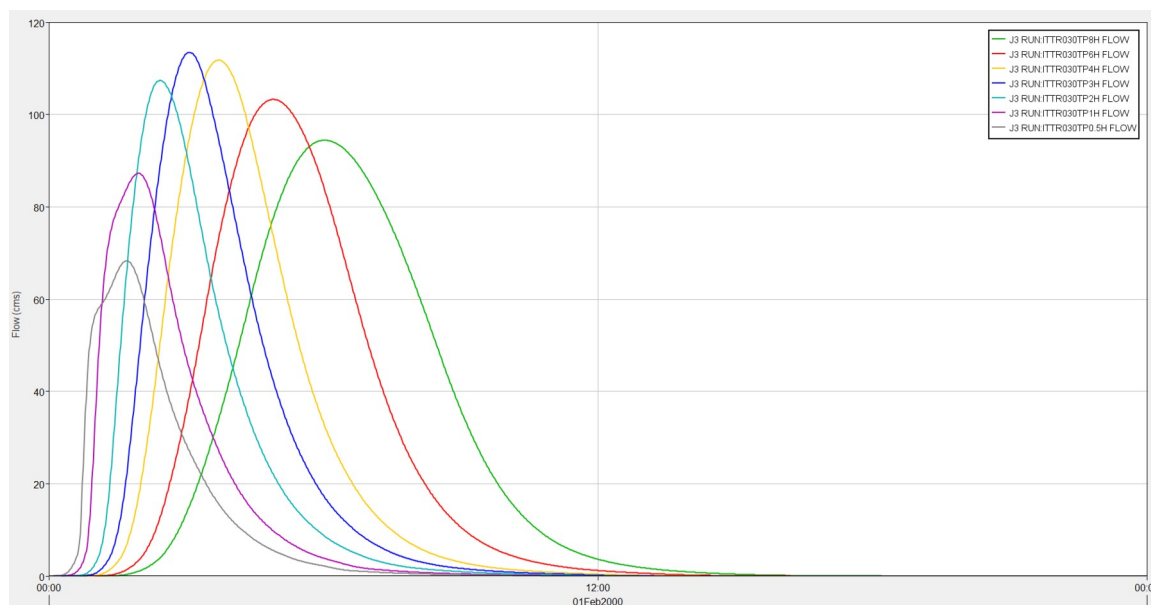


Figura 15: Idrogrammi per Tr 30 anni al nodo J3, nodo di chiusura del fiume Cascina.

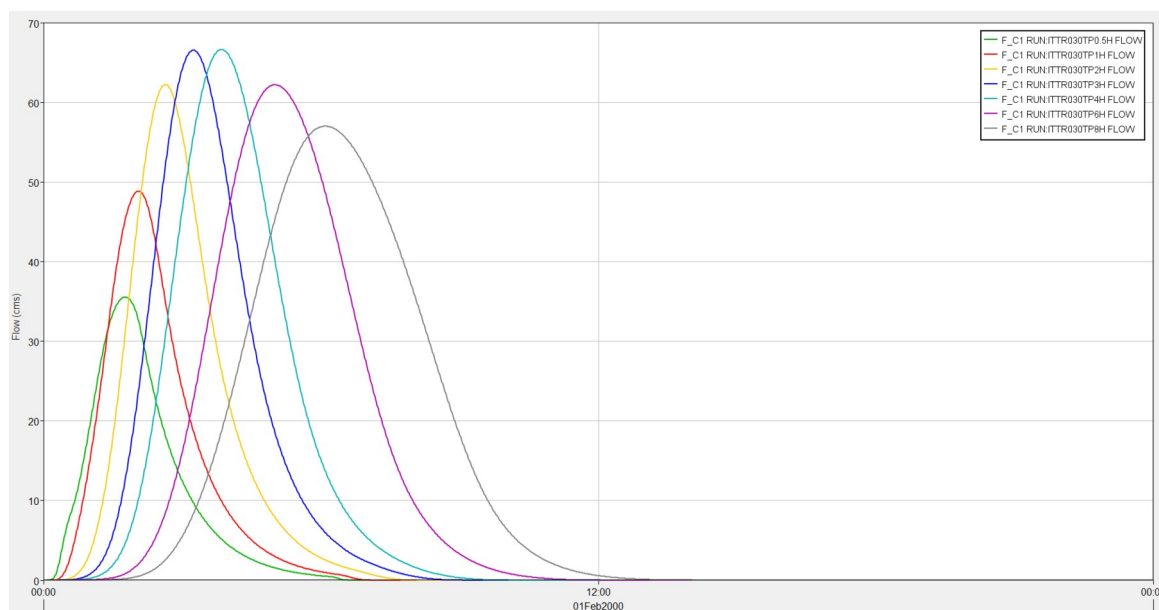


Figura 16: Idrogrammi per Tr 30 anni al nodo F_c1, torrente Fosce a valle della confluenza con il Botro delle Capanne.

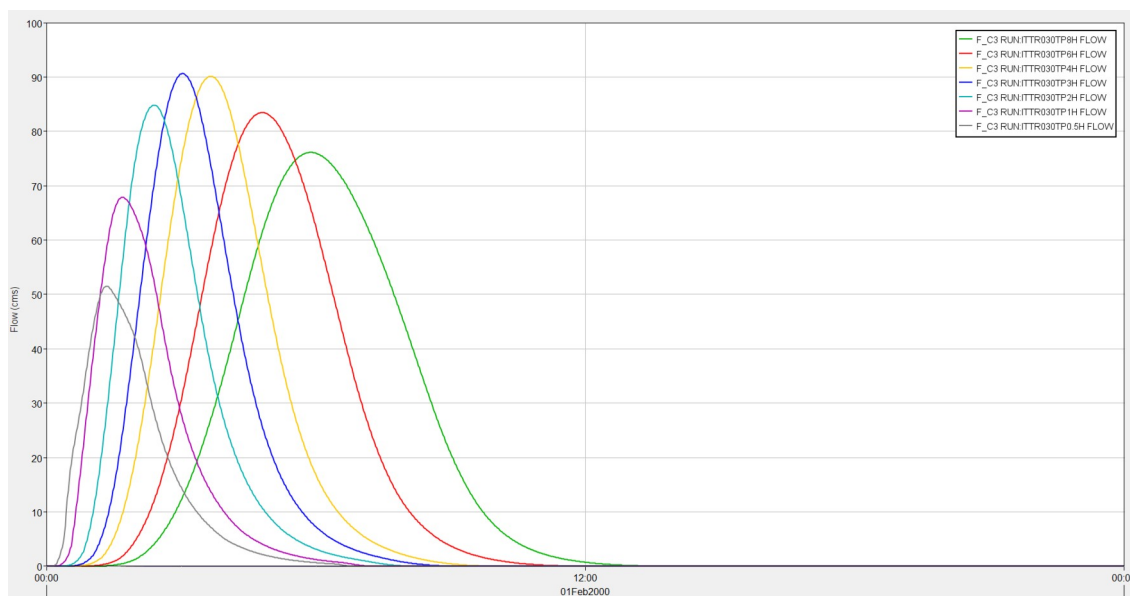


Figura 17: Idrogrammi per Tr 30 anni al nodo F_c3, torrente Fosce a valle della confluenza con il fosso BV17658.

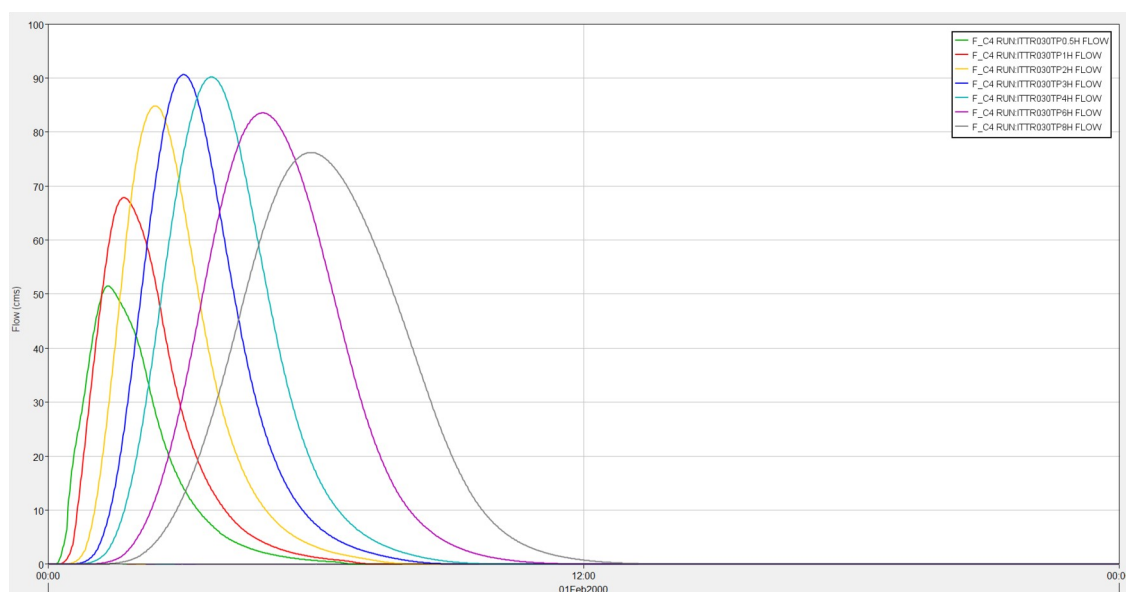


Figura 18: Idrogrammi per Tr 30 anni al nodo F_c4, nodo di chiusura del torrente Fosce.

