

COMMITTENTE:
CONSORZIO DI BONIFICA TEVERENERA

RESPONSABILE UNICO DI PROGETTO - R.U.P.:
ing. Barbara Leli

LUOGO:
COMUNE DI TERNI



**Finanziato
dall'Unione europea**
NextGenerationEU



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Umbria
Giunta Regionale



PROGETTAZIONE: OPERA S.C.A.L. - Consorziata esecutrice ABACUS SRL

LAVORI: TROVATI SRL



ABACUS
INGEGNERIA E ARCHITETTURA
Via Campo di Marte, n. 8/a
06124 - Perugia (PG)
www.abacusprogetti.it - 075/5058180



Strada Pievaia, 211/C
06132 - Perugia
www.trovatisrl.it - 075 774262

PROGETTISTI

TIMBRI

Responsabile integrazione prestazioni specialistiche	ing. M. Serafini
Architettura ed urbanistica	arch./ing. C. Pimpinelli
Opere strutturali	ing. R. Pedicini - ing. Giampaolo Giacobbi
Idrologia e opere idrauliche	ing. S. Berretta
Progettazione geotecnica	ing. G. Fanelli
Paesaggio ed ambiente	ing. A. Milito
Responsabile sicurezza	ing. M. Serafini
Computi e capitoli	geom. S. Pifferi
Cantierizzazione e C.S.P.	ing. M. Serafini - ing. F. Tagliente
Building Information Modeling	ing. L. Serafini - arch. Rexhinald Petritaj



CARTELLA H0 - IDROLOGIA E IDRAULICA

RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA

H0_RRH01

COMMESSA				LIV.	CART.	TIPO	ELAB.	N.	SAVE	NOME FILE	SCALA
2	4	2	2	E	H0	R	RH	01	02	2422_E_H0_RRH01_02.doc	
REV.	DATA			REDAZIONE			VERIFICA		APPROVAZIONE	VISTO COMMITT.	DESCRIZIONE
0	Giugno 2024			S.Berretta			S.Berretta		M.Serafini		Consegna Progetto Esecutivo
1											
2											
3											

la riproduzione del presente disegno è vietata a termini di legge senza la espressa preventiva autorizzazione

MITIGAZIONE RISCHIO IDRAULICO BACINO FOSSO RIVO IN COMUNE DI TERNI, 1° STRALCIO

RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA

PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTAZIONE: OPERA SCARL - CONSORZIATA ESECUTRICE ABACUS SRL. LAVORI: TROVATI SRL

INDICE

1.	INTRODUZIONE	3
2.	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	5
3.	PIANIFICAZIONE TERRITORIALE	9
4.	STUDIO IDROLOGICO.....	11
5.	STUDIO IDRAULICO.....	27
5.1.	COERENZA DELLO STUDIO IDRAULICO CON IL PAI VIGENTE.....	27
5.2.	MODELLO IDRAULICO	28
5.2.1.	SCABREZZE.....	29
5.2.2.	CONDIZIONI AL CONTORNO	30
5.3.	MODELLO IDRAULICO - SCENARIO 0	32
5.3.1.	RISULTATI MODELLAZIONE	38
5.4.	INTERVENTI IN PROGETTO	41
5.4.1.	IPOTESI GENERALI DI PROGETTO	41
5.5.	MODELLO IDRAULICO – SCENARIO 1	43
5.5.1.	RISULTATI MODELLAZIONE	47
5.5.2.	CONFRONTO PFTE – PROGETTO ESECUTIVO.....	49
5.5.3.	TEMPO DI PERMANENZA DELL’ACQUA NELLA VASCA	50
6.	CONCLUSIONI	51

1. INTRODUZIONE

La presente relazione contiene l'analisi idrologica e idraulica a corredo del Progetto Esecutivo per l'appalto integrato dei lavori relativi all'intervento denominato "Mitigazione rischio idraulico bacino Fosso Rivo in comune di Terni – 1° Stralcio".

