



Regione Toscana



Comune di Empoli



Consorzio di Bonifica 3 Medio Valdarno

Via G. Verdi, 16 - 50122 FIRENZE

tel: 055 240269; fax: 055 241458; e-mail: info@cbmv.it

Titolario 13_1_153

Torrente Orme (Lotto A). Cassa di espansione Orme 4. Ponte sul Torrente Orme e nuovo tracciato Via delle Coltelline.

Codice regionale DODS2019FI0006

PROGETTO DEFINITIVO

Elaborato		scala
ID_F01	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>	-



RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Francesco Piragino

PROGETTISTA

Ing. Jacopo Guerrini



PROGETTISTA STRUTTURALE BRIGLIA-PONTE

Ing. Salvatore Giacomo Morano



COLLABORATORI

Ing. Andrea Ruggiero

Geom. Massimiliano Lanini

GEOLOGI

Dott. Lorenzo Cirri

Dott. Tamara Cantini Casserini



gennaio 2020

***Torrente Orme (Lotto A). Cassa di espansione Orme 4. Ponte
sul Torrente Orme e nuovo tracciato Via delle Coltelline.***

Codice regionale DODS2019FI0006

Progetto definitivo

Elaborato ID_F01

Relazione idrologica e idraulica

Sommario

1. PREMESSA	5
2. CARTOGRAFIA, RILIEVI E ALTRI DATI	5
3. DESCRIZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO	6
3.1. IDROGRAFIA.....	6
3.2. MORFOLOGIA	10
3.3. LITOLOGIA	14
3.4. PEDOLOGIA E GRUPPI IDROLOGICI DEI SUOLI	15
3.5. USO DEL SUOLO E COPERTURA BOSCATI	16
4. MODELLAZIONE IDROLOGICA	18
4.1. METODOLOGIA.....	18
4.2. RISULTATI.....	19
5. APPROCCIO PROGETTUALE	23
6. MODELLAZIONE IDRAULICA	24
6.1. METODOLOGIA.....	24
6.2. PARAMETRI IN INGRESSO	25
6.2.1. <i>Impostazioni di calcolo</i>	25
6.2.2. <i>Geometria e scabrezza</i>	26
6.2.3. <i>Condizioni al contorno e forzanti idrologiche</i>	28
6.3. MODELLAZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO.....	29
6.4. RISULTATI.....	30
6.4.1. <i>Stato attuale</i>	30
6.4.2. <i>Stato di progetto - idraulica dell'opera</i>	30
6.4.3. <i>Stato di progetto - effetti sul tratto di valle</i>	32
7. CALCOLO DELL'INDENNITÀ DI ALLAGAMENTO	37
TABULATI DI CALCOLO	39

1. Premessa

La presente relazione descrive la metodologia adottata e cita le fonti dei dati utilizzati per la generazione delle forzanti idrologiche e del modello idraulico.

Negli anni recenti il torrente Orme è stato oggetto di vari studi, dei quali si citano i seguenti:

- **Studio idrologico idraulico di supporto al nuovo Regolamento Urbanistico del Comune di Empoli** (2013), redatto dall'ufficio tecnico del Genio Civile di Area Vasta FI-PO-PT-AR (Ing. F. Baroni, Ing. F. Martelli, Geol. C. Simoncini);
- **Progetto di fattibilità tecnica ed economica Casse di espansione e interventi di riduzione del pericolo idraulico sul torrente Orme, rio Piovola e rio Ormicello nel Comune di Empoli: primo stralcio funzionale** (2017), redatto dal Consorzio di Bonifica (il sottoscritto Ing. Jacopo Guerrini);
- **Relazione idrologica idraulica di supporto alla Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014** (luglio 2019), redatta da H.S. Ingegneria srl (Ing. Simone Pozzolini).

In particolare, il presente lavoro recepisce e perfeziona le ipotesi dei precedenti studi per quanto riguarda la modellazione del tratto del T. Orme che va dalla località Martignana fino al ponte della Ferrovia Pisa-Firenze e degli interventi previsti su tale tratto.

2. Cartografia, rilievi e altri dati

Ai fini dello studio idrologico sono stati utilizzati i seguenti dati, la cui fonte è la Regione Toscana se non diversamente specificato:

- Cartografia 1:50'000 (fonte: IGM);
- CTR 1:10'000;
- CTR 1:2'000;
- Ortofotocarta 1:2'000 (2009);
- DTM con risoluzione 10x10 m "idrologico";
- DTM con risoluzione 1x1 m da rilievo LiDAR (2008), con copertura parziale (solo dalla località Pozzale verso valle);
- Rilievo finalizzato alla ricostruzione plano-altimetrica del sito di intervento, delle aree circostanti e delle principali infrastrutture interferenti con gli interventi, svolto dal Geom. Massimiliano Lanini del Consorzio di Bonifica (2019);
- DB Pedologico 1:10'000 (2014);
- DB Uso e Copertura del Suolo 1:10.000 (2013);
- Mappa del SCS Curve Number (2016);

- Reticolo idrografico LR79/2012 - DCRT 9/2015.

3. Descrizione del bacino idrografico

3.1. Idrografia

Il bacino del T. Orme è situato a Sud-Est della città di Empoli e ricade nei comuni, oltre che di Empoli stesso, di Montespertoli e Castelfiorentino nella Città Metropolitana di Firenze. Si vedano la Figura 1 e la Figura 2. Esso è delimitato a Est dai versanti collinari di Coeli Aula e Botinaccio, a Sud dal crinale della S.P. Volterrana e a Ovest dal poggio di Monterappoli e dalla Via Salaiola; a Nord il bacino insiste sulla frazione di Casenuove.

L'asta principale del T. Orme ha origine presso Via Mandorli a Montespertoli ed è diretta ad Ovest; dopo una curva a destra, il torrente scorre in un alveo inciso in direzione Sud-Ovest verso la frazione di Martignana ricevendo i contributi di vari affluenti, fra cui i borri della Pieve, di Peretola ed il rio della Leccia (quest'ultimo segna il confine comunale Montespertoli-Empoli). Presso la località Casenuove avviene la confluenza con i principali affluenti: il T. Ormicello e il rio di Camerata. A valle della suddetta località, dove il bacino raggiunge un'estensione di circa 41 kmq, l'Orme è arginato e pensile (si veda la Figura 3) e non riceve più alcun contributo idrologico fino ad Empoli città (dove confluirà il rio della Piovola - che non è oggetto del presente studio).

La suddivisione in sottobacini di interesse per il presente progetto è stata estratta dallo *Studio idrologico idraulico di supporto al nuovo Regolamento Urbanistico del Comune di Empoli (2013)*. Nello specifico, il contributo del T. Orme è stato suddiviso in due sottobacini, il primo chiuso presso Via delle Coltelline (il simbolo @ indica la sezione di chiusura) ed il secondo fra quest'ultima e Casenuove (*IB*, interbacino).

Di seguito si riporta la tabella delle superfici dei sottobacini.

Sottobacino	Area [kmq]
Camerata	2.53
IB Orme	2.73
Orme@Coltelline	21.81
Ormicello	14.03
ORME@CASENUOVE	41.10

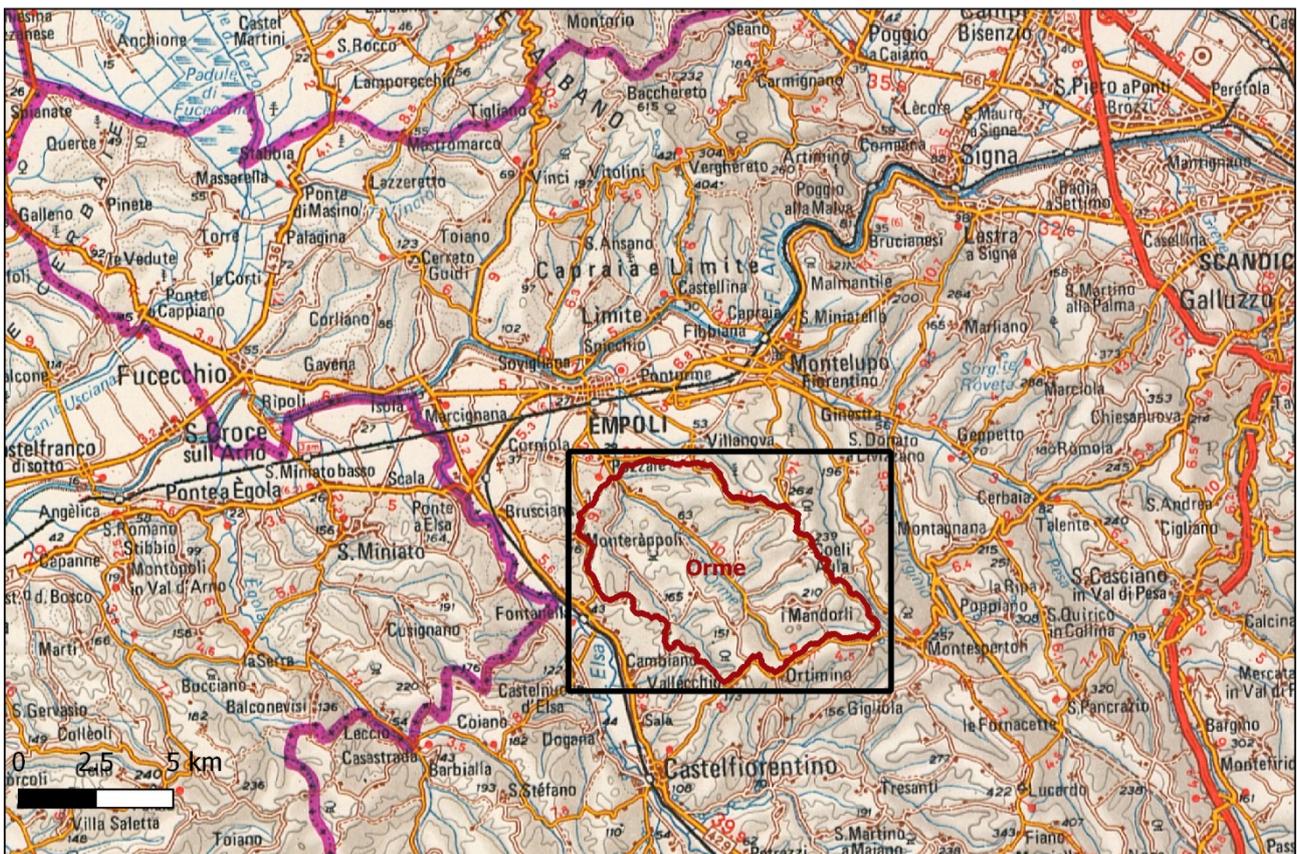
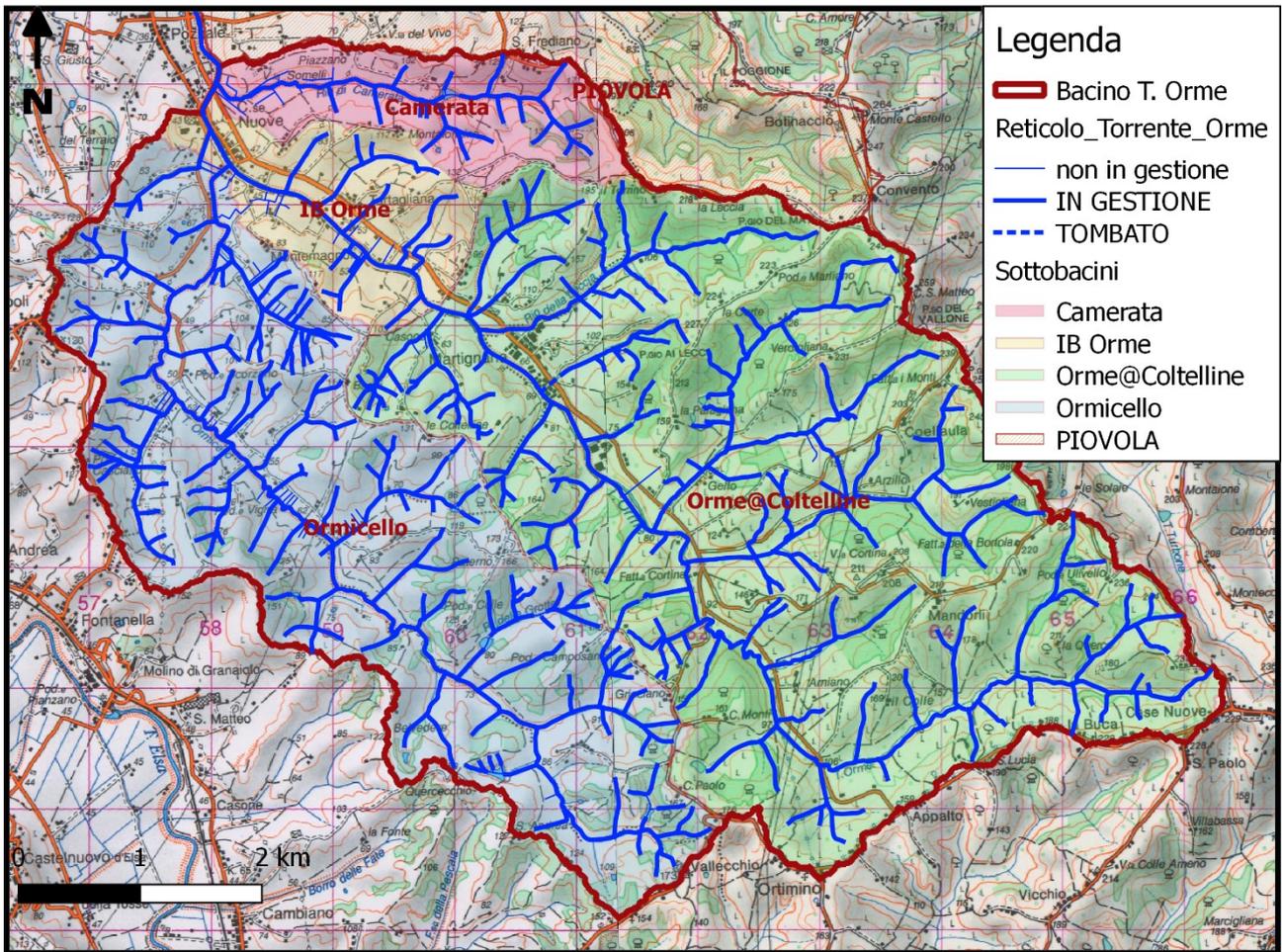