PROGETTO:

Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera

ELABORATO:

Relazione idrologica idraulica

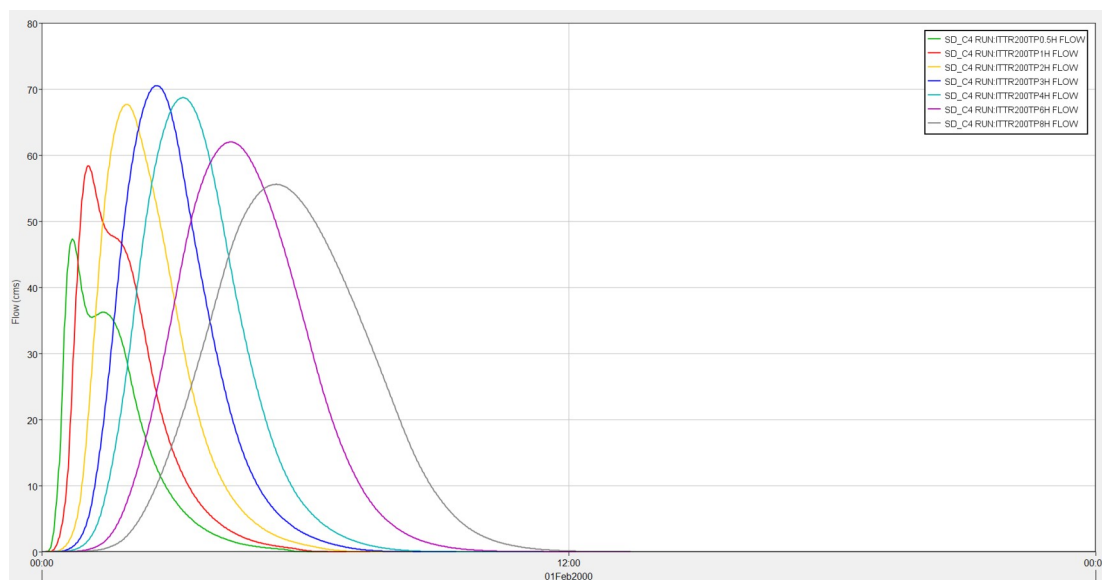


Figura 19: Idrogrammi per Tr 200 anni al nodo Sd_c4, fiume Cascina a valle della confluenza con il Botro San Donato.

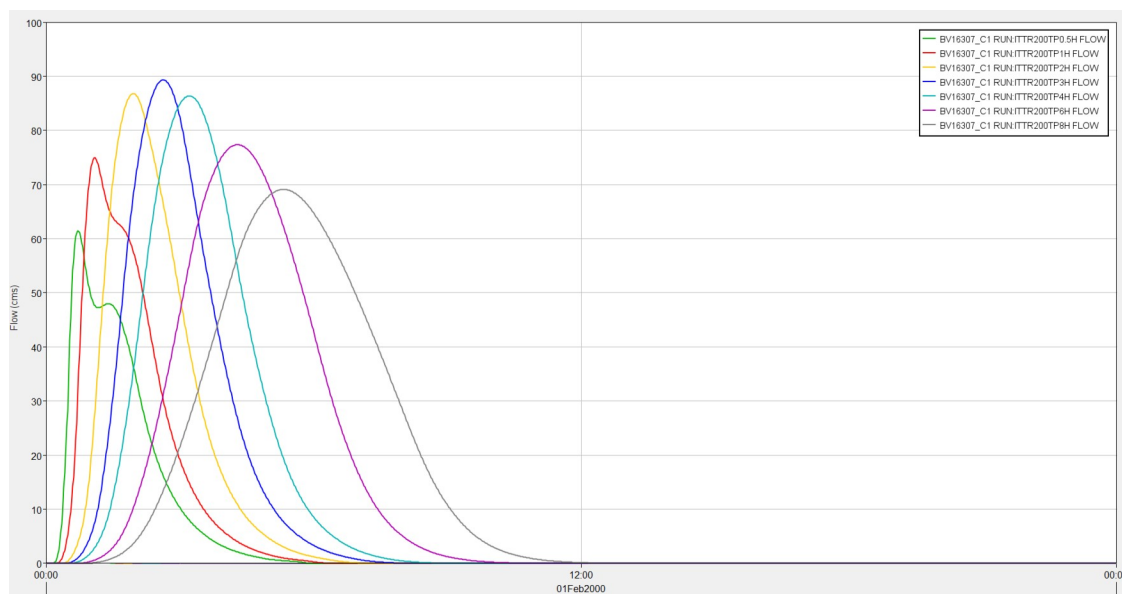


Figura 20: Idrogrammi per Tr 200 anni al nodo BV16307_c1, fiume Cascina a valle della confluenza con il fosso BV16307.

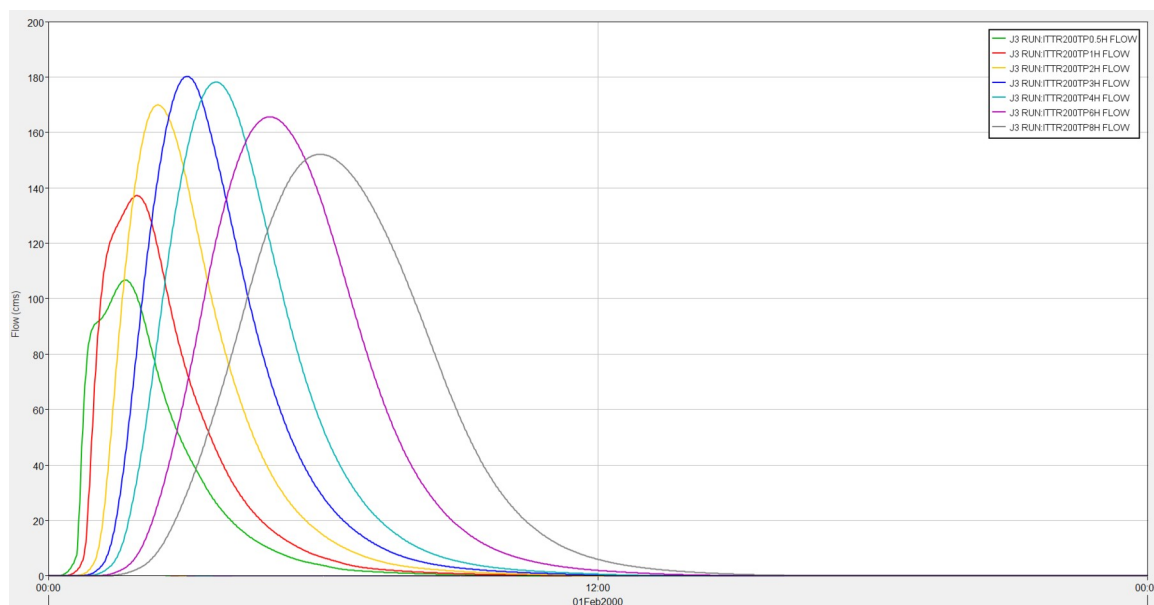


Figura 21: Idrogrammi per Tr 200 anni al nodo J3, nodo di chiusura del fiume Cascina.

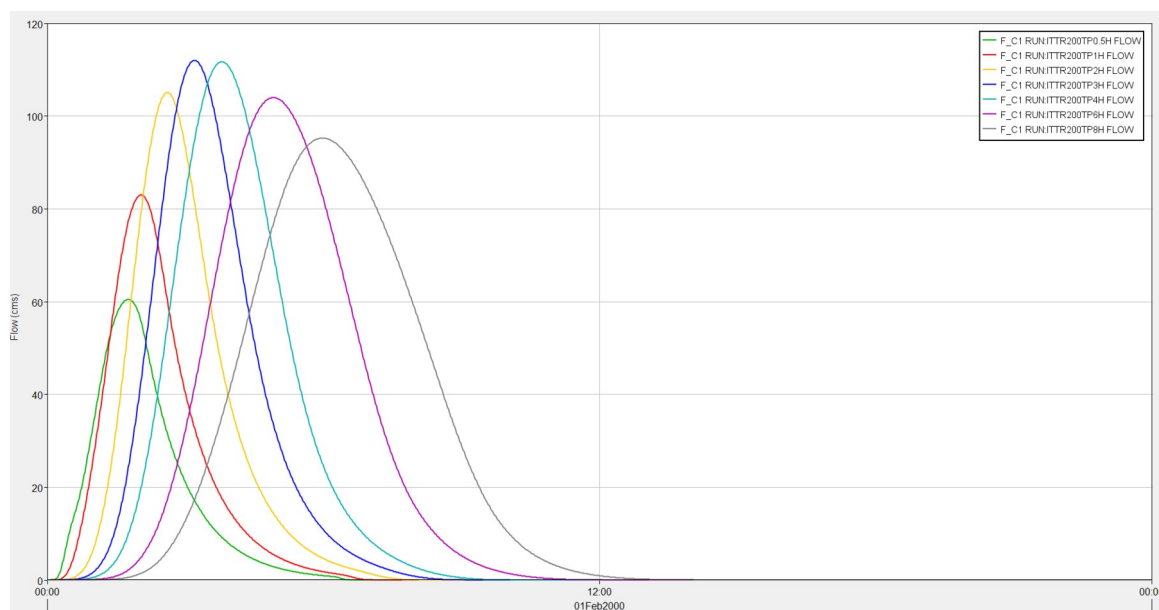


Figura 22: Idrogrammi per Tr 200 anni al nodo F_c1, torrente Fosce a valle della confluenza con il Botro delle Capanne.