I principali dati di base del presente progetto erano stati forniti dal Consorzio di bonifica ed in particolare sulla base dello Studio di fattibilità realizzato dallo Studio di geologia Caracciolo nel mese di giugno 2023. Successivamente, nell'ambito del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica redatto dalla Società VAMS Ingegneria s.r.l. si era proceduto a ricostruire la geometria del corso d'acqua oggetto di intervento ed eseguire le verifiche idrauliche mediante l'implementazione di un modello idraulico combinato monodimensionale – bidimensionale.

Per il PFTE di cui sopra, il Consorzio di Bonifica ha indetto una Conferenza dei servizi nella quale sono state ottenute le seguenti autorizzazioni:

- Ø - *Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Centrale – nota n. 1019 del 30/01/2024, prot. cons. n. 1153 del 08/02/2024;*
- Ø - *Regione Umbria - Servizio Rischio Idrogeologico, Idraulico e Sismico, Difesa del Suolo – D.D. n. 887 del 26/01/2024 trasmessa con nota n. 2024-0019547 del 30/01/2024, prot. cons. n. 929 del 30/01/2024;*
- Ø - *Regione Umbria – Servizio Sostenibilità ambientale, Valutazioni ed Autorizzazioni ambientali - D.D. n. 658 del 22/01/2024 di cui è stata comunicata l'adozione con nota prot. cons. n. 776 del 24/01/2024;*
- Ø - *Regione Umbria – Servizio Urbanistica, Politiche della casa e Riqualificazione Urbana, Tutela del Paesaggio – D.D. n. 914 del 26/01/2024 trasmessa con nota n. 2024-0019638 del 30/01/2024, prot. cons. n. 931 del 30/01/2024;*
- Ø - *Regione Umbria – Servizio Foreste, montagna, sistemi naturalistici e Faunistica venatoria – parere tecnico con nota n. 2024-0014066, prot. cons. n. 723 del 24/01/2024.*

Il progetto esecutivo di cui la presente relazione è parte integrante che sarà oggetto di Conferenza dei Servizi ai sensi dell'art. 14 della L. 241/90 e s.m.i., tiene conto di tutte le prescrizioni formulate nei pareri precedentemente espressi ed in particolare di quelle di natura idraulica di cui alla D.D. n. 887 del 26/01/2024 che, per i lavori di specie, risultano prevalenti rispetto alle altre.

In particolare si evidenzia che nel verbale istruttorio all. B pag. 5 della suddetta determinazione è prescritto:

- *punto 1. "in fase di realizzazione dei lavori devono essere utilizzate tutte le possibili risultanti economie per scavare maggiormente il fondo della vasca di espansione al fine di incrementare il volume di invaso migliorandone l'efficienza;"*

- *punto 2. "qualsiasi specie arborea all'interno della cassa di espansione e dei suoi rilevati arginali è del tutto incompatibile per la sicurezza dell'opera idraulica in quanto causa di intasamento dello scarico di fondo e di instabilizzazione dell'argine, pertanto dovrà essere ivi rimossa;"*

Il progetto esecutivo prevede quindi la rimozione dell'isolotto posto al centro della vasca di laminazione e delle alberature presenti all'interno della medesima e sulle sponde degli argini; a tal proposito, si rimettono altresì in allegato tutti gli elaborati che attengono l'aspetto paesaggistico ed ambientale dell'opera in argomento.

Si precisa, peraltro, che verrà richiesta, in sede di Conferenza dei Servizi, al Servizio Urbanistica, Politiche della casa e Rigenerazione urbana, Tutela del Paesaggio - Sezione Tutela beni paesaggistici di esprimersi in ordine alla variante del progetto, come precedentemente rappresentata, rispetto all'autorizzazione paesaggistica resa con D.D. n. 914 del 26/01/2024.