Figura 1: mappa del bacino su base IGM – zona di monte

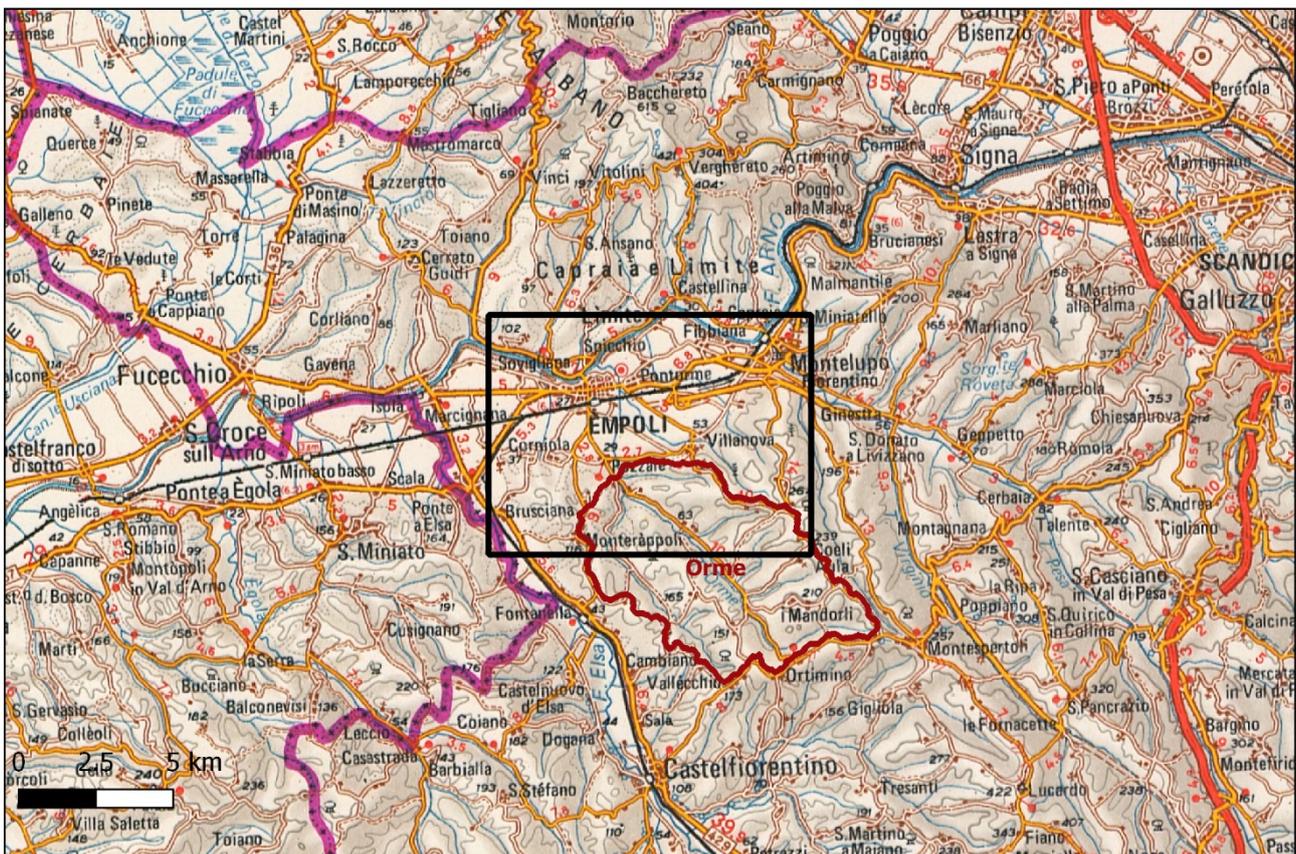
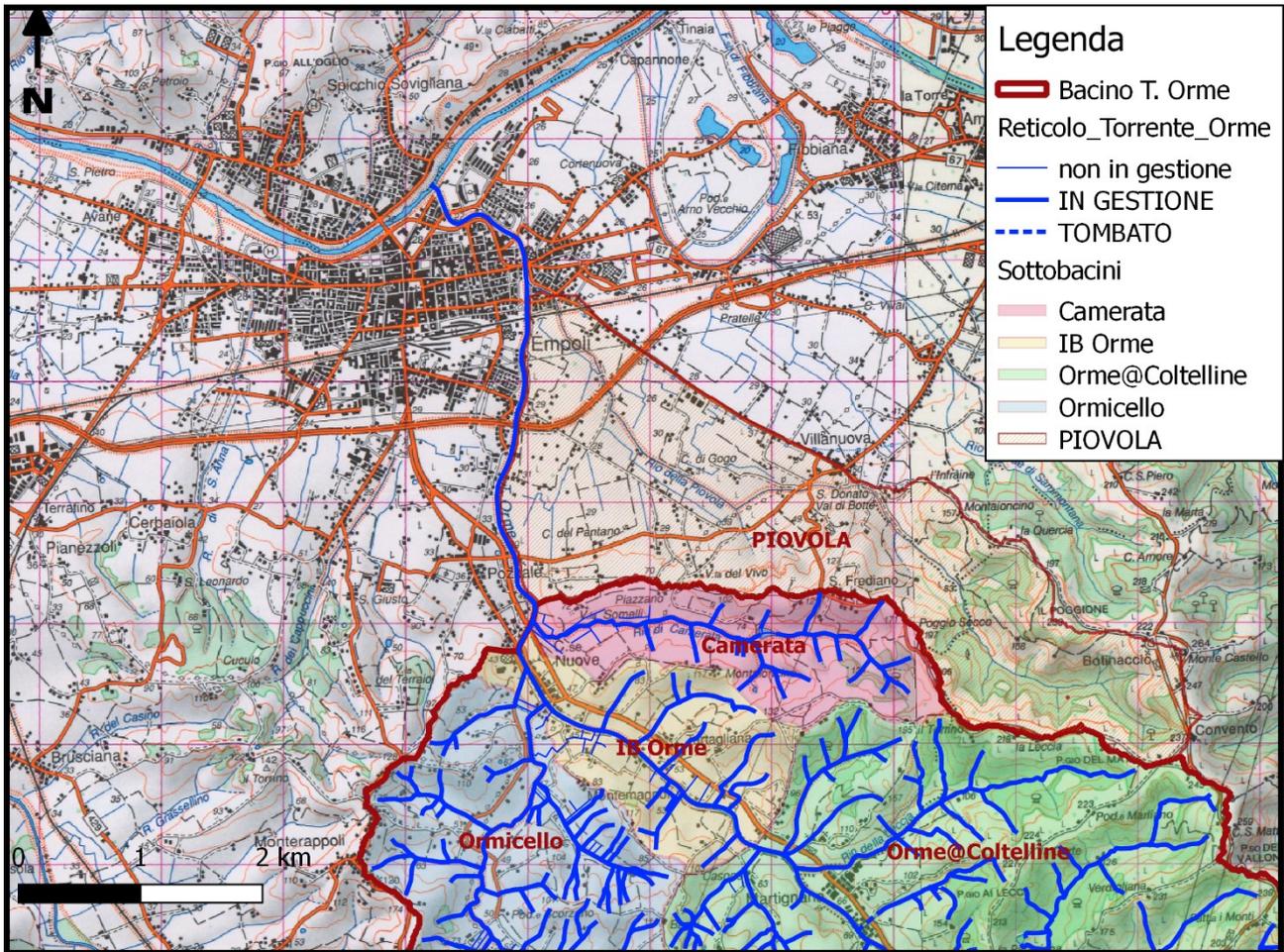


Figura 2: mappa del bacino su base IGM – zona di valle

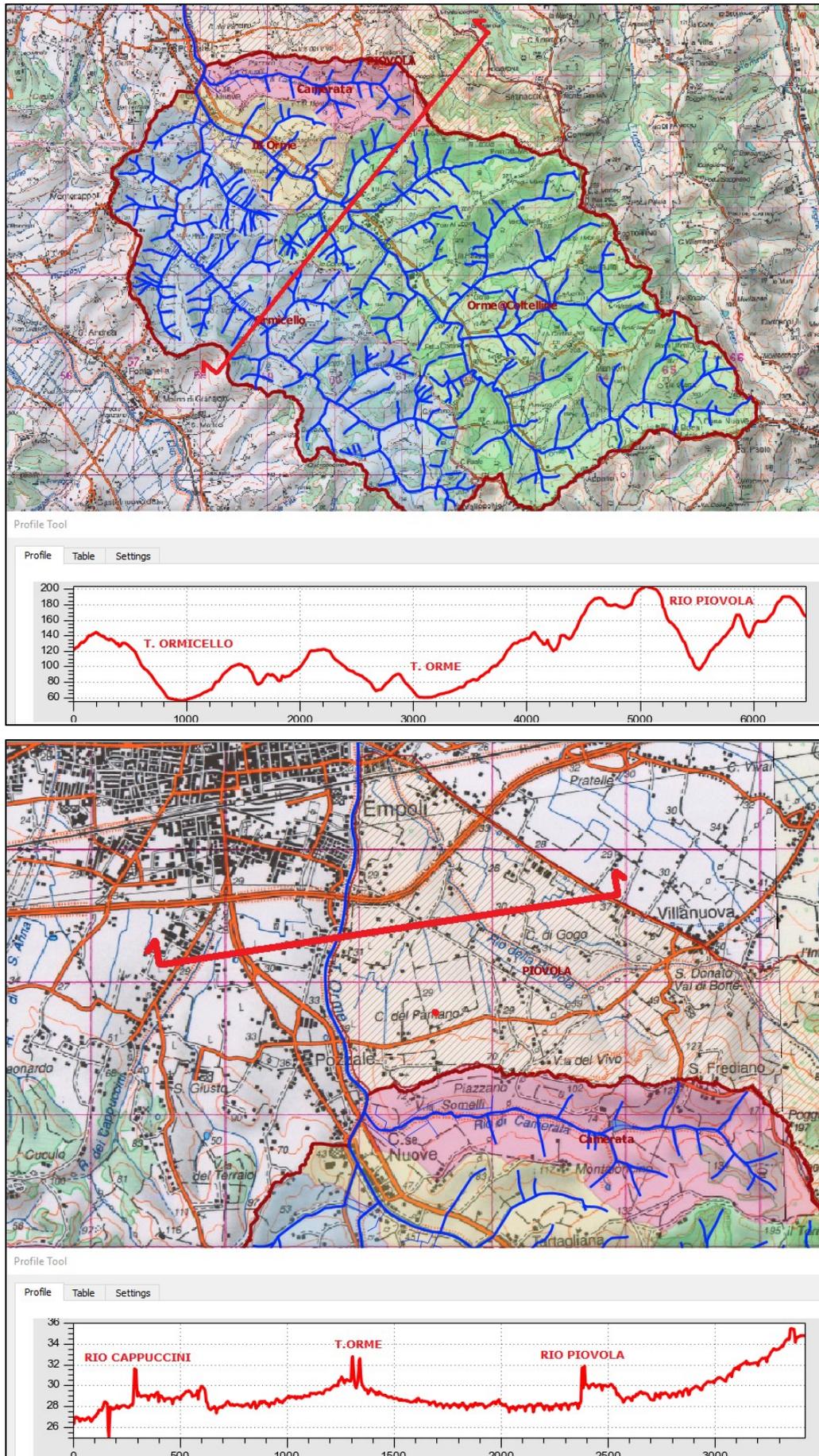


Figura 3: sezioni territoriali (in alto: da DTM 10x10 idrologico. In basso: da DTM 1x1 LiDAR)

3.2. Morfologia

Nel presente paragrafo sono riportati i principali dati morfometrici del bacino idrografico del T. Orme, il profilo dell'asta principale, la curva ipsometrica e le mappe dell'altimetria e della pendenza dei versanti.

Osservando in particolare la curva ipsometrica si può affermare che dal punto di vista dell'erosione il bacino dell'Orme risulta essere "maturo", con un'attività media ed un equilibrio dinamico.

Area [kmq]	41.1
Perimetro [km]	43.1
Lunghezza asta principale [km]	12.0
Rapporto di circolarità Rc	0.28
Rapporto di uniformità Ru	1.89
Fattore di forma Rf	0.29
Rapporto di allungamento Ra	0.60
Altitudine massima bacino [m slm]	262
Altitudine media bacino [m slm]	117
Altitudine minima bacino [m slm]	36
Pendenza media versanti [%]	17.3
Pendenza retta di compenso [m/m]	0.0088
Pendenza retta di compenso alla confluenza in Arno [m/m]	0.0056

Tutte le grandezze sono state misurate alla sezione di chiusura di Casenuove

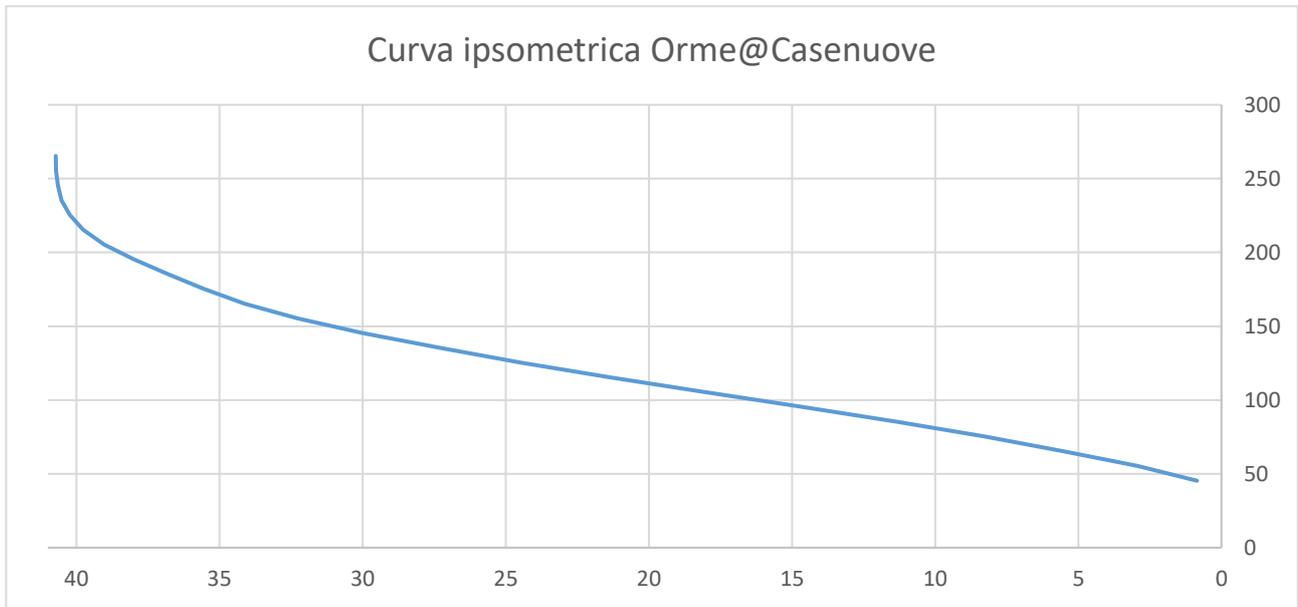


Figura 4: curva ipsometrica del bacino

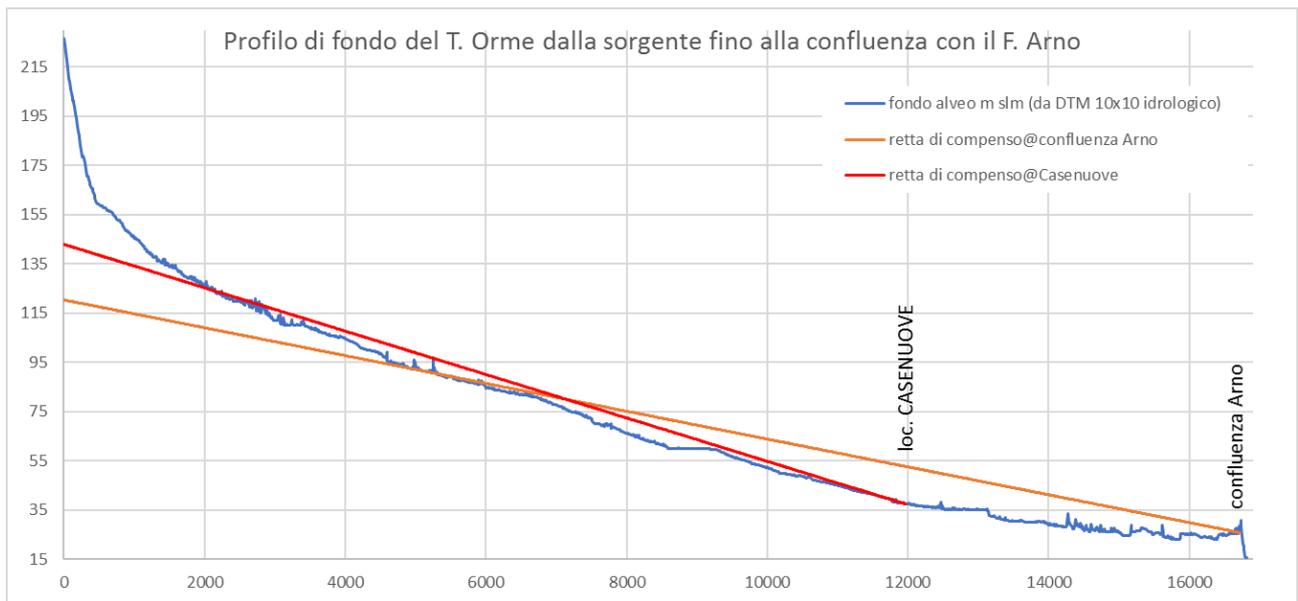


Figura 5: profilo di fondo del T. Orme dalla sorgente fino alla confluenza con il F. Arno