PROGETTO:

Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera

ELABORATO:

Relazione idrologica idraulica

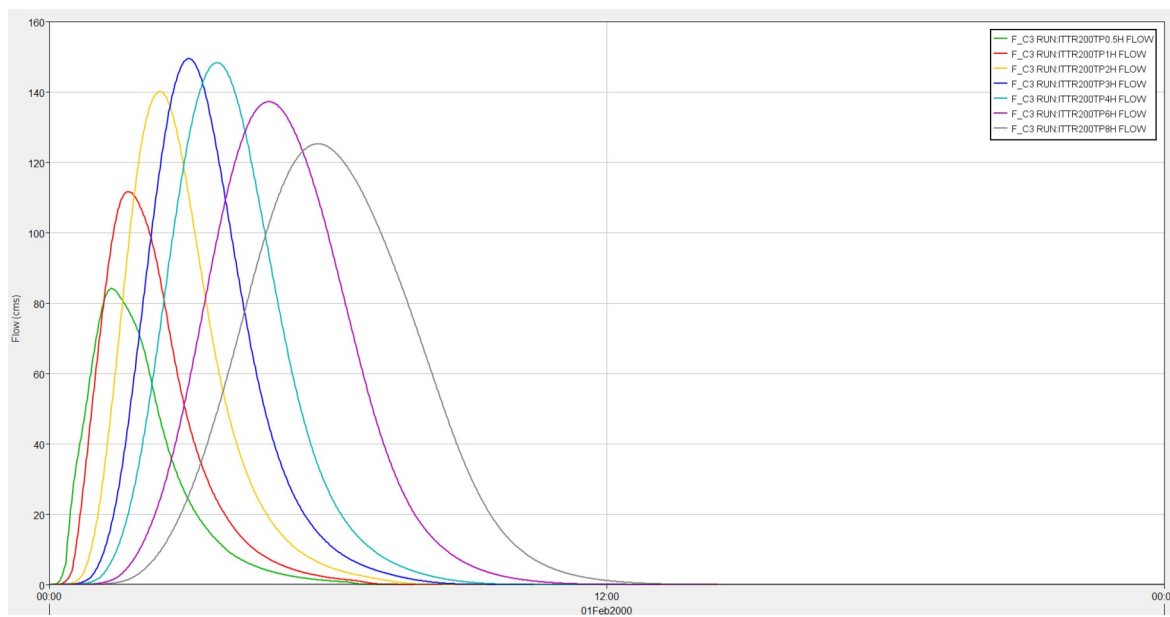


Figura 23: Idrogrammi per Tr 200 anni al nodo F_c3, torrente Fosce a valle della confluenza con il fosso BV17658.

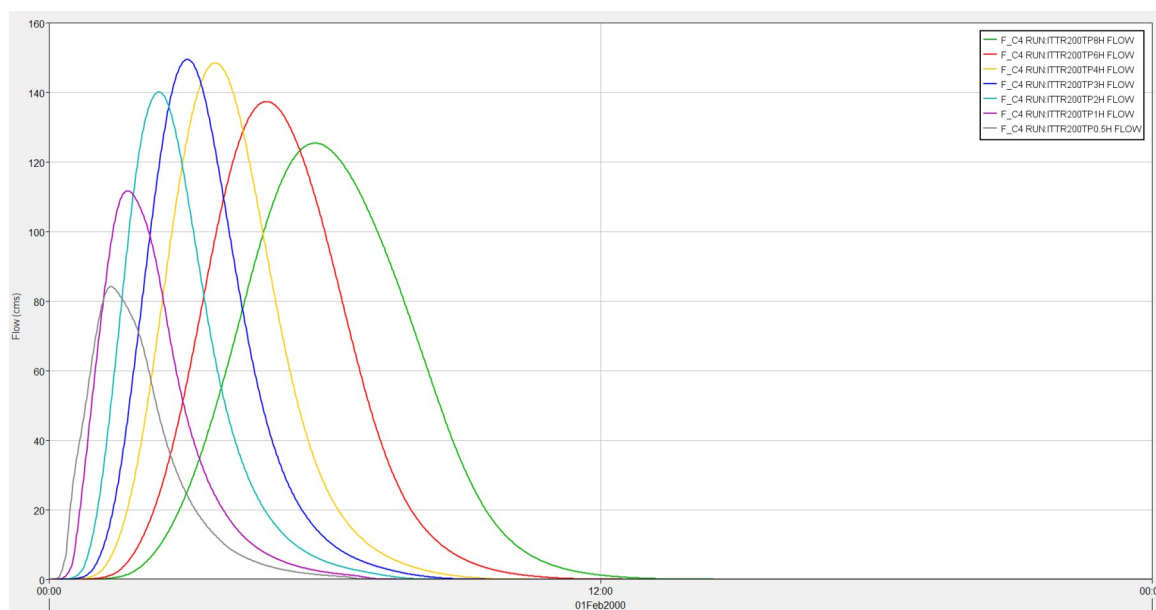


Figura 24: Idrogrammi per Tr 200 anni al nodo F_c4, nodo di chiusura del torrente Fosce.

Bacino	itTR030TP0.5H	itTR030TP01H	itTR030TP02H	itTR030TP03H	itTR030TP04H	itTR030TP06H	itTR030TP08H	Portata massima
Botro di Piano	37.80	42.80	32.40	30.00	27.30	23.00	19.90	42.80
BV17658	2.50	1.80	1.10	0.80	0.70	0.50	0.40	2.50
Fosce_2	0.70	0.50	0.30	0.20	0.20	0.10	0.10	0.70
Capanne	3.90	3.10	1.90	1.50	1.30	1.00	0.80	3.90
Fosce_3	7.70	6.70	4.20	3.40	2.90	2.30	1.90	7.70
Fosce_4	1.00	0.70	0.40	0.30	0.20	0.20	0.10	1.00
Fosce_1	73.20	91.30	62.20	66.50	66.40	61.80	56.60	91.30
Macchie	27.00	31.10	23.80	22.40	20.60	17.60	15.30	27.00

Tabella 10: Portate massime [m^3/s] per i diversi scenari considerati. Bacini del Comune di Lajatico (T_r 30 anni)

Bacino	itTR200TP0.5H	itTR200TP01H	itTR200TP02H	itTR200TP03H	itTR200TP04H	itTR200TP06H	itTR200TP08H	Portata massima
Botro di Piano	38.60	47.60	50.00	46.30	42.30	35.70	30.90	50.00
BV17658	2.90	2.30	1.60	1.20	1.00	0.80	0.70	2.90
Fosce_2	0.80	0.60	0.40	0.30	0.30	0.20	0.20	0.80
Capanne	4.60	3.90	2.80	2.20	1.90	1.50	1.20	4.60
Fosce_3	8.50	8.00	6.30	5.20	4.40	3.50	2.90	8.50
Fosce_4	1.10	0.80	0.60	0.40	0.40	0.30	0.20	1.10
Fosce_1	60.40	83.00	105.10	111.90	111.20	103.30	94.50	111.90
Macchie	27.10	34.00	36.90	34.80	32.10	27.40	23.90	36.90

Tabella 11: Portate massime [m^3/s] per i diversi scenari considerati. Bacini del Comune di Lajatico (T_r 200 anni)

Bacino	itTR030TP0.5H	itTR030TP01H	itTR030TP02H	itTR030TP03H	itTR030TP04H	itTR030TP06H	itTR030TP08H	Portata massima
BV16307	8.30	7.70	5.90	4.80	4.10	3.20	2.60	8.30
BV16579	5.10	4.90	3.90	3.20	2.70	2.10	1.80	5.10
BV16706	4.60	4.90	4.20	3.60	3.10	2.50	2.20	4.90
Cafaggio	8.30	10.70	12.90	13.30	12.90	11.70	10.50	13.30
Cascina Monte	18.40	23.70	27.90	28.20	27.00	24.00	21.30	28.20
Interbacino Cassetta-Gattero	7.70	9.50	10.30	9.80	9.10	7.80	6.80	10.30
Interbacino Colliverdi-Mezzane	11.50	14.10	15.50	15.00	14.00	12.00	10.50	15.50
Interbacino Pancacci	3.90	4.70	5.00	4.60	4.30	3.60	3.10	5.00
Interbacino Pianette	12.10	15.10	17.40	17.50	16.80	14.90	13.20	17.50
La Fine	9.70	13.60	18.60	21.40	22.90	23.80	23.20	23.80
Cetro	5.10	5.70	5.10	4.40	3.90	3.10	2.70	5.70
San Donato_1	2.60	2.60	2.10	1.70	1.50	1.20	1.00	2.60
San Donato_2	2.30	1.80	1.30	1.00	0.90	0.70	0.60	2.30
San Donato_3	4.70	5.40	4.80	4.20	3.70	3.00	2.50	5.40
San Donato_4	5.90	4.50	3.10	2.40	2.00	1.50	1.20	5.90

Tabella 12: Portate massime [m^3/s] per i diversi scenari considerati. Bacini del Comune di Chianni (T_r 30 anni)

Bacino	itTR200TP0.5H	itTR200TP01H	itTR200TP02H	itTR200TP03H	itTR200TP04H	itTR200TP06H	itTR200TP08H	Portata massima
BV16307	12.50	11.60	9.00	7.30	6.20	4.80	4.00	12.50
BV16579	8.10	7.80	6.10	5.10	4.30	3.40	2.90	8.10
BV16706	8.20	8.70	7.30	6.20	5.50	4.40	3.80	8.70