Oltre alla rimozione dell'isolotto e delle alberature in esso presenti, l'impresa aggiudicataria, in sede di gara ha proposto delle migliorie che hanno comportato una variazione dello studio fatto in sede di PFTE tra cui ritroviamo:

- Ø *Ottimizzazione delle pendenze del fondo vasca*
- Ø *Aumento della pendenza degli argini perimetrali alla vasca di laminazione con conseguente aumento di volume di invaso*

Quanto sopra ha portato ad un'ottimizzazione dell'opera sia in termini di volumi che di funzionalità. Nei capitoli successivi saranno illustrate le attività condotte già in fase di PFTE, integrate nel presente progetto, le quali hanno in particolar modo riguardato:

- Inquadramento delle aree di studio relative ai diversi corsi d'acqua;
- Analisi degli studi idrologici già condotti sui Fossi Rivo e Calcinare;
- Analisi dei dati topografici per la ricostruzione delle sezioni idrauliche dei corsi d'acqua;
- Esecuzione di rilievi topografici di dettaglio per verificare la coerenza con i dati topografici disponibili;
- Ricostruzione delle sezioni idrauliche dei Fossi Rivo, Calcinare e Lagarello;
- Inserimento degli attraversamenti all'interno delle geometrie dei modelli idraulici;
- Implementazione modellazioni idrauliche;
- Analisi dei risultati ottenuti e delle criticità idrauliche riscontrate a seguito delle verifiche idrauliche;
- Individuazione e dimensionamento interventi.

Si rappresenta che i contenuti dal capitolo 2 al paragrafo 5.4, sono stati desunti dal Progetto a base gara.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area oggetto di studio ricade interamente nel territorio comunale di Terni ed interessa in particolar modo il reticolo idrografico del Fosso Rivo, affluente del Fiume Nera nella zona Nord-Ovest del centro abitato del Comune di Terni.

Di seguito si riporta su ortofoto la zona di studio e il reticolo idrografico del Fosso Rivo e la confluenza con il fiume Nera in giallo