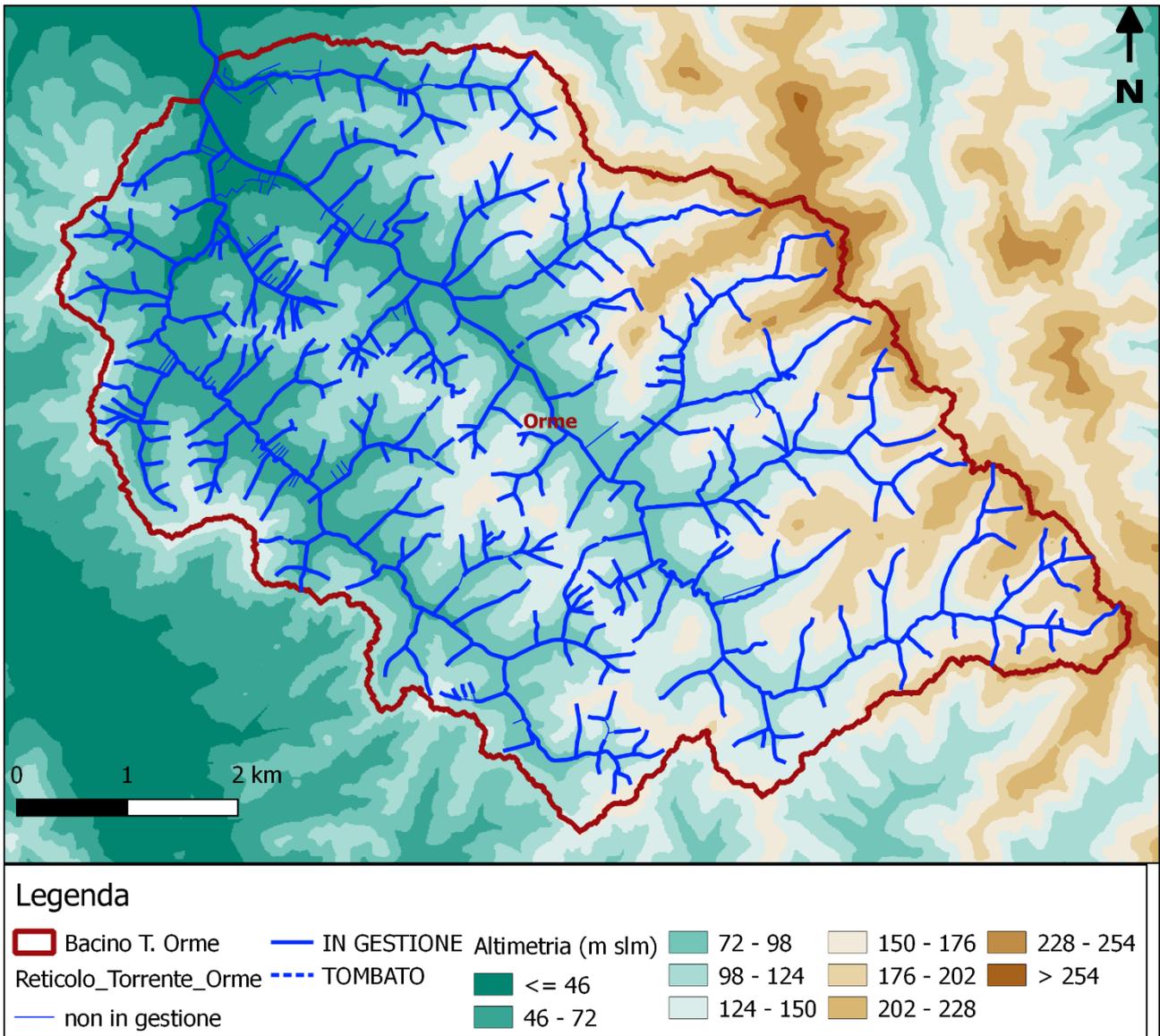


Figura 6: mappa dell'altimetria (da DTM 10x10 idrologico)

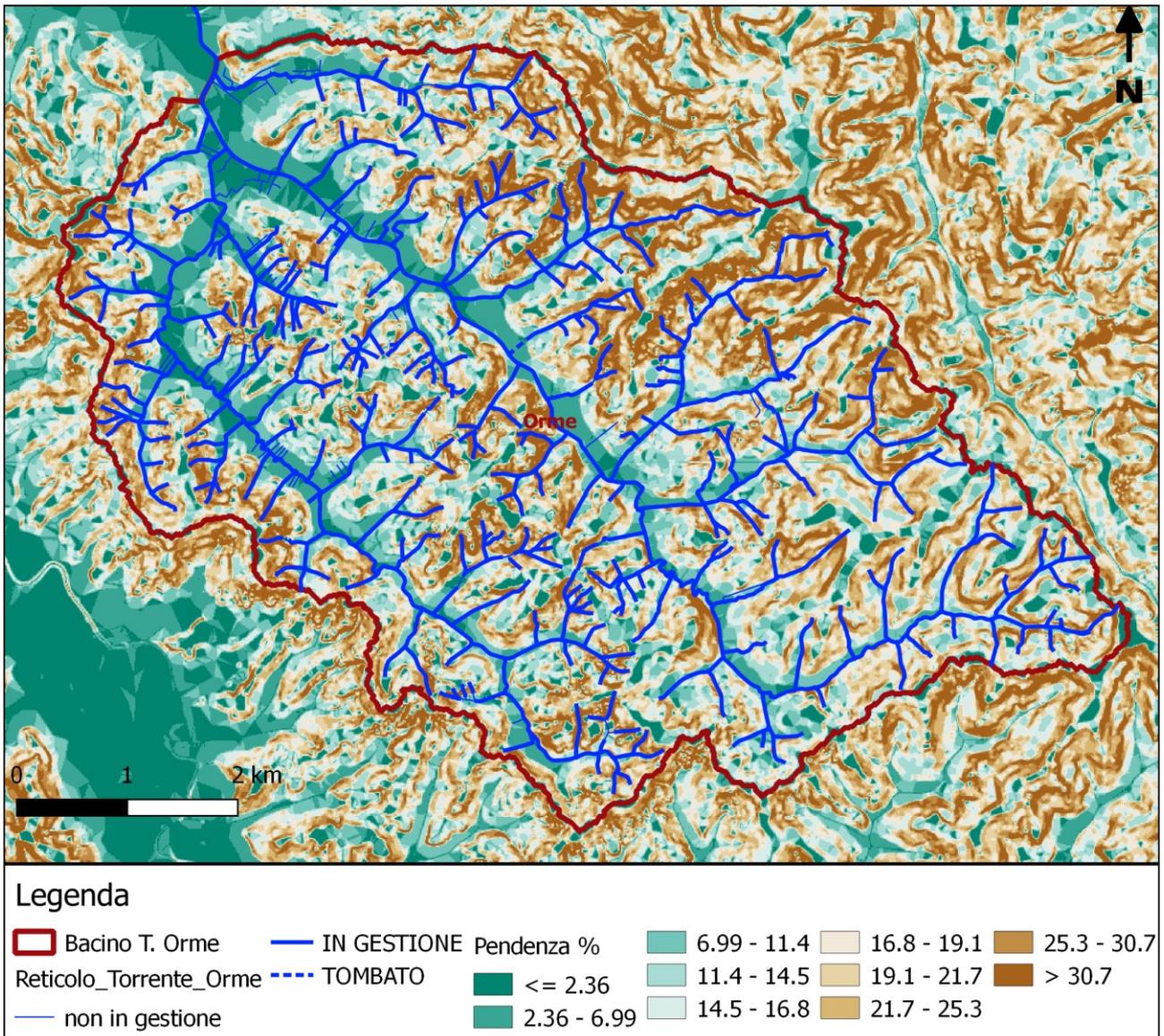


Figura 7: mappa della pendenza dei versanti (calcolata da DTM 10x10 idrologico)

3.3. Litologia

La mappa della litologia mostra come le formazioni principali del bacino del T. Orme (65% della superficie) siano i depositi limoso-argillosi consistenti, corrispondenti (ai fini della stima delle perdite del bacino idrografico) a velocità di infiltrazione molto basse, come mostrato nel paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

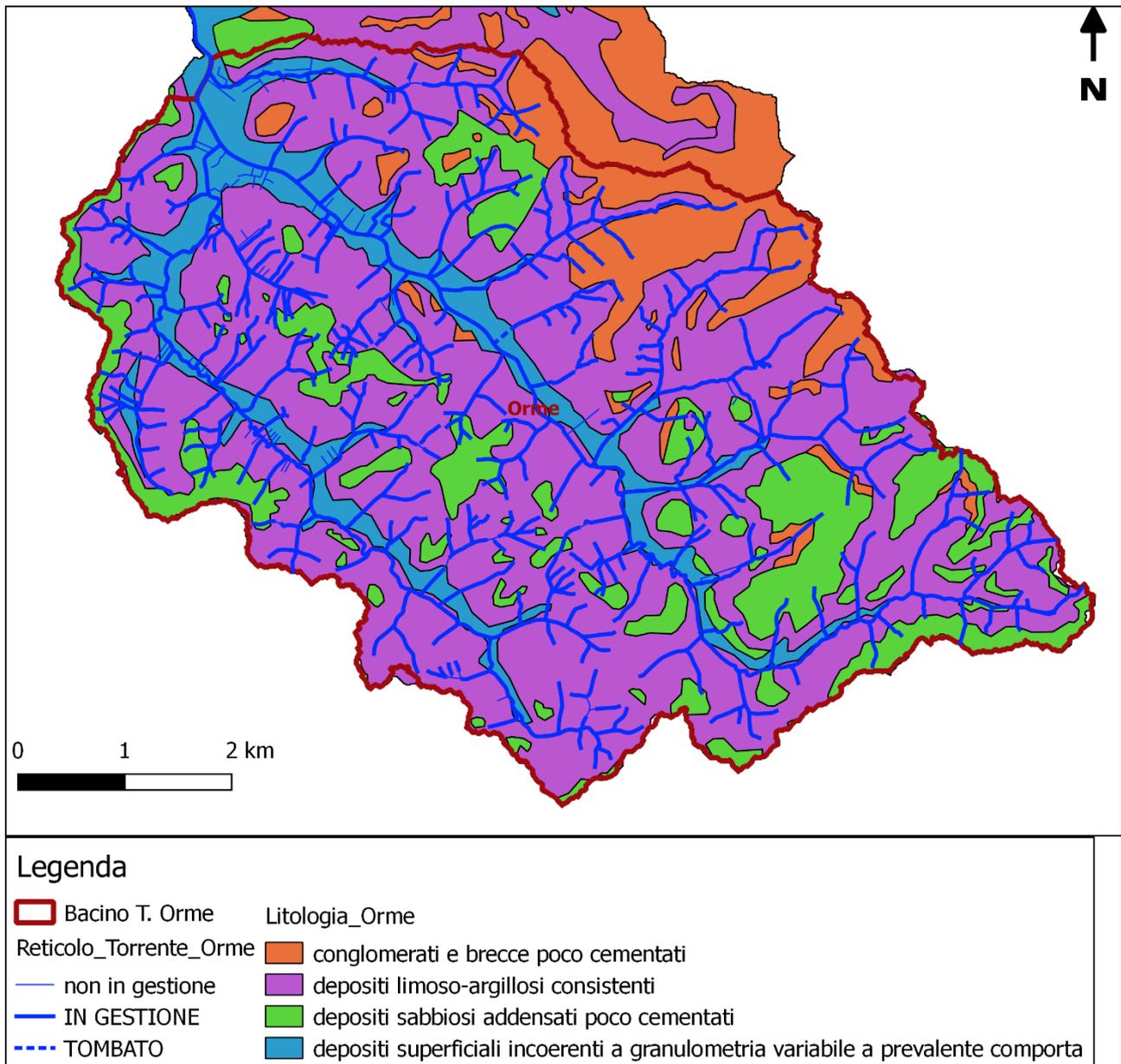


Figura 8: mappa della litologia (da Autorità di Bacino Fiume Arno)

3.4. Pedologia e gruppi idrologici dei suoli

Il DB Pedologico della Regione Toscana risale al 2014 e fornisce una mappa in scala 1:10'000 delle unità cartografiche dei suoli (la legenda è disponibile sulla pagina *GeoBlog* della Regione), riportando anche i gruppi idrologici dei suoli definiti secondo il criterio del Soil Conservation Service (SCS).

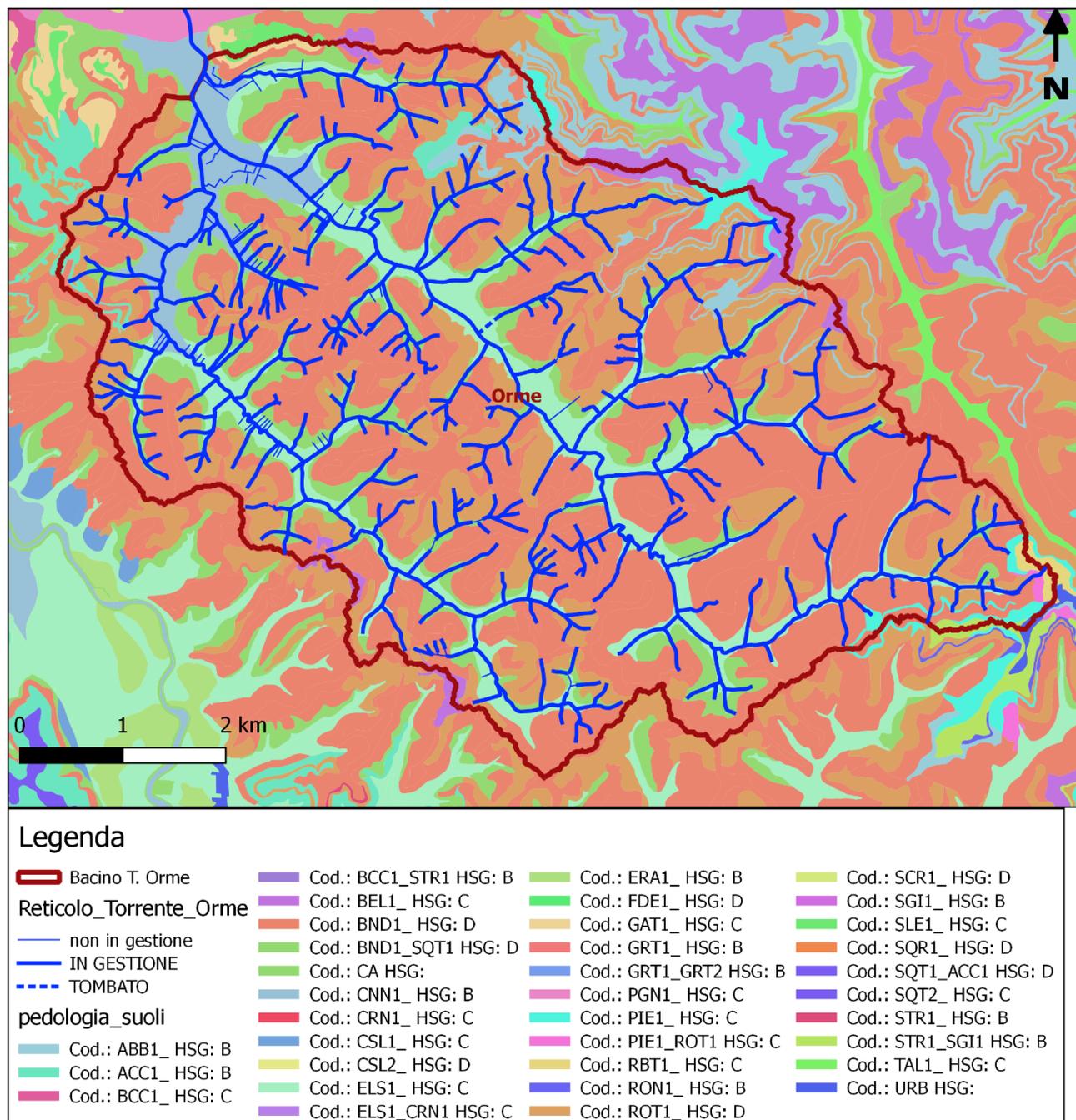


Figura 9: mappa della pedologia e dei gruppi idrologici dei suoli HSG (da Regione Toscana)

3.5. Uso del suolo e copertura boscata

Il DB Uso e copertura del suolo della Regione Toscana riporta dati aggiornati al 2013 e fornisce una mappa in scala 1:10'000 con legenda di tipo Corine Land Cover di III livello. La tabella mostra come il bacino idrografico sia suddiviso principalmente fra seminativi, boschi di latifoglie, vigneti e oliveti. La superficie boscata (evidenziata in verde in tabella) ammonta al 23% di quella complessiva.