Cafaggio	13.20	17.30	20.70	21.30	20.70	18.70	16.80	21.30
Cascina Monte	29.30	37.90	44.50	44.90	42.90	38.10	34.00	44.90
Interbacino Cassetta-Gattero	11.60	14.20	15.50	14.90	13.80	11.80	10.30	15.50
Interbacino Colliverdi- Mezzane	17.10	21.20	23.40	22.60	21.10	18.20	16.00	23.40
Interbacino Pancacci	5.80	7.00	7.40	7.00	6.40	5.40	4.70	7.40
Interbacino Pianette	18.20	22.90	26.60	26.70	25.60	22.70	20.20	26.70
La Fine	17.30	24.30	32.90	37.70	40.30	41.50	40.30	41.50
Cetro	9.00	10.00	8.80	7.60	6.70	5.40	4.70	10.00
San Donato_1	4.80	4.60	3.70	3.10	2.70	2.20	1.80	4.80
San Donato_2	3.80	3.00	2.10	1.70	1.50	1.20	1.00	3.80
San Donato_3	7.90	9.00	8.00	6.90	6.10	5.00	4.20	9.00
San Donato_4	8.70	6.60	4.60	3.60	3.00	2.30	1.90	8.70

Tabella 13: Portate massime [m³/s] per i diversi scenari considerati. Bacini del Comune di Chianni (T_r 200 anni)

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

5. RELAZIONE IDRAULICA

La modellazione idraulica dei corsi d'acqua di interesse per la determinazione delle condizioni di pericolosità idraulica è stata condotta mediante il software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) prodotto anch'esso dal Corpo degli Ingegneri dell'esercito americano (USACE).

Le simulazioni sono state eseguite in regime di moto vario mono e bidimensionale e sono descritte in dettaglio nel seguito. Per i corsi d'acqua dotati di alveo inciso di dimensioni apprezzabili si è proceduto ad implementare un'analisi monodimensionale in alveo e bidimensionale al di fuori dell'alveo inciso.

In particolare il Botro di San Donato è stato diviso in diversi tratti analizzati con due modelli distinti, come riportato nella seguente figura:

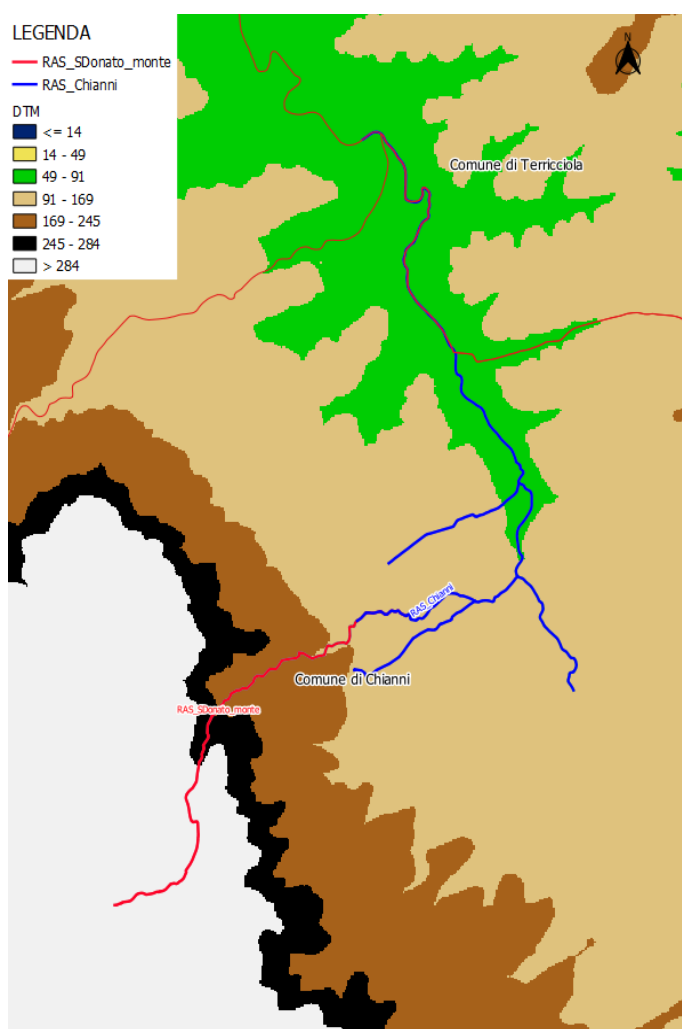


Figura 25: Inquadramento modelli RAS sul Comune di Chianni

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

- **modello RAS_Sdonato_monte a moto permanente 1D**, relativamente al tratto di monte (dalla sez. 3810.93 alla sez. 735.71), caratterizzato da alveo incassato a forte pendenza (in media 9% con tratti al di 26%). Il tratto è stato modellato a moto permanente, risultando trascurabili gli effetti di laminazione ed essendo il deflusso confinato nell'alveo inciso;
- **modello RAS_Chianni a moto vario 1D-2D**, relativamente al tratto di valle in cui possono aversi esondazioni che dall'alveo inciso vanno ad interessare le aree golenali. Tale modello comprende anche alcuni affluenti.

Tra i due modelli si ha una breve sovrapposizione per evitare effetti al contorno nella definizione delle condizioni di pericolosità.

Per la definizione delle condizioni di pericolosità dell'area sono state effettuate più simulazioni, corrispondenti alle durate di pioggia critiche per i corsi d'acqua in esame.

I tratti oggetto di studio si estendono ben oltre le aree di interesse urbanistico, sia per quel che riguarda la modellazione monodimensionale che per quel che riguarda la modellazione bidimensionale, al fine di evitare effetti al contorno e sono quindi da ritenersi idraulicamente significativi.

Nel seguito, dopo una succinta esposizione delle caratteristiche dei modelli matematici implementati su RAS, si procede con la descrizione dei parametri di modellazione adottati per i corsi d'acqua indagati.

5.1. Modelli di calcolo RAS

5.1.1. Modello di calcolo a moto vario monodimensionale

La forma delle equazioni del moto vario (o equazioni di De Saint Venant) utilizzate in HEC-RAS è la seguente:

Equazione di continuità:

$$\frac{(\partial A)}{(\partial t)} + \frac{(\partial(\Phi \cdot Q))}{(\partial x_c)} + \frac{(\partial[(1-\Phi) \cdot Q])}{(\partial x_f)} = 0$$

Equazione di conservazione della quantità di moto:

$$\frac{(\partial Q)}{(\partial t)} + \frac{(\partial(\Phi^2 Q^2 / A_c))}{(\partial x_c)} + \frac{(\partial((1-\Phi^2) Q^2 / A_f))}{(\partial x_f)} + g A_c \left[\frac{(\partial Z)}{(\partial x_c)} + S_{fc} \right] + g A_f \left[\frac{(\partial Z)}{(\partial x_f)} + S_{ff} \right] = 0$$

con:

PROGETTO:	ELABORATO:
Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera	Relazione idrologica idraulica

$$Q_c = \Phi \cdot Q ; \quad \Phi = (K_c) / (K_c + K_f)$$

I pedici c ed f si riferiscono rispettivamente al *main channel* (alveo centrale) ed alle *floodplain* (aree golenali), Q rappresenta la portata, g l'accelerazione di gravità, x l'ascissa, t il tempo, K la *conveyance* (o fattore di trasporto) della sezione, Z la quota del pelo libero (somma della quota di fondo z e dell'altezza liquida y), A l'area liquida, S_f la pendenza della linea dell'energia.

HEC-RAS utilizza generalmente il modello completo delle equazioni di De Saint Venant. Nelle analisi in moto vario le tecniche di soluzione numerica delle equazioni del moto assumono un'importanza maggiore rispetto alle analisi a moto permanente. La soluzione numerica di tali equazioni in regime di corrente lenta è basata su un metodo alle differenze finite di tipo implicito a quattro punti, noto in letteratura come *box scheme*. Dalla discretizzazione alle differenze finite delle equazioni del moto applicate ad un tratto di corso d'acqua, e dall'applicazione delle condizioni al contorno, risulta un sistema lineare di N equazioni in N incognite, con N pari a 2 volte il numero di sezioni in cui è stato suddiviso il corso d'acqua meno le sezioni in cui sono state assegnate le condizioni al contorno. Tale sistema deve essere risolto ad ogni successivo istante di calcolo. Il sistema di equazioni lineari viene risolto con metodo iterativo, utilizzando l'algoritmo *skyline*, specificatamente pensato per la soluzione dei problemi di moto vario nelle reti a pelo libero.

Nel caso di corrente mista lenta o veloce HEC-RAS utilizza la tecnica LPI "*Local Partial Inertia*", mediante la quale si passa gradualmente dalla soluzione delle equazioni complete del moto alla soluzione del modello parabolico delle equazioni del moto vario. Il modello parabolico viene applicato dal programma soltanto nei tratti di corso d'acqua in cui si ha un numero di Froude maggiore di un valore soglia definibile dall'utente (generalmente si assume $Fr=1$, corrispondente al passaggio della corrente attraverso lo stato critico). Il modello matematico riesce così a garantire una buona stabilità di calcolo anche nei tratti interessati da corrente veloce o mista, pur mantenendo un'adeguata accuratezza di calcolo.

5.1.1. Modello di calcolo a moto vario bidimensionale

Il modello matematico bidimensionale utilizza le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto, che vengono risolte con uno schema ai volumi finiti.