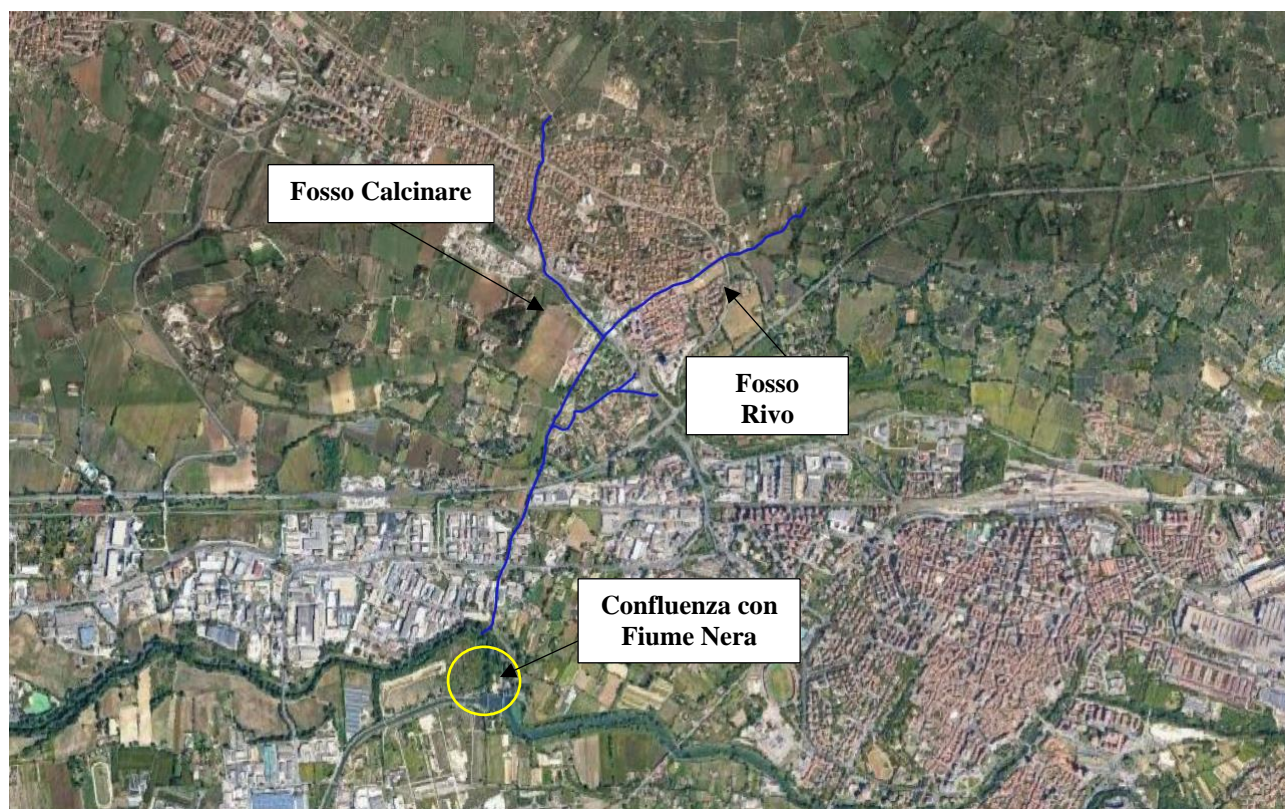


Figura 1 - Inquadramento area di studio su base ortofoto

Il Fosso Rivo drena un'area complessiva di 16.54 km² fino alla confluenza con il Fiume Nera e la sua asta principale ha una lunghezza di 7.30 km, di cui circa 4.09 km oggetto di studio. La quota minima del bacino idrografico del Fosso Rivo, posta in corrispondenza della confluenza con il Fiume Nera, si trova ad una quota di 120 m.s.l.m. mentre la quota media del bacino è pari a 395 m.s.l.m. In Figura 2 si riporta l'inquadramento cartografico su CTR del Fosso Rivo in cui si denota la delimitazione del bacino idrografico del Fosso Rivo (in nero spesso), la porzione dell'asta principale da studiare (in rosso), la porzione dell'asta principale del Fosso Rivo e dei suoi affluenti da non esaminare (in verde), parte del Fiume Nera (in blu) e delle sezioni caratteristiche (punti in rosso) in cui è stato suddiviso il bacino con relativi sottobacini di calcolo (tratto nero discontinuo). In particolare, si evidenzia come il Fosso Rivo contiene come sottobacino il Fosso Calcinare (riportato con il tratteggio verticale) con relativa asta da esaminare e altri due affluenti (Rivo 02b, Rivo02c), i cui sottobacini sono riportati con il tratteggio orizzontale e con lo sfondo grigio.