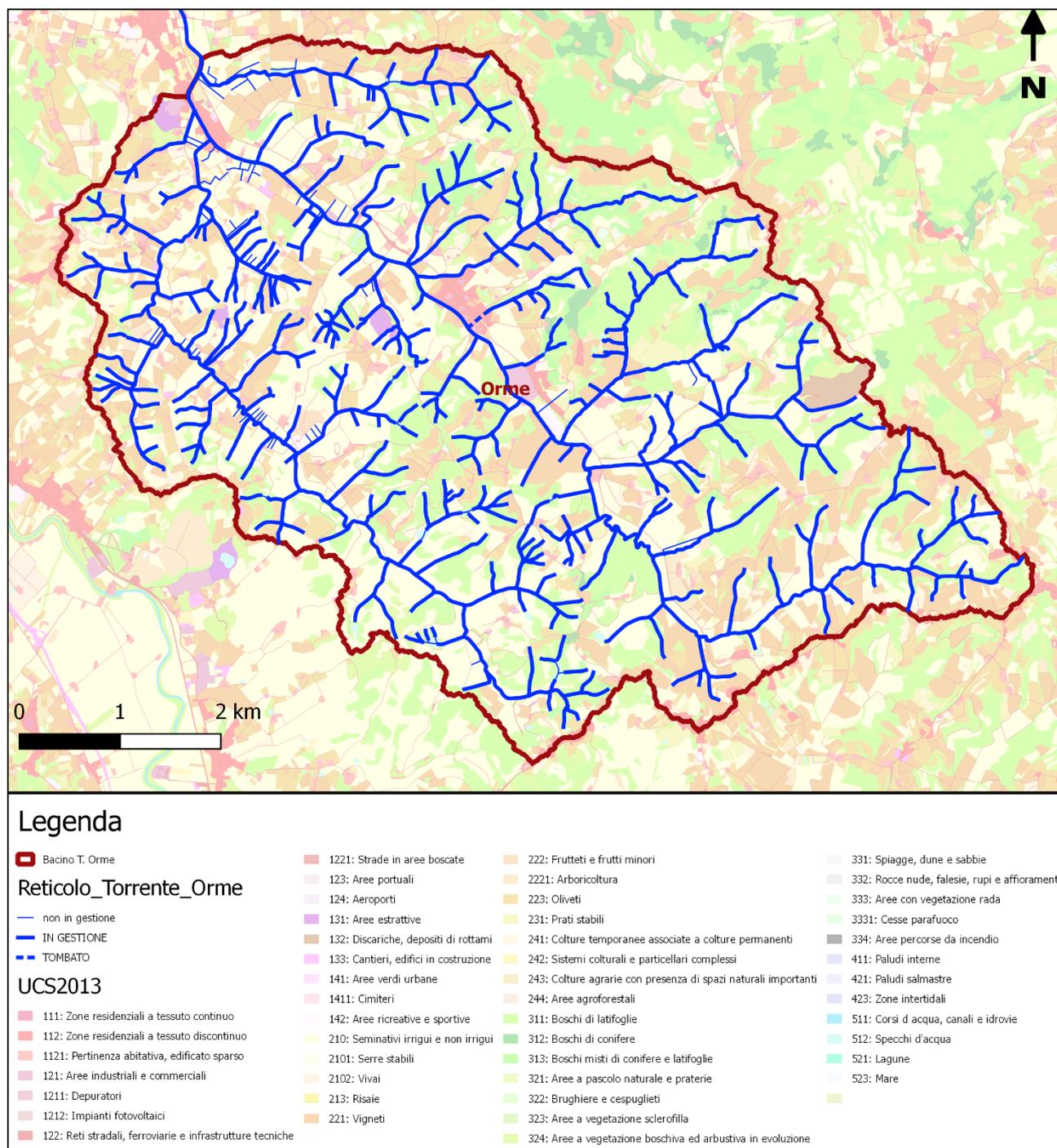


Figura 10: mappa dell'uso e copertura del suolo 2013 (da Regione Toscana)

ucs2013 (codifica CLC III livello)	Descrizione	Area/Area tot. %
112	Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado	1.26
121	Aree industriali e commerciali	0.35
122	Reti stradali, ferroviarie e infrastrutture tecniche	2.58
131	Aree estrattive	0.31
132	Discariche, depositi di rottami	0.41
133	Cantieri, edifici in costruzione	0.07
141	Aree verdi urbane	0.01
142	Aree ricreative e sportive	0.18
210	Seminativi irrigui e non irrigui	33.62
221	Vigneti	15.43
222	Frutteti e frutti minori	0.19
223	Oliveti	8.64
231	Prati stabili	2.08
241	Colture temporanee associate a colture permanenti	2.47
242	Sistemi colturali e particellari complessi	0.84
243	Colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	0.18
311	Boschi di latifoglie	19.32
312	Boschi di conifere	0.42
313	Boschi misti di conifere e latifoglie	2.88
324	Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	5.31
333	Aree con vegetazione rada	0.14
512	Specchi d'acqua	0.38
1121	Pertinenza abitativa, edificato sparso	2.16
1221	Strade in aree boscate	0.17
1411	Cimiteri	0.01
2221	Arboricoltura	0.60

4. Modellazione idrologica

4.1. Metodologia

Al fine di rendere coerente lo studio idraulico con le informazioni derivanti dal modello già utilizzato in fase di aggiornamento degli strumenti di governo del territorio dall'Amministrazione Comunale di Empoli, nel rispetto della prescrizione b.3 del provvedimento conclusivo del procedimento di verifica di assoggettabilità (*Decreto Dirigenziale n.10040 del 22/06/2018*), sono state adottate le forzanti idrologiche derivanti dal recente *Studio di supporto alla Variante al Regolamento Urbanistico (luglio 2019)*, redatto da H.S. Ingegneria srl. Di seguito si riporta una sintesi della metodologia utilizzata.

- La definizione degli afflussi è stata condotta sulla base delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica 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. I parametri n ed m sono stati stimati per ciascun sottobacino per i tempi di ritorno 10, 30 e 200 anni.
- Nelle simulazioni effettuate è stato fatto riferimento all'ipotesi classica di ietogrammi caratterizzati da una intensità di pioggia costante, in accordo con le ipotesi dello *Studio idrologico idraulico di supporto al nuovo Regolamento Urbanistico del Comune di Empoli (2013)*. È stato dunque calcolato un coefficiente di ragguaglio di tipo "globale", vale a dire considerando che i deflussi del bacino in oggetto si sommino a quelli di un bacino principale di monte.
- In analogia con lo *Studio (2013)*, è stato scelto di utilizzare il metodo initial/costant per la stima delle perdite idrologiche. Il metodo risulta caratterizzato da due parametri: il valore delle perdite iniziali I_a ed il valore del tasso di infiltrazione K_s . Per la stima di tali parametri si è seguito l'approccio codificato nel modello AITo 2000. Le perdite iniziali, definite in mm, sono stimate in funzione della frazione di area boscata del bacino, sulla base dei codici Corine Land Cover. Il tasso di infiltrazione, definito in mm/h, è stimato sulla base delle caratteristiche litologiche del terreno, utilizzando la carta del continuum geologico della Regione Toscana.
- Per la trasformazione afflussi-deflussi è stato utilizzato l'idrogramma unitario di Nash, caratterizzato dai due parametri n (parametro di forma) e k (parametro di scala), determinati in base all'analisi geomorfologica dei bacini idrografici. Si può inoltre dimostrare che il prodotto $n \cdot k$ rappresenta il tempo di ritardo del bacino T_l (pari a $0.6 \cdot T_c$, con T_c =tempo di corrivazione del bacino). Nella presente analisi sono impiegati gli stessi valori dei parametri n e k usati nello studio 2013.

4.2. Risultati

Nel presente paragrafo sono riportati i risultati della modellazione idrologica, in forma tabellare, riportando la portata massima e il volume dell'idrogramma, e in forma grafica.

Bacino	Tempo di ritorno	Durata	Qmax [mc/s]	V [1000 mc]
CAMERATA	T010	1.0h	14.8	58.0
CAMERATA	T010	2.5h	10.7	79.8
CAMERATA	T010	4.0h	7.6	92.3
CAMERATA	T030	1.0h	19.8	79.8
CAMERATA	T030	2.5h	14.2	111.1
CAMERATA	T030	4.0h	10.2	129.7
CAMERATA	T200	1.0h	28.8	118.7
CAMERATA	T200	2.5h	20.5	167.5
CAMERATA	T200	4.0h	14.9	197.6
INTERBACINO	T010	1.0h	6.3	61.2
INTERBACINO	T010	2.5h	7.5	81.9
INTERBACINO	T010	4.0h	6.9	93.5
INTERBACINO	T030	1.0h	8.8	85.4
INTERBACINO	T030	2.5h	10.3	115.4
INTERBACINO	T030	4.0h	9.5	132.9
INTERBACINO	T200	1.0h	13.2	128.6
INTERBACINO	T200	2.5h	15.5	176.1
INTERBACINO	T200	4.0h	14.3	205.0
ORME_MONTE	T010	1.0h	58.5	568.6
ORME_MONTE	T010	2.5h	66.9	740.1
ORME_MONTE	T010	4.0h	61.2	834.8
ORME_MONTE	T030	1.0h	80.5	785.1
ORME_MONTE	T030	2.5h	92.1	1035.1
ORME_MONTE	T030	4.0h	83.9	1179.4
ORME_MONTE	T200	1.0h	119.6	1170.8
ORME_MONTE	T200	2.5h	137.1	1567.3
ORME_MONTE	T200	4.0h	124.8	1805.7
ORMICELLO	T010	1.0h	32.6	325.3
ORMICELLO	T010	2.5h	38.1	435.4
ORMICELLO	T010	4.0h	35.1	498.2
ORMICELLO	T030	1.0h	44.2	442.0
ORMICELLO	T030	2.5h	51.9	600.2
ORMICELLO	T030	4.0h	47.9	694.1
ORMICELLO	T200	1.0h	64.7	649.7
ORMICELLO	T200	2.5h	76.7	898.6
ORMICELLO	T200	4.0h	71.0	1052.3
PIOVOLA	T010	1.0h	26.9	161.4
PIOVOLA	T010	2.5h	26.1	216.4
PIOVOLA	T010	4.0h	19.9	243.7
PIOVOLA	T030	1.0h	37.1	224.6
PIOVOLA	T030	2.5h	35.8	306.8
PIOVOLA	T030	4.0h	27.5	351.8
PIOVOLA	T200	1.0h	55.2	337.4
PIOVOLA	T200	2.5h	53.2	470.5
PIOVOLA	T200	4.0h	41.3	549.1