PROGETTO:	ELABORATO:
Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera	Relazione idrologica idraulica

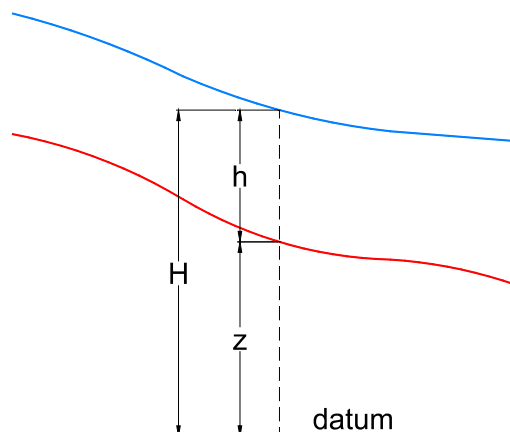


Figura 26: sistema di riferimento di Hec-Ras 2D: la quota del terreno è indicata con $z(x,y)$ l'altezza idrica con $h(x,y,t)$; la quota del pelo libero con $H(x,y,t) = z(x,y) + h(x,y,t)$

Conservazione della massa: assumendo il fluido incomprimibile, l'equazione differenziale della conservazione della massa (continuità) in moto vario è:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial (h \cdot u)}{\partial x} + \frac{\partial (h \cdot v)}{\partial y} + q = 0$$

in cui t è il tempo, u e v sono rispettivamente le componenti di velocità lungo le direzioni x ed y e q è la portata in ingresso ed in uscita dovuta a immissioni od uscite di acqua.

Conservazione della quantità di moto: quando la dimensione orizzontale caratteristica dell'area di studio è molto maggiore della dimensione verticale, gli effetti legati alla componente verticale della velocità possono essere trascurati e si può assumere una distribuzione idrostatica delle pressioni, a partire dalle equazioni di Navier-Stokes. In tali ipotesi e nell'ipotesi di densità del fluido costante, l'equazione di conservazione della quantità di moto assume la seguente forma:

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

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

in cui oltre ai simboli già illustrati, g è l'accelerazione di gravità, ν_t è il coefficiente di viscosità turbolenta, c_f è il coefficiente di attrito al fondo, ed f è il coefficiente di Coriolis.

Utilizzando la formula di Chézy il coefficiente di scabrezza sul fondo è dato da:

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

$$c_f = \frac{g \cdot |V|}{C^2 \cdot R}$$

in cui g è l'accelerazione di gravità, $|V|$ è il modulo del vettore velocità, C è il coefficiente di Chézy ed R è il raggio idraulico. Utilizzando la formula di Manning $C = R^{1/6} / n$, in cui n è il coefficiente di scabrezza di Manning, pertanto si ha:

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

Per la modellazione del campo di moto HEC-RAS utilizza l'approccio batimetrico sub-grid sviluppato da Casulli. Con tale approccio si riesce a sfruttare informazioni topografiche ad alta risoluzione (ad esempio dati Lidar con passo della griglia pari ad 1m) pur utilizzando celle di calcolo a dimensione caratteristica maggiore rispetto alla risoluzione dei dati in ingresso. Per ogni singola cella di calcolo infatti in fase di preprocessione viene ricavata la legge di variazione con la quota del pelo libero delle grandezze idrauliche caratteristiche, basandosi sui dati topografici ad alta risoluzione relativi alla cella stessa. Vengono così determinate: curva di invaso della cella, area, contorno bagnato e raggio idraulico su ogni bordo della cella. Tale schema di risoluzione consente di sfruttare al massimo il dettaglio dei dati in ingresso.

5.1.2. Modello di calcolo a moto permanente

Per il tracciamento dei profili liquidi a moto permanente HEC-RAS risolve l'equazione di conservazione dell'energia, utilizzata unitamente all'equazione di conservazione della quantità di moto nel caso di passaggio della corrente attraverso lo stato critico, confluente o diversivi fluviali e deflusso attraverso i ponti. Le due equazioni hanno la forma seguente (si vedano anche la Figura 3.1 e 3.2):

Equazione di conservazione dell'energia:

$$y_1 + z_1 + \alpha_1 \cdot \frac{U_1^2}{2g} = y_2 + z_2 + \alpha_2 \cdot \frac{U_2^2}{2g} + h_e$$

con:

$$h_e = S_f \cdot L + C \left| \alpha_2 \cdot \frac{U_2^2}{2g} - \alpha_1 \cdot \frac{U_1^2}{2g} \right|$$

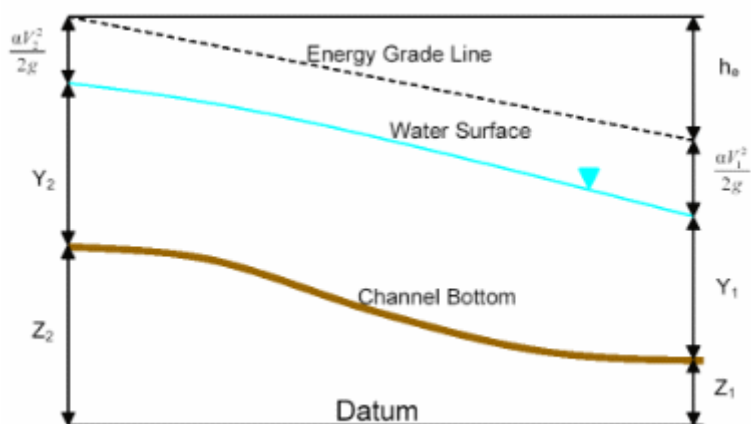


Figura 27: equazione di conservazione dell'energia

Equazione di conservazione della quantità di moto:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = \rho Q (\beta_1 \cdot U_1 - \beta_2 \cdot U_2)$$

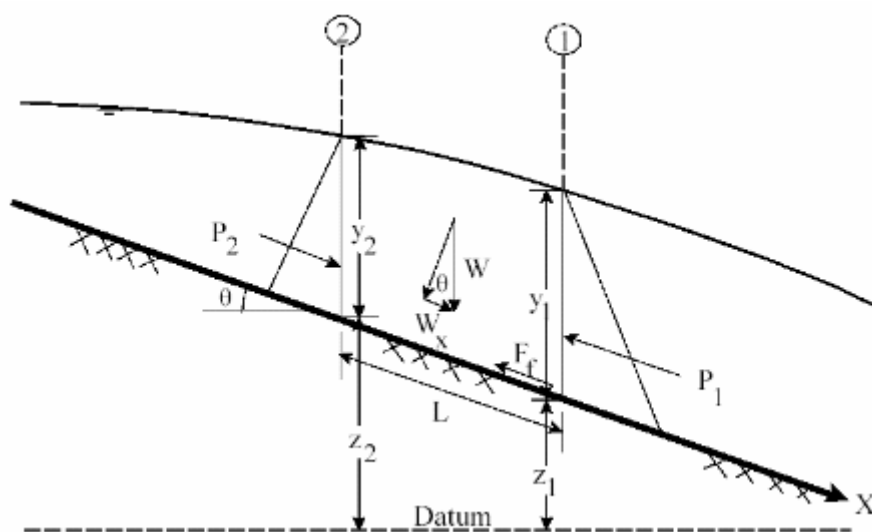


Figura 28: equazione di conservazione della quantità di moto

Il significato dei vari termini delle equazioni è riportato in Figura 3.1 e 3.2: y rappresenta l'altezza liquida, z la quota di fondo, U la velocità della corrente, g l'accelerazione di gravità, a e b i coefficienti correttivi rispettivamente dell'energia cinetica e della quantità di moto, P la risultante delle forze di pressione, W la risultante della forza peso F_f la risultante delle forze di attrito, S_f la pendenza della linea dell'energia, C il coefficiente di perdita per contrazione/espansione della sezione liquida, ρ la densità dell'acqua e Q la portata volumetrica.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

La soluzione dell'equazione dell'energia (od in alternativa, nei casi elencati sopra, dell'equazione della quantità di moto) avviene per via iterativa, una volta specificate le condizioni al contorno.

5.2. Modelli idraulici dell'area di studio

I corsi d'acqua oggetto di studio sono stati suddivisi in più modelli RAS, come di seguito riportato.

Per quanto riguarda il comune di Lajatico, i modelli Ras studiati sono:

- RAS_Botro_Macchie
- RAS_Lajatico

Per quanto riguarda il comune di Chianni, i modelli Ras studiati sono:

- RAS_Chianni
- RAS_SDonato_monte

Le planimetrie di modellazione dei diversi modelli implementati sono riportate in allegato e nelle seguenti figure.