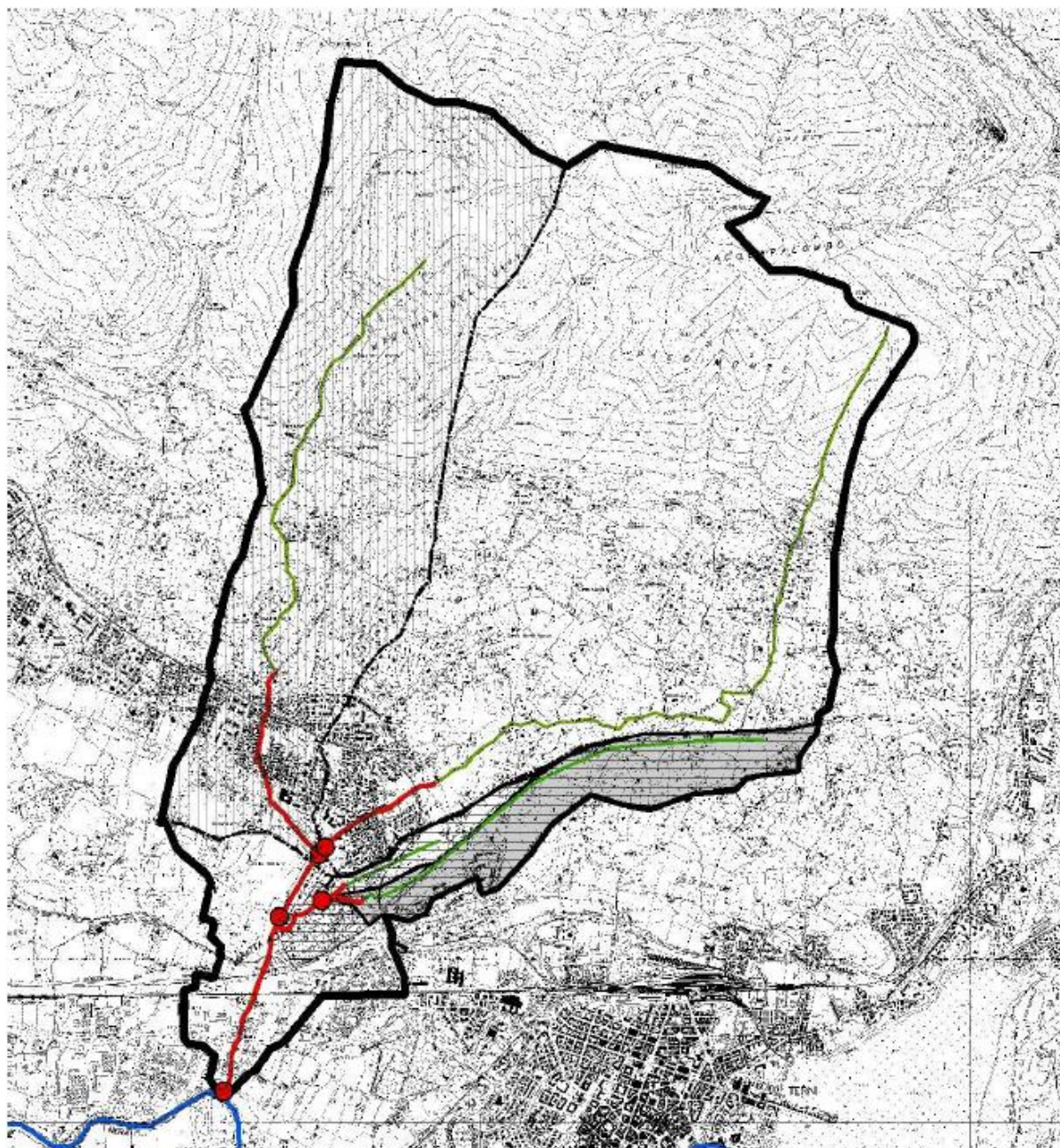


Figura 2 - Inquadramento cartografico su CTR del bacino del Fosso Rivo e i suoi sottobacini

Il fosso di Calcinare drena un'area complessiva di 5.26 km² fino alla confluenza con il Fosso Rivo ed ha una lunghezza dell'asta principale di 4.30 km di cui 1.48 km oggetto di studio. La quota minima del bacino è pari a 136 m s.l.m., la quota media a 436 m s.l.m.