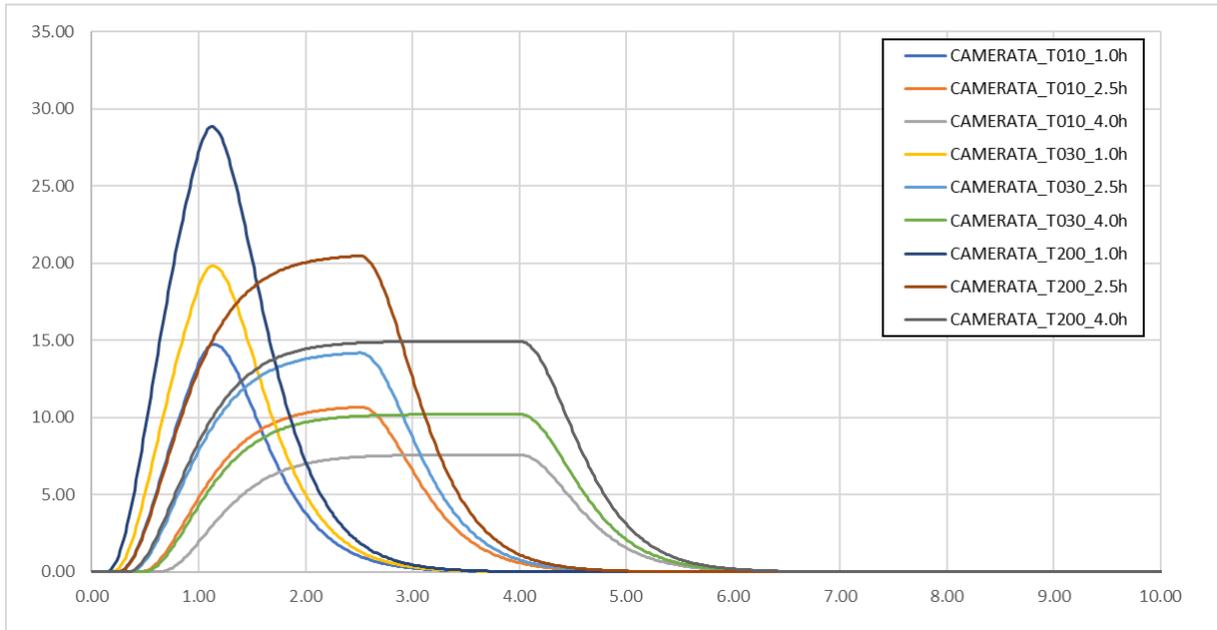


Figura 11 idrogrammi relativi al bacino Camerata

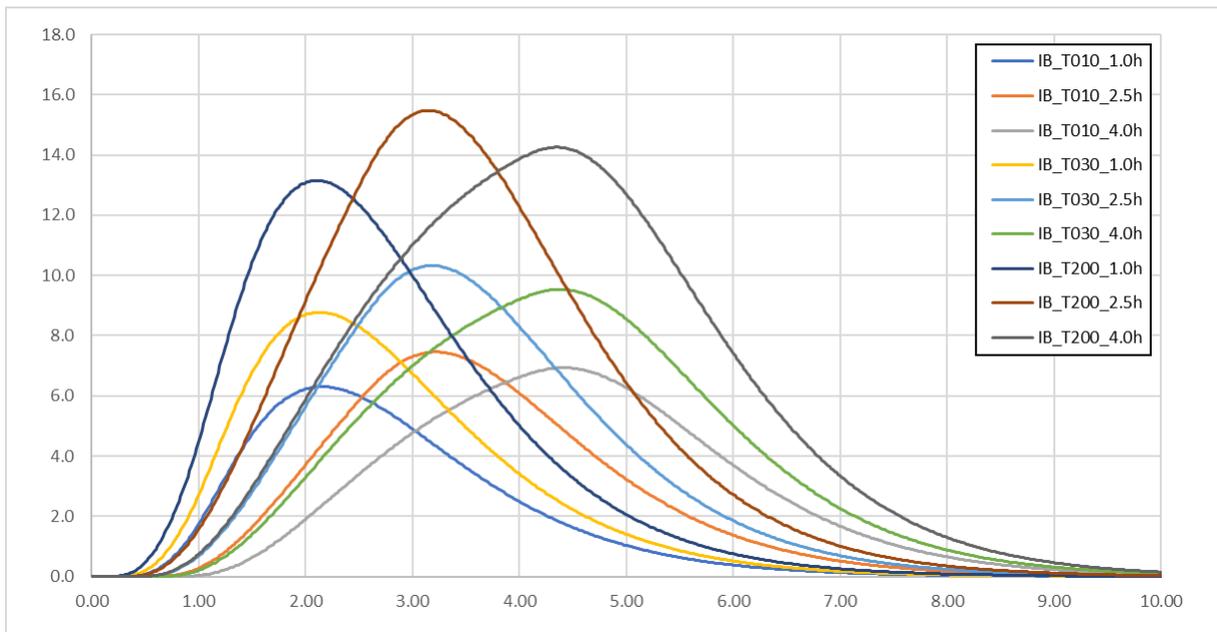


Figura 12 idrogrammi relativi all'interbacino Orme

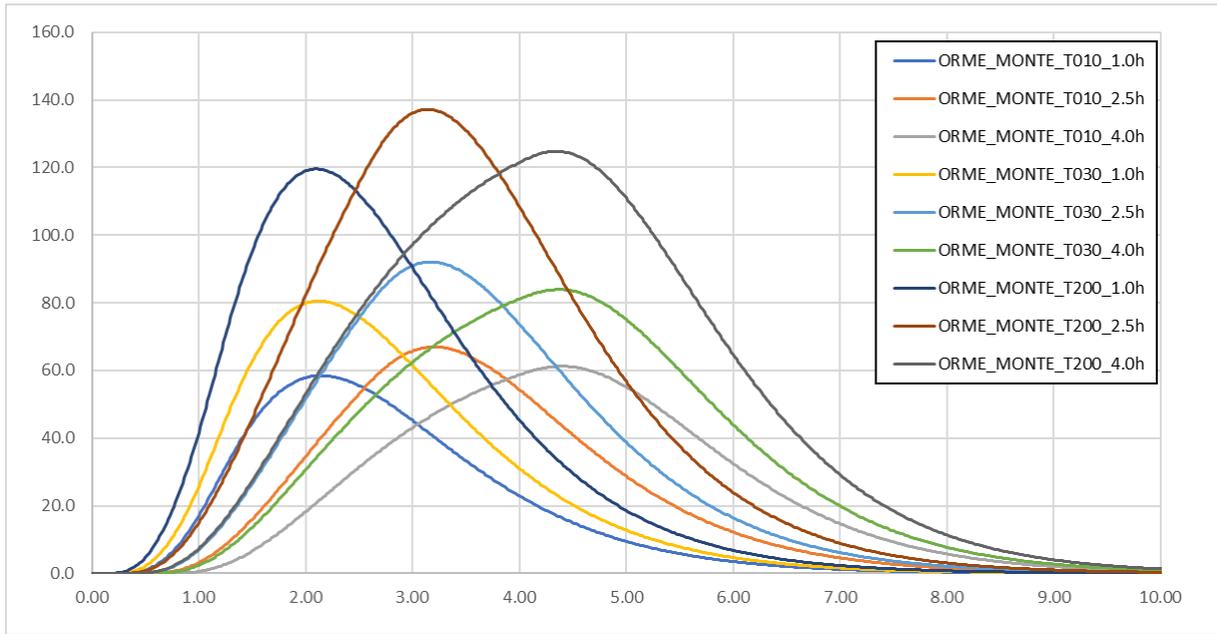


Figura 13 idrogrammi relativi al bacino Orme monte

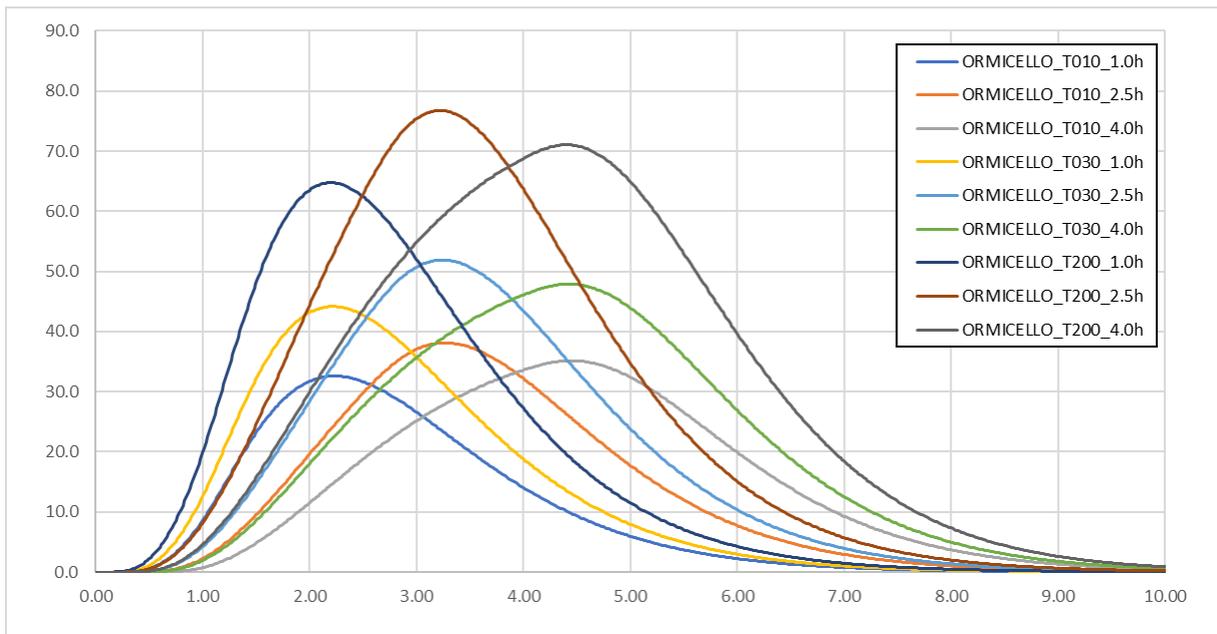


Figura 14 idrogrammi relativi al bacino Ormicello

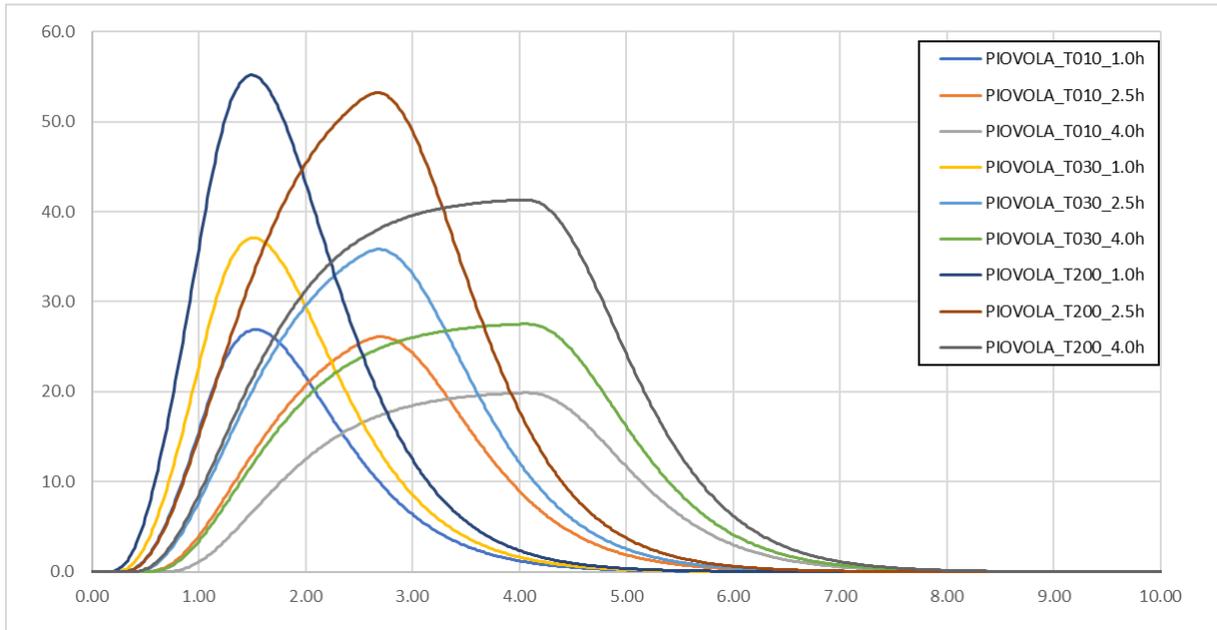


Figura 15 idrogrammi relativi al bacino Piovola

5. Approccio progettuale

Come già descritto nella *Relazione generale*, gli obiettivi generali degli studi da cui deriva il progetto sono il contenimento delle piene e l'invarianza idraulica dei torrenti Orme, Ormicello e Piovola nel Comune di Empoli, da raggiungere progressivamente mediante 4 stralci funzionali, ulteriormente suddivisi in vari lotti. Per ulteriori dettagli si rimanda alla *Relazione generale* e ai documenti citati nella premessa della stessa.

Il presente Lotto A, che appartiene al primo stralcio funzionale, prevede i seguenti obiettivi:

- la riduzione del pericolo idraulico per esondazione del Torrente Orme mediante la realizzazione della prima cassa di espansione di monte, denominata "Orme 4";
- il superamento delle criticità dell'attuale tracciato stradale di Via delle Coltelle legate all'attraversamento del torrente mediante la realizzazione di un ponte ed un nuovo tracciato.

L'obiettivo generale di contenimento delle piene ed invarianza idraulica a monte di Ponte d'Orme posto dallo *Studio idrologico idraulico di supporto al nuovo Regolamento Urbanistico del Comune di Empoli (2013)* sarà poi raggiunto con i successivi lotti e stralci funzionali.

La cassa di espansione in linea Orme 4 sarà costituita da uno sbarramento trasversale, formato da un rilevato con funzione di argine-strada nel quale sarà inglobata, in corrispondenza dell'alveo del Torrente Orme, una briglia-ponte, speciale manufatto comprendente una luce di sfioro a stramazzo ed una bocca tarata (si vedano anche gli elaborati grafici); le aree d'invaso, poste a monte della briglia, saranno costituite dalle piane naturali di fondovalle opportunamente approfondite.

I principali dati di progetto sono così definiti:

- le portate di progetto, per le quali il sistema deve ottimizzare la laminazione, individuate negli eventi con tempo di ritorno pari a 30 anni;
- il franco idraulico di sicurezza in corrispondenza del ponte, da assumersi non inferiore a 1.50 m ai sensi delle NTC 2018;
- la quota di massimo invaso raggiungibile all'interno della cassa in corrispondenza di un evento estremo.

La progettazione delle opere procede inizialmente attraverso la definizione della geometria della cassa, sulla base del progetto di fattibilità tecnica ed economica citato in premessa e sottoposto a verifica di assoggettabilità, nel rispetto delle variabili di progetto descritte. In particolare, il ruolo del manufatto briglia-ponte è quello di alleggerire la portata in transito nel tratto da Martignana verso valle, catturando i volumi nella cassa e restituendoli laminati in alveo, e al contempo fungere da ponte stradale di 1^a categoria, consentendo

l'attraversamento del Torrente Orme. Il livello di massimo invaso è stato fissato in 60.0 m slm, quota tale da mantenere un franco di sicurezza rispetto alle abitazioni presenti e alla S.P. 51 di Val d'Orme, senza richiedere arginature di grandezza incompatibile con le forme del paesaggio circostante.

Le verifiche idrauliche eseguite sono state condotte sulla base dell'impostazione delle grandezze idrauliche assunte per l'analisi dello stato attuale, differenziandosi per l'introduzione delle opere, descritte nei paragrafi seguenti.

6. Modellazione idraulica

6.1. Metodologia

Il modello idraulico a fondo fisso in moto vario è stato implementato con l'ausilio del software **HEC-RAS 5.0.7**, e prevede due tratti distinti:

- **Tratto Cassa Orme 4**, asta del Torrente Orme dalla sezione 54 alla sezione 43;
- **Tratto di valle**, asta del Torrente Orme dalla sezione 43 alla sezione 1 (confluenza in Arno) e asta del Torrente Piovola dalla sezione 21 alla sezione 1 (confluenza in Orme).

La schematizzazione appena descritta è rappresentata graficamente nell'elaborato *Planimetria del modello idrologico-idraulico*, alla quale si rimanda.

In generale, nelle aree golenali prive di arginature di sponda (da Martignana fino a Casenuove, alveo inciso) il flusso in esondazione attraverso le golene e le pianure alluvionali è stato schematizzato attraverso l'estensione laterale della geometria delle sezioni d'alveo sulla base della morfologia della valle come derivabile dai dati a disposizione.

Dove lo scambio di fluido tra l'alveo e le adiacenti piane è atteso in direzione normale all'asse dello stesso (da Casenuove verso valle, alveo pensile), i deflussi laterali dovuti alla tracimazione per sormonto delle strutture arginali sono stati schematizzati attraverso l'adozione di stramazzi laterali (*lateral structure*), continue lungo le linee di sponda e connesse idraulicamente ad aree di potenziale esondazione, di seguito APE (*2D storage area*).

Il modello prevede tre APE:

- **Area_SX**, la piana in sinistra idraulica del Torrente Orme;
- **Area_DX1**, la piana compresa fra l'argine destro del T. Orme e l'argine sinistro del T. Piovola;
- **Area_DX2**, la piana in destra idraulica del T. Piovola.

La cassa di espansione in linea è stata schematizzata mediante una struttura *bridge*, corrispondenti allo sbarramento trasversale al corso d'acqua (briglia a bocca tarata), utilizzando il metodo dell'energia per portate basse e il metodo pressione/stramazzo per

portate alte, con la cassa a monte della briglia derivata dalle sezioni del modello idraulico opportunamente modificate per tenere conto dell'escavazione del piano campagna.

Per le porzioni di sezione non attive ai fini del flusso ma comunque occupate dalle acque (ad es. in corrispondenza delle spalle e delle pile dei ponti), si è fatto ricorso all'utilizzo dell'opzione *Ineffective Flow Areas*. Per il calcolo in presenza dei ponti le verifiche sono state condotte assumendo che la luce non venga ostruita da materiale flottante.

6.2. Parametri in ingresso

6.2.1. Impostazioni di calcolo

Parametro	Unità di misura	Tratto Cassa Orme 4	Tratto di valle
Regime della corrente	-	Misto lento/veloce	Misto lento/veloce
Passo temporale di simulazione	s	60	2
Passo spaziale di simulazione 1D	m	Var. (≈ 25)	≈ 25
Theta	-	1	1
Tolleranza nel calcolo dei livelli in alveo e in cassa	m	0.006	0.006
Tolleranza nel calcolo dei livelli nelle aree 2D	m	<i>(non presenti)</i>	0.003
Set di equazioni per le aree 2D	-	<i>(non presenti)</i>	<i>Diffusion wave</i>
Dimensione media delle celle delle aree 2D	m ²	<i>(non presenti)</i>	100

6.2.2. Geometria e scabrezza

La geometria dell'alveo del T. Orme è stata ricostruita sulla base di dati differenti:

- **Tratto Cassa Orme 4**, sulla base del rilievo finalizzato alla ricostruzione plano-altimetrica del sito di intervento, delle aree circostanti e delle principali infrastrutture interferenti con gli interventi, svolto dal Geom. Massimiliano Lanini del Consorzio di Bonifica (2019);
- **Tratto di valle**, sulla base del modello idraulico dello *Studio idrologico idraulico di supporto al nuovo Regolamento Urbanistico del Comune di Empoli (2013)* per le aste e le strutture, e del DTM con risoluzione 1x1 m da rilievo LiDAR (2008) per le aree 2D.

Le sezioni delle aste sono state poi interpolate per ottenere un passo spaziale costante lungo l'asse del torrente, come specificato nella tabella del precedente paragrafo.

Di seguito si riporta l'elenco delle strutture trasversali inserite nel modello idraulico 1D.

Tratto	Asta	Sezione	Struttura	Tipologia	Geometria
Tratto Cassa Orme 4	Orme	49.9	Briglia a bocca tarata	Bridge	PROGETTO
	Orme	49.7	Guado di Via delle Coltelline (tubazioni ostruite)	<i>Inline str.</i>	ATTUALE
Tratto di valle	Orme	36.5	Ponte di Via di Val d'Orme vecchia	<i>Bridge</i>	ATTUALE E PROGETTO
	Orme	34.5	Ponte della S.P. 51 di Val d'Orme	<i>Bridge</i>	ATTUALE E PROGETTO
	Orme	30.5	Ponte di Via Sottopoggio per San Donato	<i>Bridge</i>	ATTUALE E PROGETTO
	Orme	24.5	Ponte della FI-PI-LI	<i>Bridge</i>	ATTUALE E PROGETTO
	Orme	22.5	Ponte di Via Ponzano per San Donato	<i>Bridge</i>	ATTUALE E PROGETTO
	Orme	17.5	Ponte della Ferrovia Firenze-Pisa	<i>Bridge</i>	ATTUALE E PROGETTO
	Orme	15.5	Ponte di Via Cherubini	<i>Bridge</i>	ATTUALE E PROGETTO
	Orme	12.5	Ponte di Via Carrucci	<i>Bridge</i>	ATTUALE E PROGETTO
	Orme	9.5	Ponte di Via Berni	<i>Bridge</i>	ATTUALE E PROGETTO
	Orme	5.5	Ponte di Via Bisarnella	<i>Bridge</i>	ATTUALE E PROGETTO
	Orme	2.5	Ponte della ciclopista dell'Arno	<i>Bridge</i>	ATTUALE E PROGETTO
	Orme	1.4	Soglia	<i>Inline str.</i>	ATTUALE E PROGETTO
	Piovola	17.5	Attraversamento	<i>Bridge</i>	ATTUALE E PROGETTO
	Piovola	15.5	Ponte della FI-PI-LI	<i>Bridge</i>	ATTUALE E PROGETTO
	Piovola	13.5	Attraversamento	<i>Bridge</i>	ATTUALE E PROGETTO
	Piovola	10.5	Attraversamento	<i>Bridge</i>	ATTUALE E PROGETTO
	Piovola	8.5	Ponte della Ferrovia Firenze-Pisa	<i>Bridge</i>	ATTUALE E PROGETTO
Piovola	6.5	Tratto tombato di Via Cherubini	<i>Bridge</i>	ATTUALE E PROGETTO	

Tratto	Asta	Sezione	Struttura	Tipologia	Geometria
	Piovola	3.5	Passerella	Bridge	ATTUALE E PROGETTO
	Piovola	2.5	Passerella	Bridge	ATTUALE E PROGETTO
	Piovola	1.5	Porta vinciana	Bridge	ATTUALE E PROGETTO

All'interno delle aree 2D sono presenti 30 strutture di connessione interna che schematizzano i sotto-attraversamenti stradali e idraulici delle due principali infrastrutture presenti nella zona, e cioè la SGC FI-PI-LI e la ferrovia Firenze-Pisa; le sezioni di tali strutture sono frutto di rilievi eseguiti sul posto, mentre le quote di imbocco e sbocco sono state desunte dal DTM con risoluzione 1x1 m da rilievo LiDAR.