Figura 29: Planimetria di modellazione idraulica. Modelli RAS Comune di Chianni

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

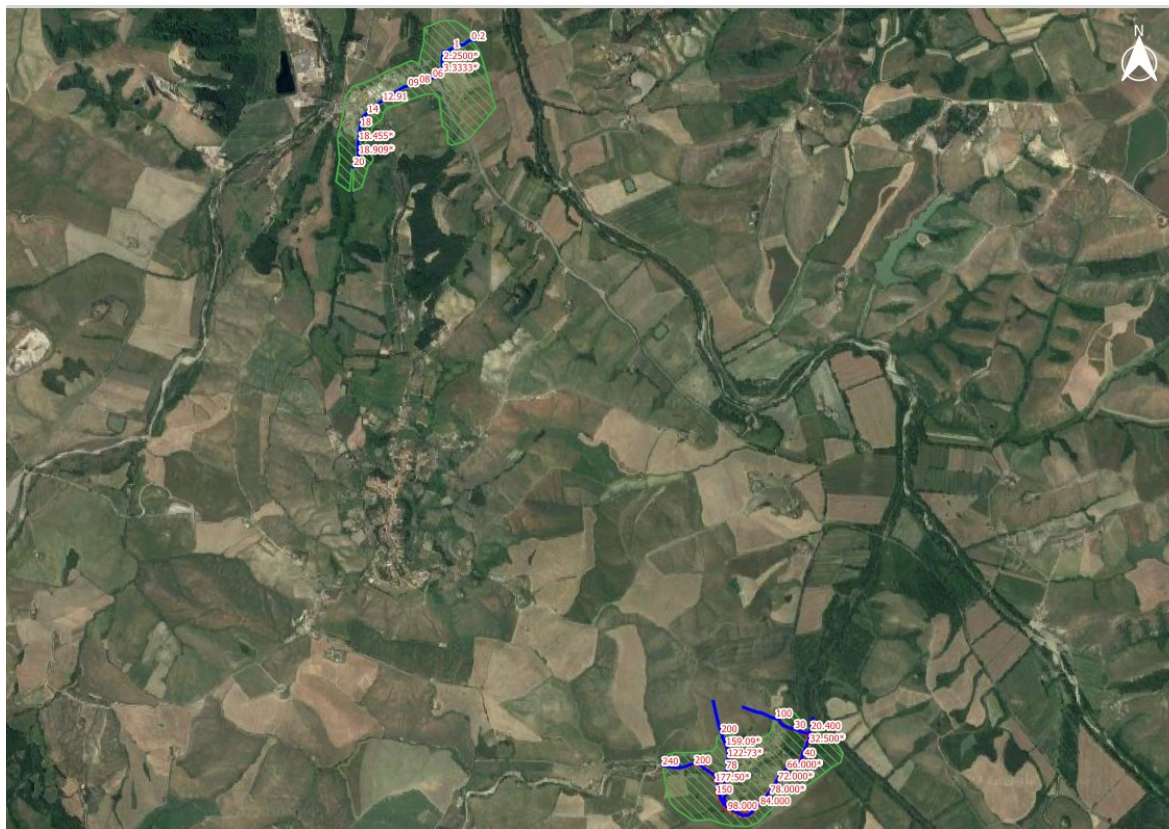


Figura 30: Planimetria di modellazione idraulica. Modelli RAS Comune di Lajatico

5.2.1. Caratteristiche geometriche

La geometria dei modelli idraulici è stata implementata utilizzando rilievi topografici diretti dell'alveo realizzati direttamente da H.S. Ingegneria a supporto del presente studio, uniti ad i dati Lidar della Regione Toscana, per quel che riguarda le aree golenali o le sezioni fluviali più estese.

I rilievi dei corsi d'acqua sono stati rapportati altimetricamente al Lidar della Regione Toscana tramite il rilievo di quote in punti significativi posti sulla viabilità principale od in aree a parcheggio asfaltate.

Per la definizione della geometria dei modelli si è operato nel seguente modo:

- per la modellazione dell'alveo inciso si è fatto riferimento alle sezioni di rilievo topografico. L'ubicazione planimetrica delle sezioni di calcolo è riportata in allegato. Per una più corretta definizione della geometria di progetto sono state utilizzate anche delle sezioni interpolate, generate da HEC-RAS a partire dalle sezioni rilevate e ricostruite anche sulla base dei dati LIDAR disponibili;
- le caratteristiche topografiche della rete di calcolo 2D sono state desunte dal DTM generato dai dati LIDAR della Regione Toscana disponibili per l'area di studio, verificando la congruenza tra i rilievi disponibili ed i dati LIDAR. La rete di calcolo bidimensionale

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

interessa le aree esterne all'alveo inciso ed è stata definita utilizzando le opzioni di discretizzazione automatica del dominio di calcolo presenti in RAS, definendo opportune break lines in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d'acqua, rilevati, etc.

La rete bidimensionale è collegata al modello monodimensionale tramite delle *lateral structure* da cui si ha lo scambio di acqua (bidirezionale) tra modello monodimensionale e modello bidimensionale. La geometria delle *lateral structure* è ripresa dai dati dei rilievi topografici eseguiti, integrata ove necessario dai dati LIDAR. Le strutture laterali sono state modellate come weir o con l'opzione 2D equation a seconda delle loro caratteristiche geometriche e della stabilità del modello. I valori del coefficiente di deflusso sono stati valutati come da indicazioni del manuale RAS.

Nelle tabelle seguenti si riporta la tipologia di modellazione di ciascuna struttura laterale:

Id Struttura laterale	River	Tipologia di modellazione
149.99	BV16307	Normal 2D Equation
149.98	BV16307	Normal 2D Equation
127.99	BV16307	Normal 2D Equation
127.98	BV16307	Normal 2D Equation
106.99	BV16307	Normal 2D Equation
106.98	BV16307	Normal 2D Equation
99.99	BV16307	Normal 2D Equation
99.98	BV16307	Normal 2D Equation
44.99	BV16307	Normal 2D Equation
44.98	BV16307	Normal 2D Equation
159.99	BV16579	Normal 2D Equation
159.98	BV16579	Normal 2D Equation
129.99	BV16579	Normal 2D Equation
129.98	BV16579	Normal 2D Equation
2457.99	Cascina	Normal 2D Equation
2457.98	Cascina	Normal 2D Equation
2119.99	Cascina	Normal 2D Equation
2119.98	Cascina	Normal 2D Equation
1829.99	Cascina	Normal 2D Equation

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

1829.98	Cascina	Normal 2D Equation
1599.99	Cascina	Normal 2D Equation
1599.98	Cascina	Normal 2D Equation
1329.99	Cascina	Normal 2D Equation
1329.98	Cascina	Normal 2D Equation
960.99	Cascina	Normal 2D Equation
960.98	Cascina	Normal 2D Equation
819.99	Cascina	Normal 2D Equation
819.98	Cascina	Normal 2D Equation
399.99	Cascina	Normal 2D Equation
399.98	Cascina	Normal 2D Equation
199.99	Cascina	Normal 2D Equation
199.98	Cascina	Normal 2D Equation
33.99	Cascina	Normal 2D Equation
33.98	Cascina	Normal 2D Equation
20.99	Cascina	Normal 2D Equation
20.98	Cascina	Normal 2D Equation
9.49	Cascina	Normal 2D Equation
9.48	Cascina	Normal 2D Equation
1199.99	SanDonato	Normal 2D Equation
1199.98	SanDonato	Normal 2D Equation
900.99	SanDonato	Normal 2D Equation
900.98	SanDonato	Normal 2D Equation
785.99	SanDonato	Normal 2D Equation
785.98	SanDonato	Normal 2D Equation
725.99	SanDonato	Normal 2D Equation
725.98	SanDonato	Normal 2D Equation
599.99	SanDonato	Normal 2D Equation

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

599.98	SanDonato	Normal 2D Equation
59.99	SanDonato	Normal 2D Equation
59.98	SanDonato	Normal 2D Equation
31.99	SanDonato	Normal 2D Equation
31.98	SanDonato	Normal 2D Equation

Tabella 14: Coefficiente di deflusso e tipologia di modellazione per ciascuna struttura laterale (modello idraulico RAS_Chianti).

Id Struttura laterale	River	Cd	Tipologia di modellazione
99.99	BV17658	-	Normal 2D Equation
99.98	BV17658	-	Normal 2D Equation
49.99	BV17658	-	Normal 2D Equation
49.98	BV17658	0.195	Weir Equation
199.99	Capanne	-	Normal 2D Equation
199.98	Capanne	-	Normal 2D Equation
139.99	Capanne	-	Normal 2D Equation
139.98	Capanne	-	Normal 2D Equation
77.99	Capanne	-	Normal 2D Equation
77.98	Capanne	0.195	Weir Equation
59.99	Capanne	-	Normal 2D Equation
59.98	Capanne	-	Normal 2D Equation
29.99	Capanne	-	Normal 2D Equation
29.98	Capanne	0.195	Weir Equation
239.99	Fosce	-	Normal 2D Equation
239.98	Fosce	-	Normal 2D Equation
186.99	Fosce	-	Normal 2D Equation
186.98	Fosce	-	Normal 2D Equation
104.99	Fosce	-	Normal 2D Equation
104.98	Fosce	-	Normal 2D Equation

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

75.99	Fosce	-	Normal 2D Equation
75.98	Fosce	-	Normal 2D Equation
49.99	Fosce	-	Normal 2D Equation
49.98	Fosce	-	Normal 2D Equation
21.99	Fosce	-	Normal 2D Equation
21.98	Fosce	0.195	Weir Equation

Tabella 15: Coefficiente di deflusso e tipologia di modellazione per ciascuna struttura laterale (modello idraulico RAS_Lajatico).

Id Struttura laterale	River	Cd	Tipologia di modellazione
19.99	Botro_Macchie	0.55	Weir Equation
19.98	Botro_Macchie	1.1	Weir Equation
14.99	Botro_Macchie	0.55	Weir Equation
14.98	Botro_Macchie	1.1	Weir Equation
4.99	Botro_Macchie	0.11	Weir Equation
4.98	Botro_Macchie	0.11	Weir Equation

Tabella 16: Coefficiente di deflusso e tipologia di modellazione per ciascuna struttura laterale (modello idraulico RAS_Botro_Macchie).