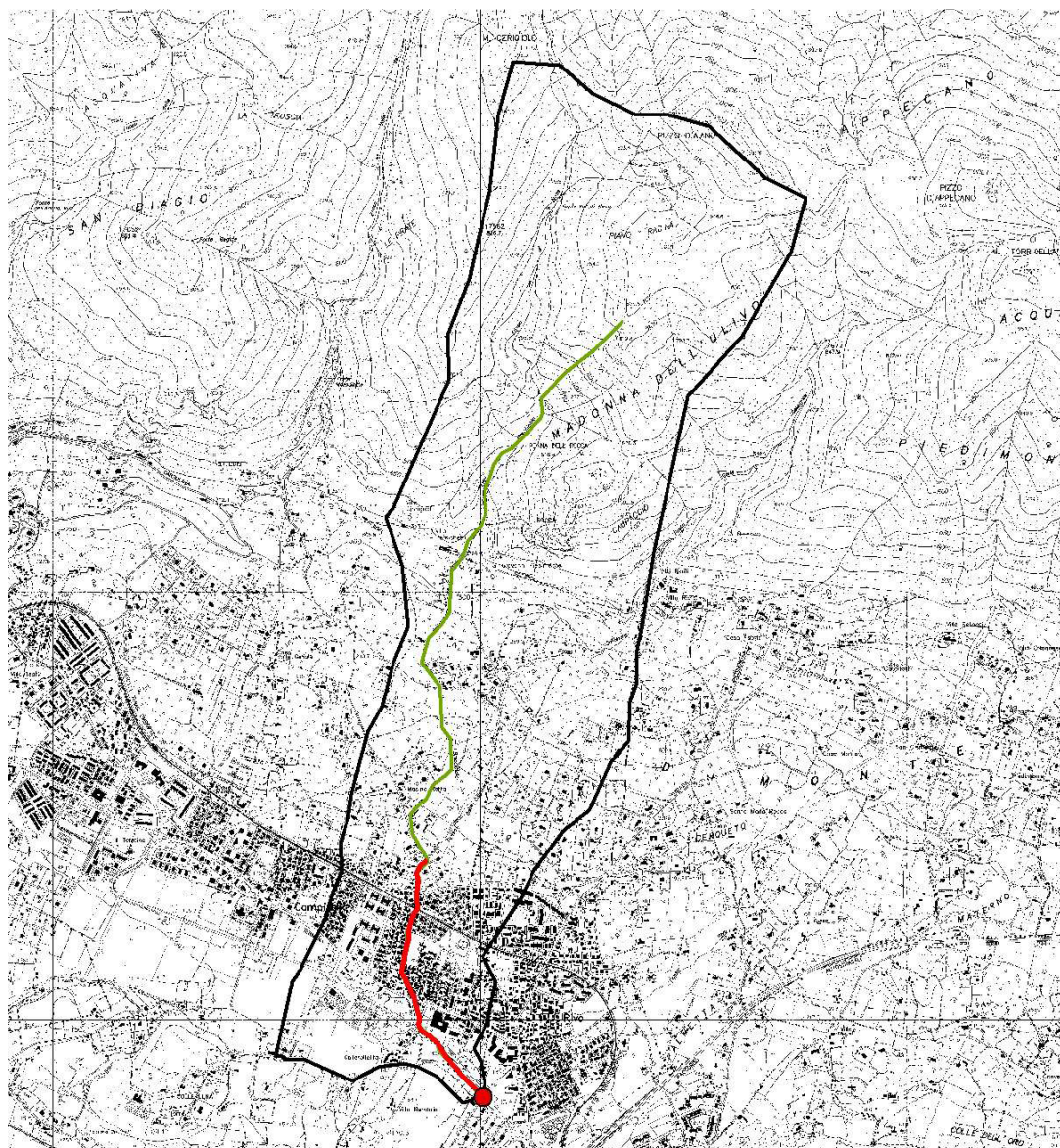


Figura 3 - Inquadramento cartografico su CTR del bacino del Fosso Calcinare

Analizzando quindi solo il tratto oggetto di studio del Fosso Rivo e Fosso Calcinare e facendo riferimento alla Figura 4, ove si riporta l'identificazione e la nomenclatura del reticolo idrografico del Fosso Rivo e dei suoi affluenti, si comprende la suddivisione dei vari tratti studiati del Fosso Rivo e dei suoi affluenti. In particolare, il Fosso Calcinare costituisce un affluente in destra idraulica del Fosso Rivo che dopo tale confluenza viene denominato Rivo Medio. Il bacino del Fosso Calcinare ha una superficie di 5.26 kmq e la sua asta principale ha una lunghezza di 4.30 km, anche se il tratto oggetto di studio ha una lunghezza di 1.48 km fino alla confluenza con il Fosso Rivo. Successivamente Rivo Valle dopo la confluenza con gli affluenti in sinistra idraulica denominati Rivo C1 e Rivo C2.

I tratti oggetto di studio, sono riportati in sintesi nella tabella di seguito riportata con le relative caratteristiche morfologiche.