I valori di scabrezza dell'alveo e delle golene sono stati imposti coerentemente con lo *Studio (2013)* pari a **0.040 s/m^{1/3}** sull'asta del Torrente Orme nel tratto a monte di Casenuove (sezioni 54-40.5, a bassa intensità di manutenzione) e pari a **0.030 s/m^{1/3}** nell'intero tratto seguente (ad alta intensità di manutenzione). Analogamente, i valori sono stati imposti pari a **0.035 s/m^{1/3}** sull'asta del Torrente Piovola nel tratto a monte della ferrovia (sezioni 21-8) e pari a **0.031 s/m^{1/3}** nel tratto seguente.

Nelle aree 2D del tratto di valle i valori di scabrezza delle APE sono stati assegnati sulla base dei codici Corine Land Cover, secondo la tabella di corrispondenza di Pestana (2013), già utilizzata per *Studio di supporto alla Variante al Regolamento Urbanistico (luglio 2019)* e riportata di seguito. La mappa delle scabrezze è rappresentata graficamente nell'elaborato *Planimetria del modello idrologico-idraulico*, alla quale si rimanda.

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

6.2.3. Condizioni al contorno e forzanti idrologiche

Come condizioni al contorno sono stati imposti gli idrogrammi derivanti dalla modellazione idrologica per tempi di ritorno pari a 30 e 200 anni con durate dell'evento pari a 1.0, 2.5 e 4.0 ore, che risultano critiche nei vari tratti delle aste dei torrenti Orme e Piovola. Durate più lunghe (>18 ore), critiche per il rigurgito del Fiume Arno, non sono state analizzate in quanto l'area di intervento è situata vari km più a monte.

Nel dettaglio i contributi idrologici sono stati distribuiti come da seguente tabella:

Bacino	Asta e sezione di ingresso nel modello idraulico
ORME_MONTE	Orme 54
INTERBACINO	Orme 52-42
ORMICELLO	Orme 40
CAMERATA	Orme 33
PIOVOLA	Piovola 21.2

Per la condizione al contorno di valle è stato assunto il livello di moto uniforme dell'Arno, pari a 23.0 m slm, sempre coerentemente con lo *Studio (2013)*.

6.3. Modellazione delle opere in progetto

Per la descrizione completa degli interventi in progetto, si rimanda all'elaborato *Relazione generale*. Gli elementi dimensionali di maggiore rilievo dal punto di vista idraulico sono riportati nella seguente tabella. Durante la fase di progettazione esecutiva potranno essere condotti ulteriori approfondimenti sul funzionamento idraulico delle opere, per una ottimizzazione ulteriore della taratura della luce di fondo.

Principali caratteristiche dimensionali		
<i>Dimensioni luce di fondo (bocca tarata) $b \cdot h = A$</i>	5.50 * 4.00	<i>mq</i>
<i>Sviluppo soglia di troppo pieno (gàveta)</i>	50	<i>m</i>
<i>Quota della soglia di troppo pieno</i>	59.0	<i>m s.l.m.</i>
<i>Quota del coronamento / piano stradale</i>	≥ 61.0	<i>m s.l.m.</i>
<i>Luce del ponte</i>	14.4	<i>m</i>
<i>Quota dell'intradosso</i>	59.5	<i>m s.l.m.</i>
<i>Distanza dell'intradosso dal fondo alveo</i>	5.8	<i>m</i>

Idraulica dell'opera		
<i>Portata di inizio rigurgito</i>	~ 30	<i>mc/s</i>
<i>Tempo minimo di svuotamento</i>	1.0	<i>ore</i>
<i>Quota minima del piano di campagna</i>	~ 55.5	<i>m s.l.m.</i>
<i>Superficie complessiva aree di laminazione interne</i>	6.65	<i>ha</i>
<i>Volume allo sfioro (59.0 m s.l.m. - Tr30 anni)</i>	122'000	<i>mc</i>
<i>Quota del battente in cassa Tr200 anni</i>	59.7	<i>m s.l.m.</i>
<i>Volume di laminazione Tr200 anni</i>	166'000	<i>mc</i>
<i>Quota del battente al ponte Tr200 anni</i>	56.3	<i>m s.l.m.</i>
<i>Franco idraulico di sicurezza minimo</i>	3.2	<i>m</i>

6.4. Risultati

6.4.1. Stato attuale

L'analisi delle simulazioni idrauliche mostra già per eventi di riferimento con tempo di ritorno 30 anni il verificarsi di allagamenti per esondazione del Torrente Orme presso la località Casenuove e di sormonti delle arginature nel tratto canalizzato fra Casenuove e la ferrovia, con esondazioni che interessano la località Pozzale e Moriana (in prossimità della frazione di Ponzano).

Per una analisi dettagliata si rimanda alle mappe dell'*Inviluppo dei massimi battenti* e ai *Tabulati di calcolo* allegati alla presente relazione, da leggere insieme al *Libretto delle sezioni del modello idraulico*.

6.4.2. Stato di progetto - idraulica dell'opera

La cassa di espansione in progetto avrà un'efficienza di laminazione ε massima pari al 15% per l'evento corrispondente alla massima portata per il tempo di ritorno 30 anni. Come argomentato nel capitolo 5, il manufatto di regolazione sarà tarato per ottimizzare il funzionamento per tale evento, che allo stato attuale provoca criticità nel tratto di valle. La luce di fondo in futuro potrà essere facilmente riconfigurata per armonizzare il funzionamento della cassa di espansione Orme 4 con quello dei successivi lotti degli interventi di riduzione del pericolo idraulico. Il livello massimo a monte dello sbarramento sarà sempre limitato a 60.0 m slm.

Tempo di ritorno	Durata	Qmax in [mc/s]	Qmax out [mc/s]	ε [%]	H max [m slm]
T010	1.0h	58.4	55.0	5.8	57.3
	2.5h	66.9	63.2	5.5	57.7
	4.0h	61.2	59.2	3.3	57.5
T030	1.0h	80.4	70.3	12.6	58.2
	2.5h	92.1	78.2	15.1	59.0
	4.0h	83.9	72.4	13.7	58.8
T200	1.0h	119.5	111.4	6.8	59.5
	2.5h	137.1	134.0	2.2	59.7
	4.0h	124.8	123.6	1.0	59.6

L'analisi del profilo di rigurgito in corrispondenza della briglia-ponte, riportato nella figura seguente, evidenzia che la massima *quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte* sarà pari a 56.3 m slm e che pertanto il franco idraulico di sicurezza sarà abbondantemente sopra al minimo prescritto dalle NTC 2018.

Il completo rivestimento dell'alveo e delle spalle del ponte consente di escludere l'eventualità che si verifichino fenomeni di scalzamento.

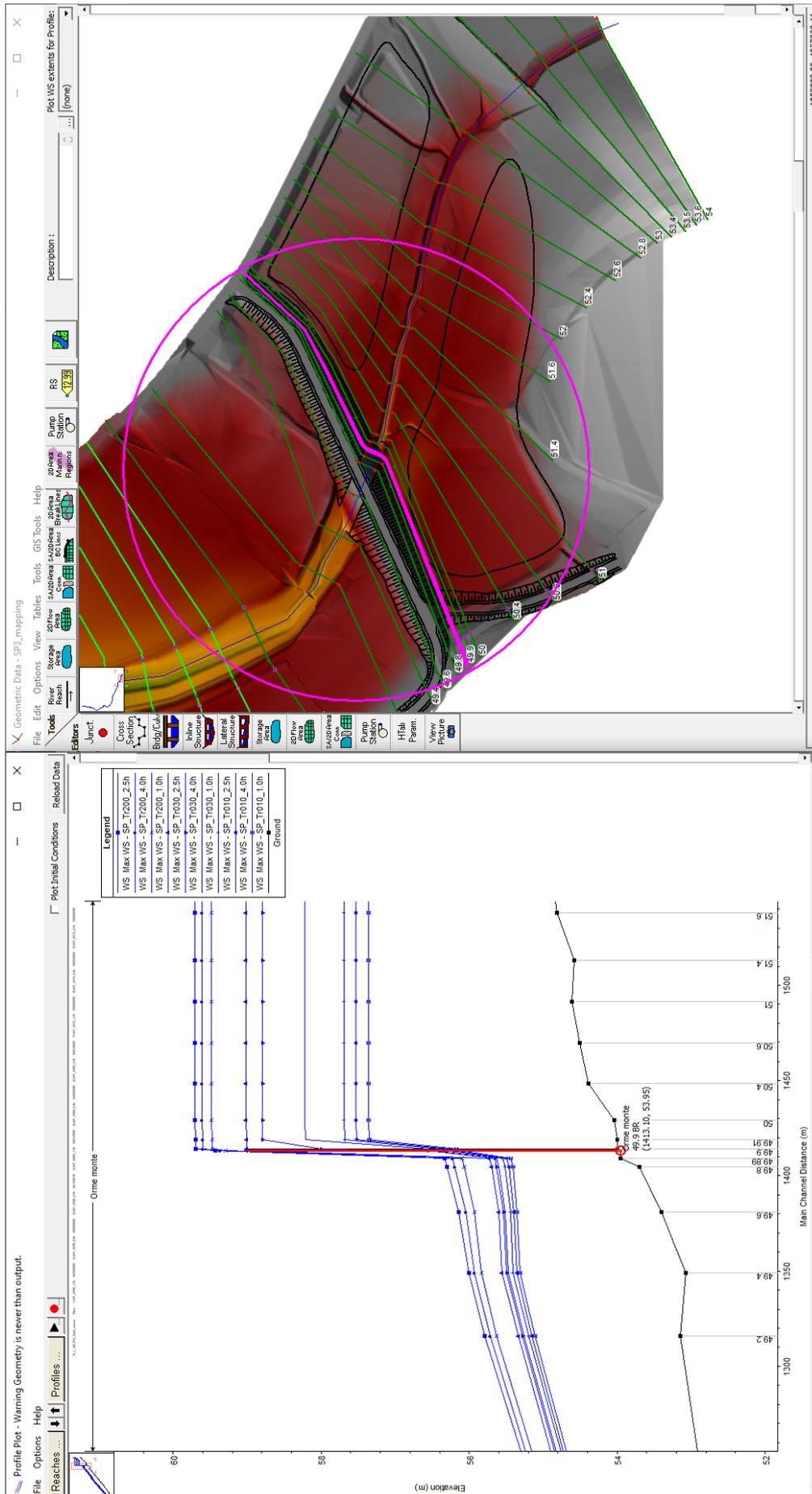


Figura 16 profili di rigurgito in corrispondenza della briglia-ponte per i vari eventi simulati

6.4.3. Stato di progetto - effetti sul tratto di valle

L'analisi delle simulazioni idrauliche mostra come, a seguito della realizzazione della cassa, nel tratto di valle i livelli in alveo per gli eventi di riferimento saranno più bassi di alcuni cm e gli allagamenti saranno di conseguenza sensibilmente ridotti. Nella tabella che segue sono riportati i volumi di esondazione in ingresso alle 3 APE allo stato attuale e di progetto.

Tempo di ritorno	Durata	Area DX1 Piana in sinistra idraulica del T. Orme			Area DX2 Piana compresa fra l'argine destro del T. Orme e l'argine sinistro del T. Piovola			Area SX Piana in destra idraulica del T. Piovola		
		V SA [1000 mc]	V SP [1000 mc]	dV [%]	V SA [1000 mc]	V SP [1000 mc]	dV [%]	V SA [1000 mc]	V SP [1000 mc]	dV [%]
T010	1.0h	85.7	79.6	-7.1%	79.0	79.3	0.4%	0.0	0.0	
	2.5h	130.7	123.8	-5.3%	107.8	109.3	1.4%	0.0	0.0	
	4.0h	131.1	125.1	-4.6%	123.4	125.0	1.3%	0.0	0.0	
T030	1.0h	186.2	162.4	-12.8%	110.1	107.3	-2.5%	11.2	0.4	-96.4%
	2.5h	345.1	271.8	-21.2%	154.4	150.1	-2.8%	35.0	15.8	-54.9%
	4.0h	345.3	291.6	-15.6%	183.0	184.3	0.7%	24.6	10.1	-58.9%
T200	1.0h	594.5	495.2	-16.7%	183.3	162.1	-11.6%	111.2	69.6	-37.4%
	2.5h	1005.0	910.8	-9.4%	415.5	374.1	-10.0%	234.5	184.2	-21.4%
	4.0h	1094.0	1011.0	-7.6%	548.1	503.5	-8.1%	223.6	185.1	-17.2%

Per una analisi dettagliata si rimanda alle mappe dell'*Inviluppo dei massimi battenti* e ai *Tabulati di calcolo* allegati alla presente relazione, da leggere insieme al *Libretto delle sezioni del modello idraulico*. **È necessario precisare quanto segue:** le mappe dei battenti a corredo del presente progetto rappresentano esclusivamente un quadro di insieme per la valutazione degli effetti a larga scala prodotti dalle opere in progetto sul territorio ubicato a valle. Si precisa pertanto che tali mappe non rappresentano proposta di modifica cartografica ai sensi della Normativa vigente (D.Lgs. 49/2010, Delibera AdB Arno 235/2016, L.R. 41/2018). La procedura per la proposta di revisione e aggiornamento delle mappe in vigore, a seguito della realizzazione delle opere in progetto, dovrà prevedere uno studio idrologico-idraulico specifico, i cui risultati in termini di battenti potranno differire da quelli a corredo del presente progetto (ad esempio per differenze nella stima delle forzanti idrologiche, nel dato geometrico alla base del modello idraulico o nelle impostazioni dello stesso).

Nelle pagine che seguono sono riportati i grafici delle portate e dei livelli in corrispondenza della cassa di espansione.

Portate, espresse in mc/s, transitanti a monte (sez. 54) e a valle (sez. 49) della Cassa Orme 4 per le diverse forzanti idrologiche. Sull'asse orizzontale il tempo in ore.

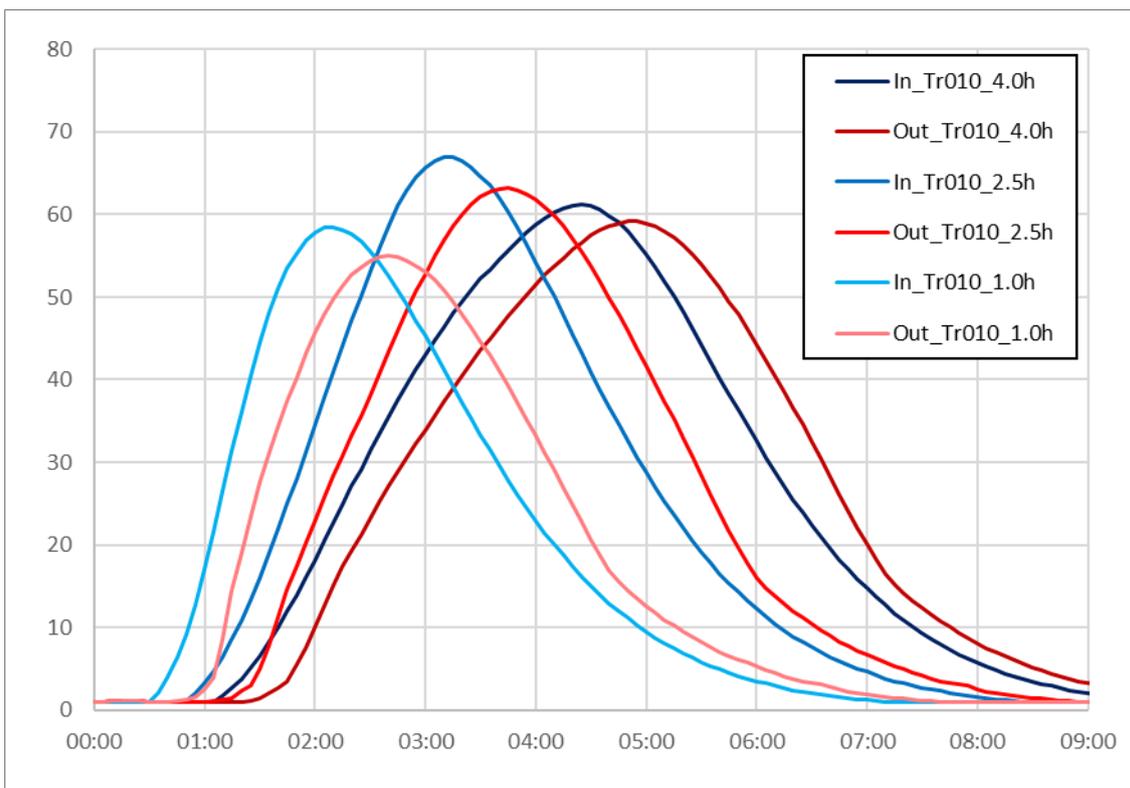


Figura 17 idrogrammi in ingresso e uscita dalla Cassa Orme 4 per eventi con tempo di ritorno 10 anni