5.2.2. Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata

I coefficienti di scabrezza n di Manning sono stati fissati sia in funzione dei valori adottati negli studi pregressi, che avvalendosi del confronto tra le caratteristiche dei tratti in esame ed altri corsi d'acqua di caratteristiche di scabrezza simili per cui si hanno a disposizione misure di taratura di n , considerando anche la possibilità che la piena possa avvenire in condizioni di non perfetta manutenzione del corso d'acqua.

Per gli alvei incisi modellati 1D si sono assunti valori del coefficiente di Manning variabili tra 0.04 e 0.1 per il main channel, e tra 0.04 e 0.1 per le overbank areas. In corrispondenza di tombini (culvert) tratti rivestiti sono stati assegnati valori di scabrezza variabili tra 0.014 e 0.02, a seconda delle caratteristiche del tratto in esame.

Per un'analisi più dettagliata sull'attribuzione dei coefficienti di Manning ai differenti corsi d'acqua si rimanda alla seguente Figura 31 ed al dettaglio delle sezioni negli allegati di RAS.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

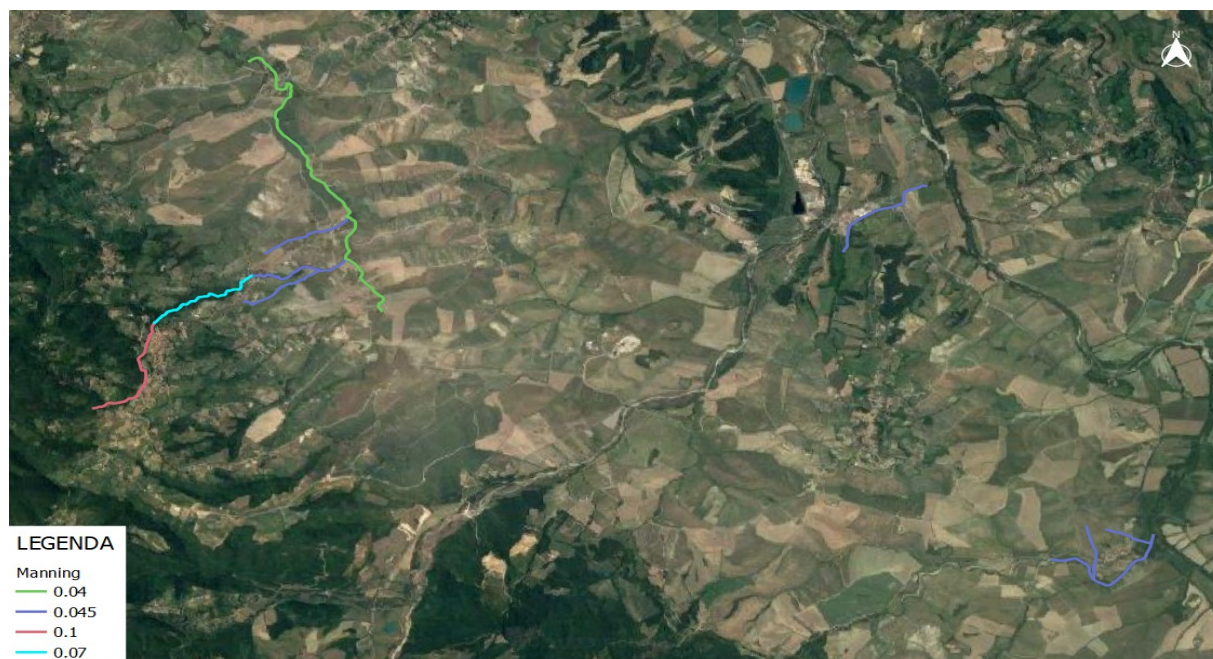


Figura 31: Distribuzione dei coefficienti di Manning sui corsi d'acqua oggetto di studio

Per i coefficienti di perdita concentrata sono stati assegnati valori del coefficiente di perdita per contrazione/espansione pari a 0.1/0.3 per le sezioni correnti e variabili tra 0.3/0.5 e 0.5/0.7 in presenza di discontinuità (tipicamente attraversamenti), a seconda delle caratteristiche di variazione della sezione.

Il coefficiente di scabrezza delle celle bidimensionali è stato assegnato a partire dall'uso del suolo derivato dal progetto Corine, secondo la seguente tabella di corrispondenza ripresa da R. Pestana et al., 2013, *Calibration of 2d hydraulic inundation models in the floodplain region of the lower Tagus river*, ESA Living Planet Symposium 2013.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

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

Tabella 17: valori del coefficiente di scabrezza sulle aree 2D (R. Pestana et al., 2014).

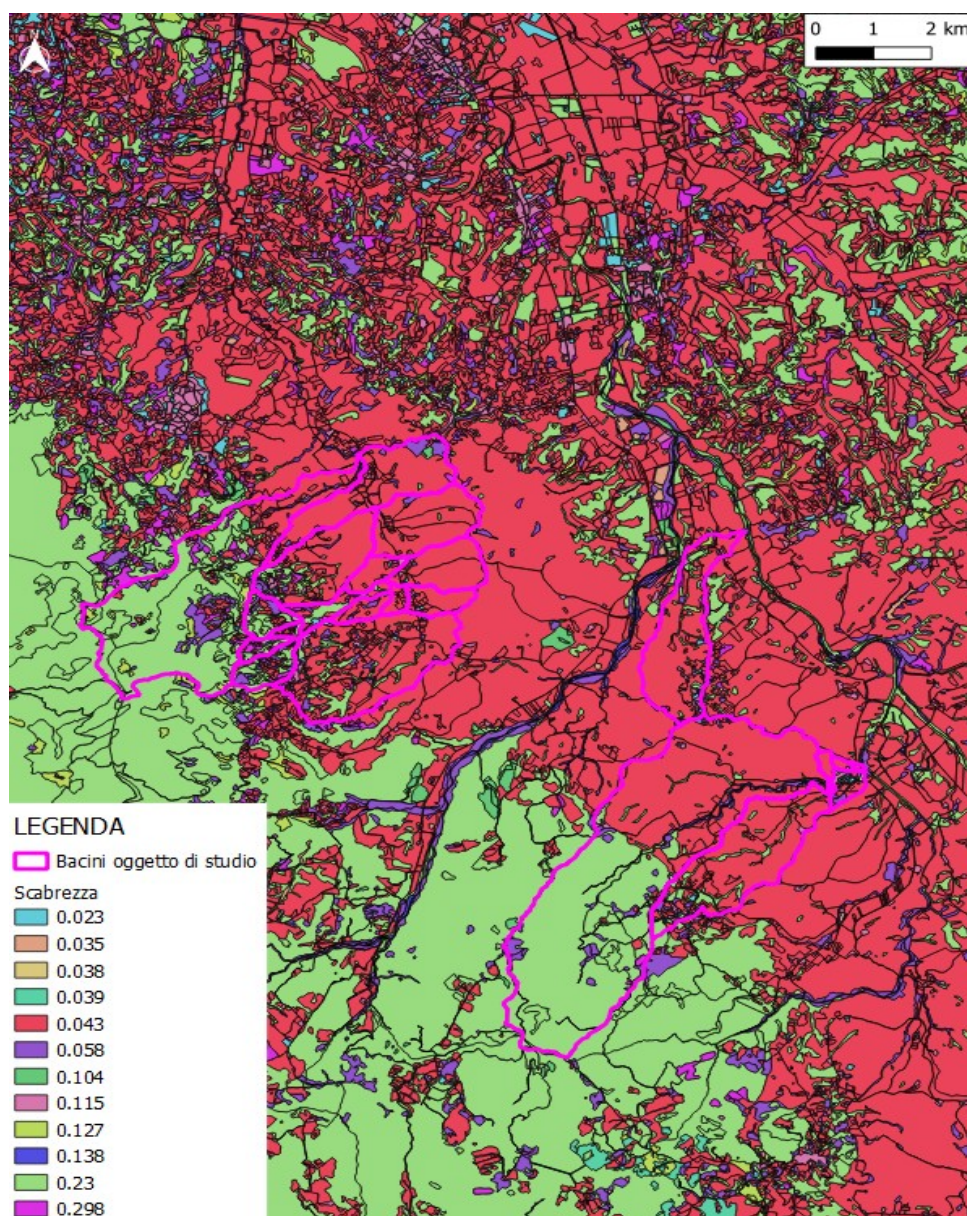


Figura 32: Distribuzione spaziale dei valori di scabrezza sull'area di studio

5.2.3. Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena

Le condizioni al contorno di monte sono date dagli idrogrammi determinati in sede di analisi idrologica e precedentemente riportati. Il deflusso proveniente dagli interbacini è stato considerato come deflusso uniformemente distribuito sul tratto di studio.

A valle si sono considerate condizioni di sbocco a moto uniforme (opzione Normal Depth), assumendo la pendenza della linea dell'energia pari alla pendenza del fondo.

Nel tratto modellato a moto permanente a monte e a valle si sono assunte condizioni di moto uniforme con pendenza della linea dell'energia pari alla pendenza del fondo.

Le seguenti tabelle riportano il dettaglio delle condizioni al contorno considerate per i diversi

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

modelli realizzati. In generale si è assegnato in testa ai tratti di modellazione la portata proveniente dai bacini di monte con l'opzione Flow hydrograph (ad eccezione dei corsi d'acqua BV16759 e BV16307, in cui per ragioni di stabilità del modello si è utilizzata l'opzione "Uniform Lateral Inflow Hydrograph", assegnando l'ideogramma delle portate in maniera distribuita sul tratto iniziale di testa del modello), inserendo poi ove presenti i contributi degli afflussi vallivi come "Lateral Inflow Hydrograph" per gli ingressi puntuali, e come "Uniform Lateral Inflow Hydrograph" per gli interbacini.