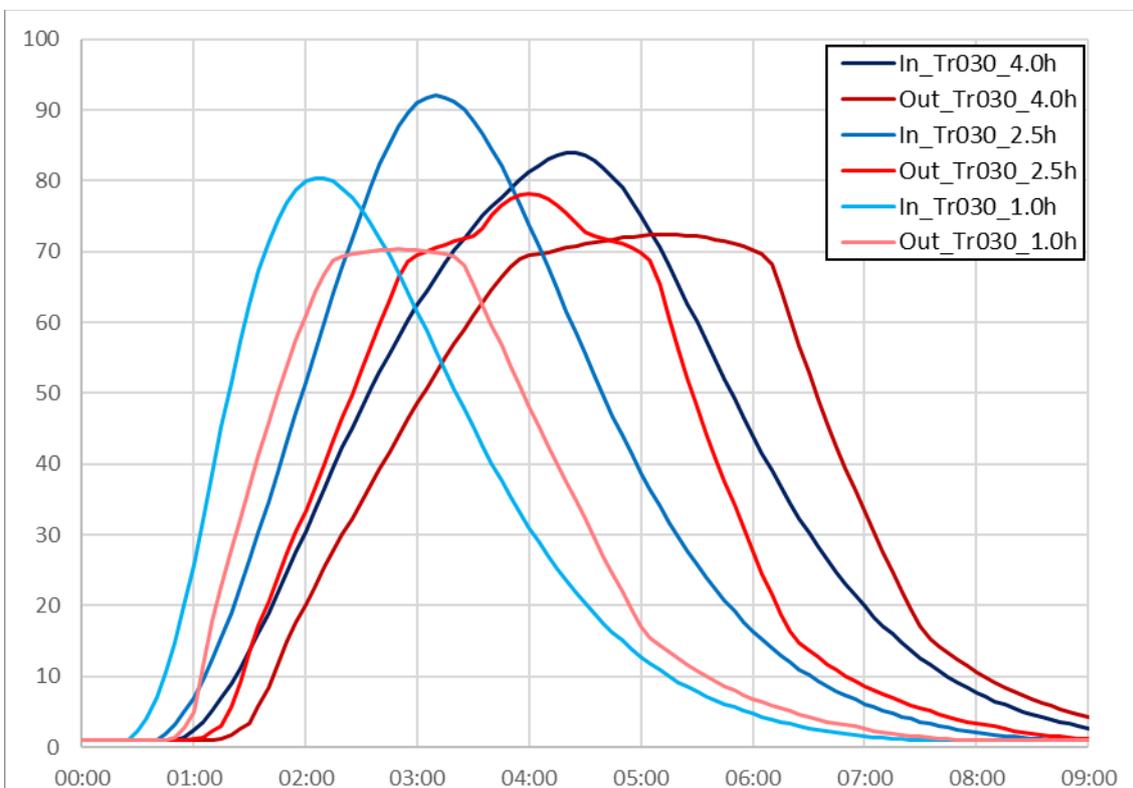


Figura 18 idrogrammi in ingresso e uscita dalla Cassa Orme 4 per eventi con tempo di ritorno 30 anni

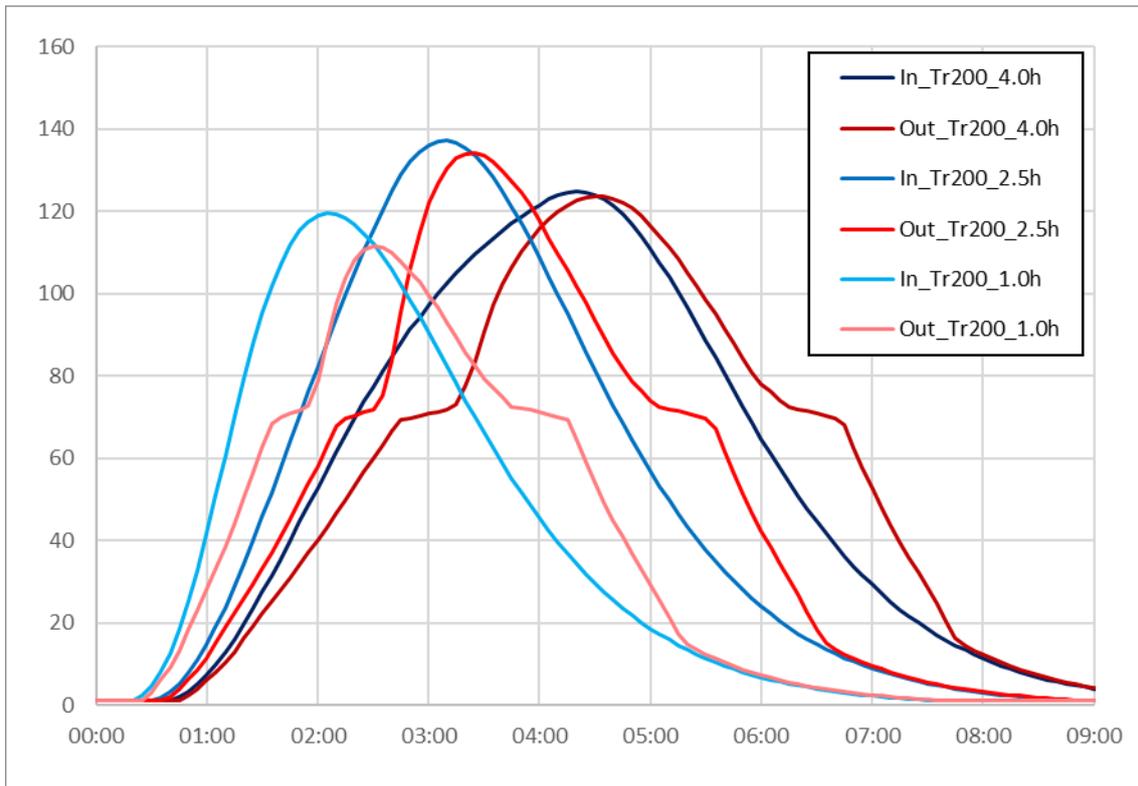


Figura 19 idrogrammi in ingresso e uscita dalla Cassa Orme 4 per eventi con tempo di ritorno 200 anni

Livelli, espressi in m s.l.m., all'interno della cassa di espansione per le diverse forzanti idrologiche. Sull'asse orizzontale il tempo in ore.

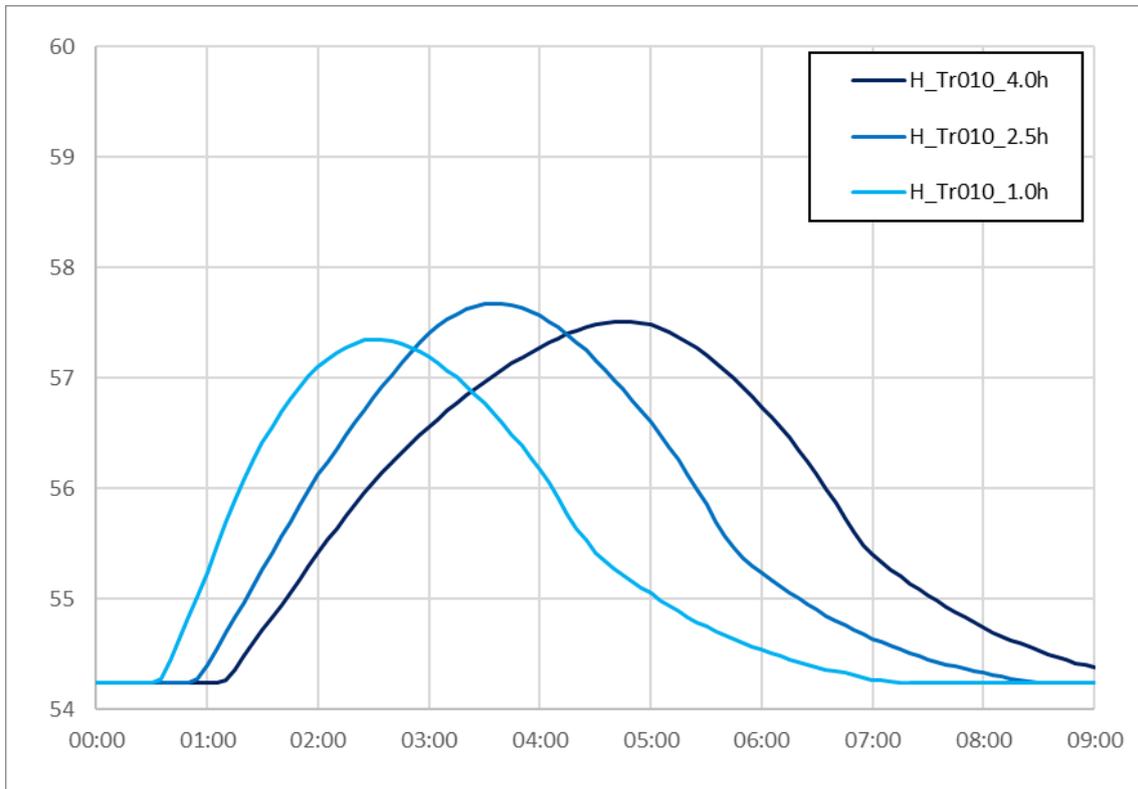


Figura 20 idrogrammi del livello in Cassa Orme 4 per eventi con tempo di ritorno 10 anni

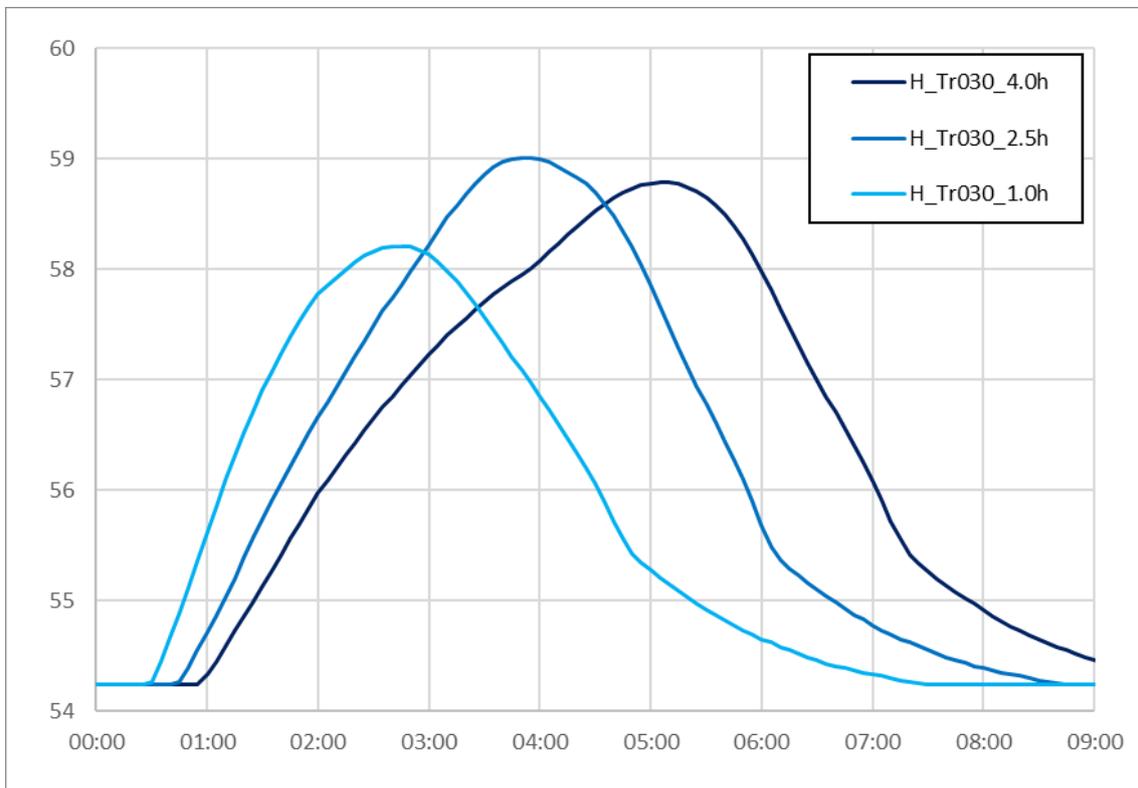


Figura 21 idrogrammi del livello in Cassa Orme 4 per eventi con tempo di ritorno 30 anni

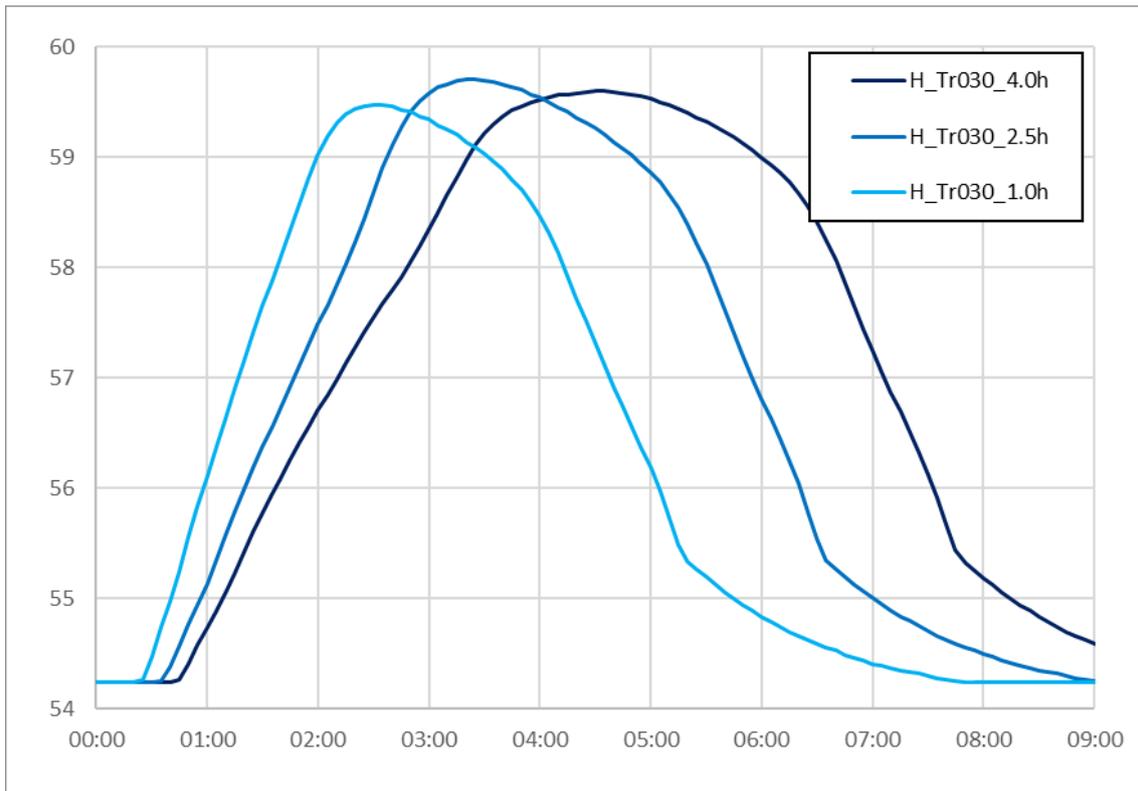


Figura 22 idrogrammi del livello in Cassa Orme 4 per eventi con tempo di ritorno 200 anni

7. Calcolo dell'indennità di allagamento

Il progetto prevede l'espropriazione delle superfici ove ricadranno le opere, ivi incluse le golene oggetto di escavazione, e l'asservimento per periodico allagamento delle superfici che non saranno oggetto di intervento ma che verranno inondate dal rigurgito prodotto dalla briglia a servizio della cassa di espansione.

Le modalità di calcolo dell'indennità di allagamento di cui all'art. 31 della L.R. 67/2003 sono state recentemente definite nell'Allegato A alla D.G.R. 3/2020. L'indennizzo deve essere proporzionale all'aumento di frequenza di allagamento. A riguardo sono stati definiti gli scenari idrologici e idraulici (allo stato attuale e di progetto), e, sulla base di questi, sono stati individuati i perimetri delle aree allagate a servizio della cassa di espansione per i tempi di ritorno di 10, 30 e 200 anni, come riportato nell'elaborato *Planimetria catastale*.

Lo scopo della presente trattazione è dunque quello di stimare il coefficiente C, così come definito dalla D.G.R. 3/2020 e variabile fra 1/3 e 2/3:

$$C = \frac{1}{3} \cdot \left(1 + \frac{F_p - F_a}{\max(F_p - F_a)} \right)$$

Nel caso in esame, trattandosi di una cassa di espansione in linea che sfrutta come bacino d'invaso le naturali morfologie del fondovalle, le varie particelle risulteranno allagabili solo parzialmente; inoltre, porzioni di una stessa particella saranno potenzialmente allagabili con tempi di ritorno diversi.

Si procede per prima cosa alla stima del valore massimo attendibile della differenza tra la frequenza di allagamento di progetto e quella attuale, $\max(F_p - F_a)$. Nel caso in esame, esso sarà pari a:

$$\max(F_p - F_a) = \frac{1}{30} - \frac{1}{200} = 0.028$$

Successivamente si computano le intersezioni fra le superfici allagate allo stato di progetto e attuale per i vari tempi di ritorno (porzioni A1, A2..., A7), assegnando ad ognuna il relativo coefficiente C1, C2..., C7, proporzionale all'aumento di frequenza di allagamento.

Porzione di superficie		Coefficiente C	
A1	porzione di superficie allagata allo SP per T010 già allagata allo SA per T010 (nessun incremento di frequenza)	C1	0.333
A2	porzione di superficie allagata allo SP per T010 già allagata allo SA per T030 (incremento di frequenza)	C2	0.667
A3	porzione di superficie allagata allo SP per T010 già allagata allo SA per T200 (incremento di frequenza)	C3	0.667
A4	porzione di superficie allagata allo SP per T030 già allagata allo SA per T010 (nessun incremento di frequenza)	C4	0.333

Porzione di superficie		Coefficiente C	
A5	porzione di superficie allagata allo SP per T030 già allagata allo SA per T030 (nessun incremento di frequenza)	C5	0.333
A6	porzione di superficie allagata allo SP per T030 già allagata allo SA per T200 (incremento di frequenza)	C6	0.667
A7	porzione di superficie allagata allo SP per T200 già allagata allo SA per T200 (nessuno incremento di frequenza)	C7	0.333

Il coefficiente C assegnato a ciascuna particella e necessario alla determinazione dell'indennità di allagamento è dunque calcolato come la media dei coefficienti C1, C2..., C7 pesata sulle superfici A1, A2..., A7.

Si riporta di seguito una tabella con lo sviluppo delle superfici allagate allo stato di progetto e attuale per i vari tempi di ritorno, e i risultati ottenuti per ciascuna particella.

Comune	Foglio	Particella	Sup. tot. P.lla	Sup. asserv.	C	Sup.all. T010 SP [mq]	Sup.all. T030 SP [mq]	Sup.all. T200 SP [mq]	Sup.all. T010 SA [mq]	Sup.all. T030 SA [mq]	Sup.all. T200 SA [mq]	A1 [mq]	A2 [mq]	A3 [mq]	A4 [mq]	A5 [mq]	A6 [mq]	A7 [mq]
Empoli	57	38	33090	1959	0.374	131	369	1959	131	131	131	131	0	0	0	0	238	1590
Empoli	57	81	9970	667	0.464	0	262	667	0	0	0	0	0	0	0	0	262	405
Empoli	57	140	2710	744	0.333	0	0	744	0	0	0	0	0	0	0	0	0	744
Empoli	57	142	220	21	0.333	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21
Empoli	57	526	4080	2616	0.333	30	30	2616	30	30	30	30	0	0	0	0	0	2586
Empoli	58	85	12230	678	0.411	0	158	678	0	0	45	0	0	0	0	0	158	520
Empoli	58	86	1370	175	0.543	0	143	175	0	33	97	0	0	0	0	33	110	32
Empoli	64	1	19160	1491	0.386	0	243	1491	0	7	24	0	0	0	0	7	236	1248
Empoli	64	2	10910	423	0.470	0	174	423	0	0	0	0	0	0	0	0	174	249
Empoli	64	3	40370	300	0.399	0	59	300	0	0	0	0	0	0	0	0	59	241

Nelle aree soggette a servitù di allagamento, secondo quanto previsto dall'Allegato A alla D.G.R. 3/2020, sono di norma consentite tutte le attività agricole e quelle ad esse collaterali e compatibili, con prevalenza delle attività colturali tradizionali e dell'agricoltura, nel rispetto delle caratteristiche dei suoli e della corretta regimazione delle acque.

Fatte salve le ordinarie partiche agricole, non sono ammessi di norma:

- Sbancamenti o rialzamenti dei terreni che pregiudichino la funzionalità dell'opera;
- Interventi di modifica della superficie permeabile dell'opera;
- Interventi che prevedano la trasformazione irreversibile del terreno vegetale;
- Interventi per la costruzione di nuovi edifici o manufatti di qualunque genere;
- Deposito o stoccaggio fisso di materiali o mezzi che potrebbero essere sollevati e trasportati durante l'evento di piena.

Tabulati di calcolo

Livelli e portate nell'alveo del T. Orme

Inviluppo dei massimi - Attuale vs Progetto - Tempo di ritorno 10 anni

Sezione	Progressiva (m)	SA_T010 inviluppo Q Total (m3/s)	SA_T010 inviluppo W.S. Elev (m)	SP_T010 inviluppo Q Total (m3/s)	SP_T010 inviluppo W.S. Elev (m)	T010 dH (m)
42	5657.64	74.26	43.79	69.73	43.76	-0.03
41	5404.65	74.25	41.90	69.73	41.86	-0.04
40.5	5179.64	74.22	40.87	69.53	40.82	-0.05
40	5096.64	74.19	40.64	69.02	40.58	-0.06
39	4856.75	106.00	39.64	99.56	39.57	-0.07
38	4661.31	109.41	38.79	102.55	38.71	-0.08
37.5	4511.52	110.11	38.23	103.03	38.15	-0.08
37	4478.28	110.11	38.22	103.02	38.13	-0.09
36	4469.88	110.11	37.95	103.02	37.89	-0.06
35	4324.5	110.10	37.46	103.00	37.40	-0.06
34	4313.8	110.10	37.24	103.00	37.18	-0.06
33	4123.16	109.74	36.57	102.90	36.49	-0.08
32	3868.88	112.35	35.67	103.88	35.58	-0.09
31	3672.58	112.33	35.09	103.86	34.99	-0.10
30	3663.83	112.32	34.87	103.86	34.77	-0.10
29	3323.83	112.25	33.67	103.83	33.57	-0.10
28	3069.33	112.13	33.20	103.74	33.09	-0.11
27	2814.83	112.05	32.67	103.69	32.55	-0.12
26	2646.73	112.01	32.31	103.65	32.19	-0.12
25	2492.87	111.99	32.03	103.63	31.90	-0.13
24	2474.81	111.98	31.99	103.63	31.86	-0.13
23.5	2429.59	111.97	31.88	103.62	31.75	-0.13
23	2384.37	111.95	31.75	103.62	31.62	-0.13
22	2376.37	111.92	31.57	103.59	31.44	-0.13
21	2208.46	111.85	31.14	103.55	31.00	-0.14
20	1985.42	111.81	30.75	103.50	30.60	-0.15
19	1780.64	111.79	30.39	103.49	30.23	-0.16
18	1595.03	111.78	29.76	103.48	29.61	-0.15
17	1581.73	111.77	29.63	103.47	29.48	-0.15
16.5	1523.56	111.76	29.44	103.47	29.26	-0.18
16	1465.39	111.76	29.36	103.47	29.16	-0.20
15	1453.11	111.75	28.98	103.46	28.87	-0.11
14	1306.6	111.73	28.37	103.44	28.24	-0.13
13.5	1286.67	111.73	28.37	103.44	28.24	-0.13
13	1156.67	111.73	28.21	103.44	28.08	-0.13
12	1139.63	111.72	28.03	103.44	27.94	-0.09
11	1021.71	111.71	27.77	103.43	27.67	-0.10

Sezione	Progressiva (m)	SA_T010 involuppo Q Total (m3/s)	SA_T010 involuppo W.S. Elev (m)	SP_T010 involuppo Q Total (m3/s)	SP_T010 involuppo W.S. Elev (m)	T010 dH (m)
10	901.41	111.71	27.50	103.43	27.40	-0.10
9	885.04	111.70	27.40	103.42	27.31	-0.09
8	645.93	111.68	26.47	103.40	26.38	-0.09
7	407.21	111.65	26.01	103.38	25.92	-0.09
6	223.97	111.65	25.61	103.38	25.53	-0.08
5	206.27	111.65	25.35	103.38	25.27	-0.08
4	123.84	111.65	24.84	103.38	24.76	-0.08
3	27.51	111.65	24.26	103.38	24.16	-0.10
2	21	111.65	23.97	103.38	23.88	-0.09
1	10	107.07	23.00	82.87	23.00	0.00

Inviluppo dei massimi - Attuale vs Progetto - Tempo di ritorno 30 anni

Sezione	Progressiva (m)	SA_T030 inviluppo Q Total (m3/s)	SA_T030 inviluppo W.S. Elev (m)	SP_T030 inviluppo Q Total (m3/s)	SP_T030 inviluppo W.S. Elev (m)	T030 dH (m)
42	5657.64	102.27	43.99	86.17	43.88	-0.11
41	5404.65	102.24	42.10	86.16	41.99	-0.11
40.5	5179.64	102.04	41.13	81.51	40.98	-0.15
40	5096.64	99.63	40.90	80.47	40.78	-0.12
39	4856.75	129.57	39.87	120.10	39.77	-0.10
38	4661.31	136.25	39.11	122.00	38.94	-0.17
37.5	4511.52	138.59	38.63	123.22	38.41	-0.22
37	4478.28	139.28	38.60	123.21	38.39	-0.21
36	4469.88	139.24	38.21	123.04	38.08	-0.13
35	4324.5	144.67	37.74	126.31	37.59	-0.15
34	4313.8	144.67	37.52	126.29	37.38	-0.14
33	4123.16	144.60	36.84	121.15	36.74	-0.10
32	3868.88	146.15	36.01	129.53	35.85	-0.16
31	3672.58	145.70	35.44	129.51	35.28	-0.16
30	3663.83	145.70	35.22	129.51	35.06	-0.16
29	3323.83	145.67	33.96	129.49	33.83	-0.13
28	3069.33	145.66	33.46	129.48	33.36	-0.10
27	2814.83	139.60	32.88	127.52	32.82	-0.06
26	2646.73	132.73	32.57	125.35	32.49	-0.08
25	2492.87	132.39	32.31	125.35	32.22	-0.09
24	2474.81	132.39	32.26	125.35	32.17	-0.09
23.5	2429.59	132.38	32.15	125.34	32.07	-0.08
23	2384.37	129.55	32.05	124.16	31.96	-0.09
22	2376.37	129.55	31.80	124.15	31.74	-0.06
21	2208.46	129.05	31.36	124.13	31.31	-0.05
20	1985.42	129.05	30.95	124.13	30.90	-0.05
19	1780.64	128.70	30.54	123.99	30.51	-0.03
18	1595.03	121.99	29.96	119.95	29.91	-0.05
17	1581.73	121.99	29.82	119.95	29.79	-0.03
16.5	1523.56	121.99	29.67	119.95	29.62	-0.05
16	1465.39	121.99	29.62	119.95	29.57	-0.05
15	1453.11	121.99	29.13	119.95	29.10	-0.03
14	1306.6	121.99	28.54	119.95	28.50	-0.04
13.5	1286.67	121.99	28.54	119.95	28.50	-0.04
13	1156.67	121.99	28.38	119.95	28.35	-0.03
12	1139.63	121.99	28.14	119.95	28.12	-0.02
11	1021.71	121.98	27.88	119.95	27.86	-0.02
10	901.41	121.98	27.61	119.95	27.59	-0.02
9	885.04	121.98	27.51	119.94	27.49	-0.02
8	645.93	121.98	26.58	119.94	26.56	-0.02

Sezione	Progressiva (m)	SA_T030 involuppo Q Total (m3/s)	SA_T030 involuppo W.S. Elev (m)	SP_T030 involuppo Q Total (m3/s)	SP_T030 involuppo W.S. Elev (m)	T030 dH (m)
7	407.21	121.98	26.13	119.94	26.11	-0.02
6	223.97	121.98	25.72	119.94	25.70	-0.02
5	206.27	121.98	25.44	119.94	25.42	-0.02
4	123.84	121.98	24.95	119.94	24.93	-0.02
3	27.51	121.98	24.39	119.94	24.36	-0.03
2	21	121.98	24.08	119.94	24.06	-0.02
1	10	110.91	23.00	110.83	23.00	0.00

Inviluppo dei massimi - Attuale vs Progetto - Tempo di ritorno 200 anni

Sezione	Progressiva (m)	SA_T200 inviluppo Q Total (m3/s)	SA_T200 inviluppo W.S. Elev (m)	SP_T200 inviluppo Q Total (m3/s)	SP_T200 inviluppo W.S. Elev (m)	T200 dH (m)
42	5657.64	148.51	44.23	144.38	44.21	-0.02
41	5404.65	150.17	42.37	145.90	42.35	-0.02
40.5	5179.64	151.41	41.43	146.88	41.40	-0.03
40	5096.64	138.18	41.23	134.96	41.20	-0.03
39	4856.75	156.89	40.19	153.20	40.15	-0.04
38	4661.31	179.92	39.52	174.48	39.48	-0.04
37.5	4511.52	180.09	39.16	176.10	39.11	-0.05
37	4478.28	178.42	39.15	174.96	39.10	-0.05
36	4469.88	178.37	38.49	174.83	38.46	-0.03
35	4324.5	187.95	38.05	183.11	38.02	-0.03
34	4313.8	187.92	37.81	183.11	37.78	-0.03
33	4123.16	181.48	37.18	182.45	37.11	-0.07
32	3868.88	190.18	36.30	184.06	36.27	-0.03
31	3672.58	176.53	35.71	172.74	35.68	-0.03
30	3663.83	176.53	35.50	172.74	35.47	-0.03
29	3323.83	176.39	34.17	172.68	34.14	-0.03
28	3069.33	175.74	33.59	172.40	33.58	-0.01
27	2814.83	158.10	32.96	156.27	32.95	-0.01
26	2646.73	143.96	32.65	142.82	32.65	0.00
25	2492.87	141.51	32.40	140.65	32.39	-0.01
24	2474.81	141.51	32.34	140.65	32.33	-0.01
23.5	2429.59	141.26	32.24	140.43	32.23	-0.01
23	2384.37	135.55	32.16	135.01	32.15	-0.01
22	2376.37	135.55	31.85	135.01	31.84	-0.01
21	2208.46	133.79	31.41	133.39	31.41	0.00
20	1985.42	133.79	30.99	133.39	30.98	-0.01
19	1780.64	133.15	30.56	132.78	30.56	0.00
18	1595.03	123.63	30.00	123.53	30.00	0.00
17	1581.73	123.63	29.85	123.53	29.85	0.00
16.5	1523.56	123.63	29.71	123.53	29.70	-0.01
16	1465.39	123.63	29.66	123.53	29.66	0.00
15	1453.11	123.63	29.15	123.53	29.15	0.00
14	1306.6	123.63	28.56	123.53	28.56	0.00
13.5	1286.67	123.63	28.56	123.53	28.56	0.00
13	1156.67	123.63	28.41	123.53	28.41	0.00
12	1139.63	123.63	28.16	123.53	28.16	0.00
11	1021.71	123.63	27.89	123.53	27.89	0.00
10	901.41	123.63	27.63	123.53	27.62	-0.01
9	885.04	123.63	27.53	123.53	27.53	0.00
8	645.93	123.62	26.59	123.53	26.59	0.00

Sezione	Progressiva (m)	SA_T200 involuppo Q Total (m3/s)	SA_T200 involuppo W.S. Elev (m)	SP_T200 involuppo Q Total (m3/s)	SP_T200 involuppo W.S. Elev (m)	T200 dH (m)
7	407.21	123.62	26.14	123.53	26.14	0.00
6	223.97	123.62	25.73	123.53	25.73	0.00
5	206.27	123.62	25.46	123.53	25.46	0.00
4	123.84	123.62	24.96	123.53	24.96	0.00
3	27.51	123.62	24.40	123.53	24.40	0.00
2	21	123.62	24.10	123.53	24.10	0.00
1	10	105.53	23.00	98.97	23.00	0.00