River Station/BC line	Condizione al contorno	Elemento HMS
20	Flow Hydrograph	Macchie_C1
01	Normal Depth ($S_0 = 0.008$)	-

Tabella 18: Condizioni al contorno per il modello idraulico RAS_Botro_Macchie

River/Area 2D	River Station/BC line	Condizione al contorno	Elemento HMS
BV16307	150	Flow Hydrograph	-
BV16307	143.33-55.415	Uniform Lateral Inflow Hydrograph	BV16307
BV16579	160	Flow Hydrograph	-
BV16579	157.5-106.67	Uniform Lateral Inflow Hydrograph	BV16579
SanDonato_1	1000	Flow Hydrograph	SD_C2
SanDonato_1	1000-652.08	Uniform Lateral Inflow Hydrograph	San Donato_3
SanDonato_2	56.667-20	Uniform Lateral Inflow Hydrograph	San Donato_4
Cascina	2458	Flow Hydrograph	Cascina Monte
Cascina	2398.17-1649	Uniform Lateral Inflow Hydrograph	Interbacino Pancacci
Cascina_S.Donato	1589-1022.96	Uniform Lateral Inflow Hydrograph	Interbacino Casetta-Gattero
Cascina_valle	933.87-35.923	Uniform Lateral Inflow Hydrograph	Interbacino Colliverdi-Mezz

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

Cascina_valle	35.038	Lateral Inflow Hydrograph	Cafaggio
Cascina_valle	34.154-3.621	Uniform Lateral Inflow Hydrograph	Interbacino Pianette
Cascina_valle	2.966	Lateral Inflow Hydrograph	La Fine
Cascina_valle	1.000	Normal Depth ($S_0=0.01108$)	-

Tabella 19: Condizioni al contorno per il modello idraulico RAS_Chianni.

River/ Area 2D	River Station/ BC line	Condizione al contorno	Elemento HMS
SanDonato_1	3810.93	Peak Flow	Cetro
SanDonato_1	2704.13	Peak Flow	San Donato_1
SanDonato_1	2671	Peak Flow	San Donato_2
SanDonato_1	2472.25	Peak Flow	BV16706
SanDonato_1	2439.13	Peak Flow	San Donato_3
SanDonato_1	Boundary upstream condition	Normal Depth ($S_0=0.13$)	-
SanDonato_1	Boundary downstream condition	Normal Depth ($S_0=0.05$)	-

Tabella 20: Condizioni al contorno per il modello idraulico RAS_SDonato_monte

River/ Area 2D	River Station/ BC line	Condizione al contorno	Elemento HMS
BV17658	100	Flow Hydrograph	BV17658

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

Capanne	200	Flow Hydrograph	Capanne
Fosce_1	240	Flow Hydrograph	Fosce_1
Fosce_1	150-130	Uniform Lateral Inflow Hydrograph	Fosce_2
Fosce_2	98	Lateral Inflow Hydrograph	Botro di Piano
Fosce_2	94-32.5	Uniform Lateral Inflow Hydrograph	Fosce_3
Fosce_3	10.5	Lateral Inflow Hydrograph	Fosce_4
Fosce_3	20	Rating Curve	-

Tabella 21: Condizioni al contorno per il modello idraulico RAS_Lajatico

Alle estremità di valle delle aree di calcolo 2D si sono considerate opportune BC Line per consentire la fuoriuscita delle acque di esondazione dal dominio di calcolo, assumendo una scala di deflusso a moto uniforme (Normal depth).

Per il torrente Ragone non sono disponibili dati da studi aggiornati da poter utilizzare per la stima delle condizioni al contorno. Il criterio seguito per la stima delle condizioni al contorno di valle, riferite al torrente Fosce, è stato allora quello di valutare su base geomorfologica (prendendo a riferimento il Lidar della Regione Toscana) l'estensione delle aree vincolate a pericolosità idraulica P2 imputabili al torrente Ragone, ricavando in prima approssimazione le quote del pelo libero alla confluenza Fosce - Ragone per eventi trentennali (stimata pari a 81.89 m.s.m.) e per eventi duecentennali (assunta pari a 82.3 m.s.m.). Sulle sezioni di estremità di valle del modello del Fosce si è poi adottata una scala di deflusso a moto uniforme, correggendo i valori più bassi di tale scala in modo da avere comunque a valle una quota del pelo libero non inferiore alle suddette quote stimate in corrispondenza della confluenza. Tale ipotesi risulta cautelativa. In ogni caso l'area alla confluenza tra Ragone e Fosce non risulta di interesse urbanistico per l'Amministrazione Comunale per cui eventuali imprecisioni minori nella stima della condizione di valle sono da ritenersi poco significative ai fini della presente analisi, che ha per oggetto essenzialmente le aree del territorio urbanizzato.

5.2.4. Impostazioni generali di calcolo

Le simulazioni sono state effettuate adottando il modello completo di calcolo (Full Momentum) basato sulle equazioni di De Saint Venant sia per la parte 1D che per la parte 2D del dominio di calcolo.

Per la definizione dell'intervallo temporale di calcolo si sono adottate sia le opzioni di Fixed Time Step che di Adaptive Time Step di RAS, con variazione dell'intervallo di calcolo in modo da mantenere un valore del numero di Courant compreso tra limiti preimpostati. Nella fattispecie si è adottato un intervallo del numero di Courant variabile tra 0.45 e 1.7 e intervalli di calcolo di base

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

variabili nei diversi modelli tra 1 e 10 secondi.

5.2.5. Scenari simulati

Per ogni scenario di simulazione è stato implementato un diverso plan su RAS. Si sono simulati eventi con tempi di ritorno 30 e 200 anni; le durata di pioggia prese in esame sono quelle critiche per ciascun corso d'acqua oggetto di studio.

L'elenco di seguito riporta prima i plan relativi ai modelli dei corsi d'acqua per i diversi modelli implementati.

ID Plan	Tp (h)	Tr [anni]
IT_TR030_TP0.5h	0.5	30
IT_TR030_TP01h	1	30
IT_TR030_TP02h	2	30
IT_TR030_TP03h	3	30
IT_TR030_TP04h	4	30
IT_TR030_TP06h	6	30
IT_TR200_TP0.5h	0.5	200
IT_TR200_TP01h	1	200
IT_TR200_TP02h	2	200
IT_TR200_TP03h	3	200
IT_TR200_TP04h	4	200
IT_TR200_TP06h	6	200

Tabella 22: Quadro riassuntivo simulazioni RAS_Botro_Macchie.

ID Plan	Tp (h)	Tr [anni]
IT_TR030_TP0.5h	0.5	30
IT_TR030_TP01h	1	30
IT_TR030_TP02h	2	30
IT_TR030_TP03h	3	30
IT_TR030_TP04h	4	30

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

IT_TR030_TP06h	6	30
IT_TR030_TP08h	8	30
IT_TR200_TP0.5h	0.5	200
IT_TR200_TP01h	1	200
IT_TR200_TP02h	2	200
IT_TR200_TP03h	3	200
IT_TR200_TP04h	4	200
IT_TR200_TP06h	6	200
IT_TR200_TP08h	8	200

Tabella 23: Quadro riassuntivo simulazioni RAS_Chianni.

ID Plan	Tp (h)	Tr [anni]
IT_TR030_TP01h	1	30
IT_TR200_TP01h	1	200

Tabella 24: Quadro riassuntivo simulazioni RAS_Sdonato_monte.

Per il tratto di monte del botro San Donato la simulazione è stata eseguita in moto permanente con riferimento alla sola durata critica.

ID Plan	Tp (h)	Tr [anni]
IT_TR030_TP0.5h	0.5	30
IT_TR030_TP01h	1	30
IT_TR030_TP02h	2	30
IT_TR030_TP03h	3	30
IT_TR030_TP04h	4	30
IT_TR200_TP0.5h	0.5	200
IT_TR200_TP01h	1	200
IT_TR200_TP02h	2	200

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

IT_TR200_TP03h	3	200
IT_TR200_TP04h	4	200

Tabella 25: Quadro riassuntivo simulazioni RAS_Lajatico.

6. ANALISI DEI RISULTATI

I risultati dettagliati delle simulazioni RAS effettuate sono riportati in allegato alla presente relazione.

Le simulazioni condotte sono servite come base per la redazione delle cartografie di pericolosità per l'area di studio.

Le classi di pericolosità idraulica sono state assegnate in funzione delle planimetrie di allagamento atteso per i vari tempi di ritorno considerati nell'analisi idraulica, tramite operazioni di regolarizzazione delle aree di esondazione trovate da modellazione, con l'utilizzo di appositi algoritmi gis e con finiture manuali.

Per gli eventi duecentennali sono inoltre state elaborate tavole grafiche con le altezze e le velocità di esondazione nelle aree di interesse, e con le conseguenti combinazioni di magnitudo idrauliche così come determinate ai sensi L.R. 41/2018. La magnitudo è stata definita con riferimento ad i valori massimi di altezza e velocità risultanti in ogni cella di calcolo per i diversi scenari di simulazione considerati.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale Alta Valdera</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

7. ALLEGATI

Si riportano con allegato a parte i risultati delle simulazioni eseguite. Per ogni modello idraulico si ha:

1. Planimetrie di modellazione;
2. Profili 1D Tr30 e Tr200;
3. Sezioni di calcolo RAS;
4. Tabelle numeriche.