ID	Tratto	Lunghezza	Quota max	Quota min	Pendenza media
n.	nome	(m)	(m.s.l.m.)	(m.s.l.m.)	%
1	Rivo	857	152	132	2.33%
2	Calcinare	1268	185	132	4.18%
3	Rivo Medio	535	132	123	1.68%
4	Rivo C2	209	134	130	1.91%
5	Rivo C1	570	133	123	1.75%
6	Rivo Valle	1093	123	107	1.46%

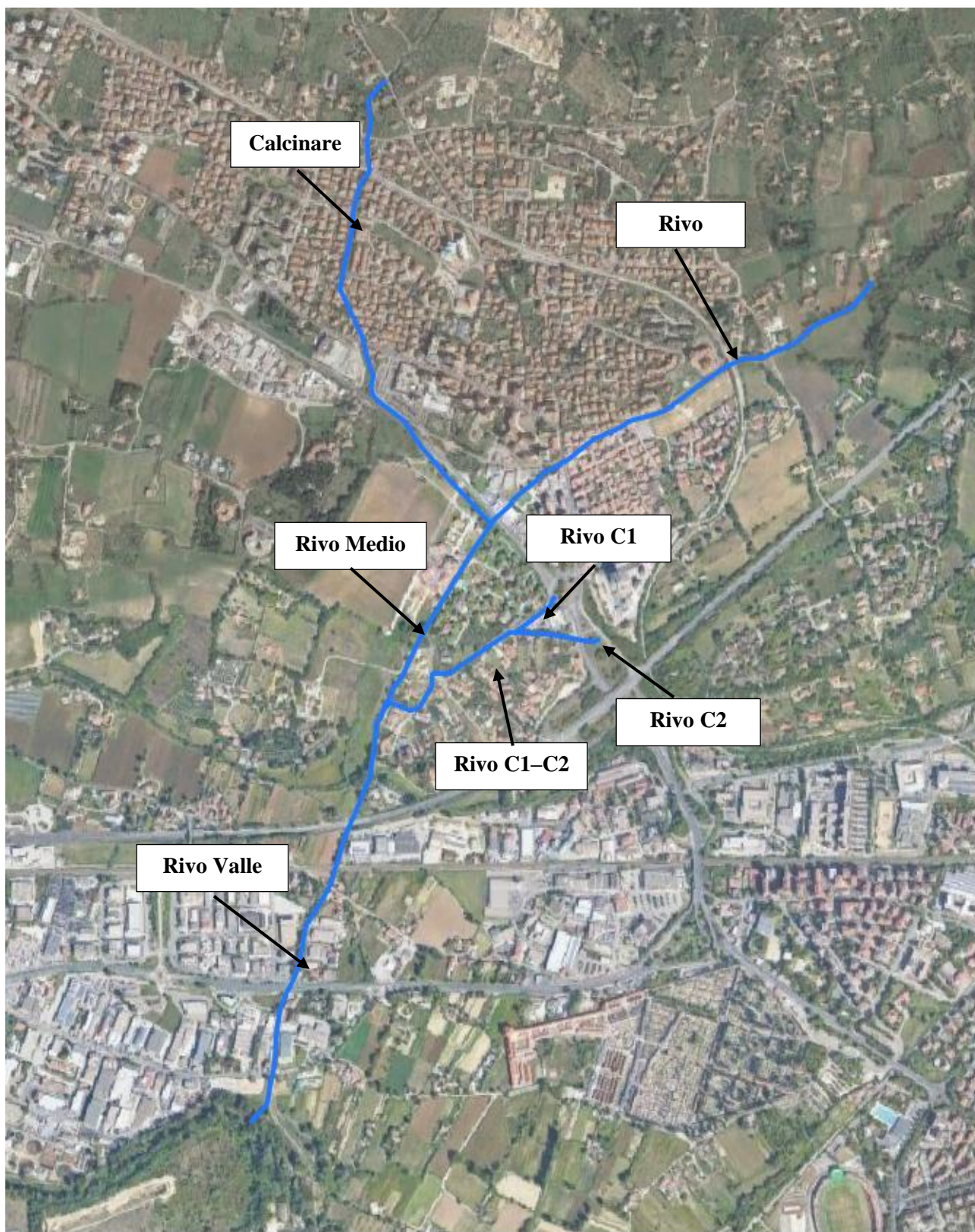


Figura 4 - Inquadramento Fosso Rivo e Calcinare oggetto di studio – Identificazione nomenclatura tratti

3. PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

L'area in esame ricade territoriale di competenza dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Centrale. Dal 17 febbraio 2017 sono soppresses le Autorità di Bacino (ex L. 183/1989) e i relativi organi, sostituite dalle nuove Autorità di Bacino Distrettuali, con i quali i piani di bacino stralcio vigenti continuano in ogni caso ad essere pienamente applicabili.

L'area oggetto di studio ricade nel Bacino idrografico del Fiume Tevere ed è soggetta alla Norme di Attuazione (NdA) contenute nel Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico del Fiume Tevere.

Il PAI si configura come lo strumento di pianificazione territoriale attraverso il quale l'Autorità di Bacino si propone di determinare un assetto territoriale che assicuri condizioni di equilibrio e compatibilità tra le dinamiche idrogeologiche e la crescente antropizzazione del territorio e di ottenere la messa in sicurezza degli insediamenti ed infrastrutture esistenti e lo sviluppo compatibile delle attività future e sviluppandosi su due principali linee di attività:

1. l'individuazione della pericolosità da frana e la perimetrazione delle situazioni di maggior rischio;
2. l'individuazione della pericolosità e del rischio idraulico con riferimento al reticolo principale, secondario e minore, attraverso la perimetrazione delle aree inondabili per diversi tempi di ritorno e la valutazione del rischio degli elementi esposti.

Il rischio idraulico, da intendersi come rischio di inondazione da parte di acque provenienti da corsi d'acqua naturali o artificiali, risulta essere anche secondo l'approccio dettato dalla normativa nazionale in materia (L.267/98) il prodotto di due fattori: la pericolosità (P) e il valore dell'elemento a rischio (E). Gli elementi a rischio derivano dalla carta di uso del suolo in cui si evidenziano gli insediamenti e le infrastrutture di maggiore incidenza urbanistico – territoriale:

- E0 – aree disabitate o improduttive;
- E1 – edifici isolati, zone agricole;
- E2 – nuclei urbani, insediamenti industriali e commerciali minori;
- E3 – centri urbani, grandi insediamenti industriali e commerciali, principali infrastrutture e servizi.

I livelli di rischio, si suddividono, a gravosità crescente, in:

- R1 – Rischio basso;
- R2 – Rischio medio;
- R3 – Rischio elevato;
- R4 – Rischio molto elevato.

La classe di rischio di una certa area si ottiene come combinazione del valore degli elementi a rischio con le classi di pericolosità secondo il seguente schema:

ELEMENTI A RISCHIO	PERICOLOSITÀ (aree inondabili)		
	P1 200<T<500 fascia C	P2 50<T<200 fascia B	P3 T<50 Fascia A
E0	R0	R1	R1
E1	R1	R2	R3
E2	R2	R3	R4
E3	R2	R4	R4

Definendo così le fasce di inondabilità (o fasce fluviali) corrispondenti a diverse portate di piena per assegnati tempi di ritorno:

- **Fascia A** – pericolosità idraulica molto elevata: aree perfluviali inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno T=50 anni;
- **Fascia B** – pericolosità idraulica media: aree perfluviali, esterne alle precedenti, inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente e periodo di ritorno T=200 anni;
- **Fascia C** – pericolosità idraulica bassa: aree perfluviali, esterne alle precedenti, inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno T = 500 anni.

L'area oggetto di intervento è individuabile all'interno delle fasce e rischio idraulico sul reticolo secondario e minore, **Tav. PB87 (Fosso Rivo) e Tav. PB96 (Calcinare)** redatta dal Piano Stralcio per l'Assetto idrogeologico del Fiume Tevere, aggiornate a maggio 2018 a seguito del D.S. n°37/2018.

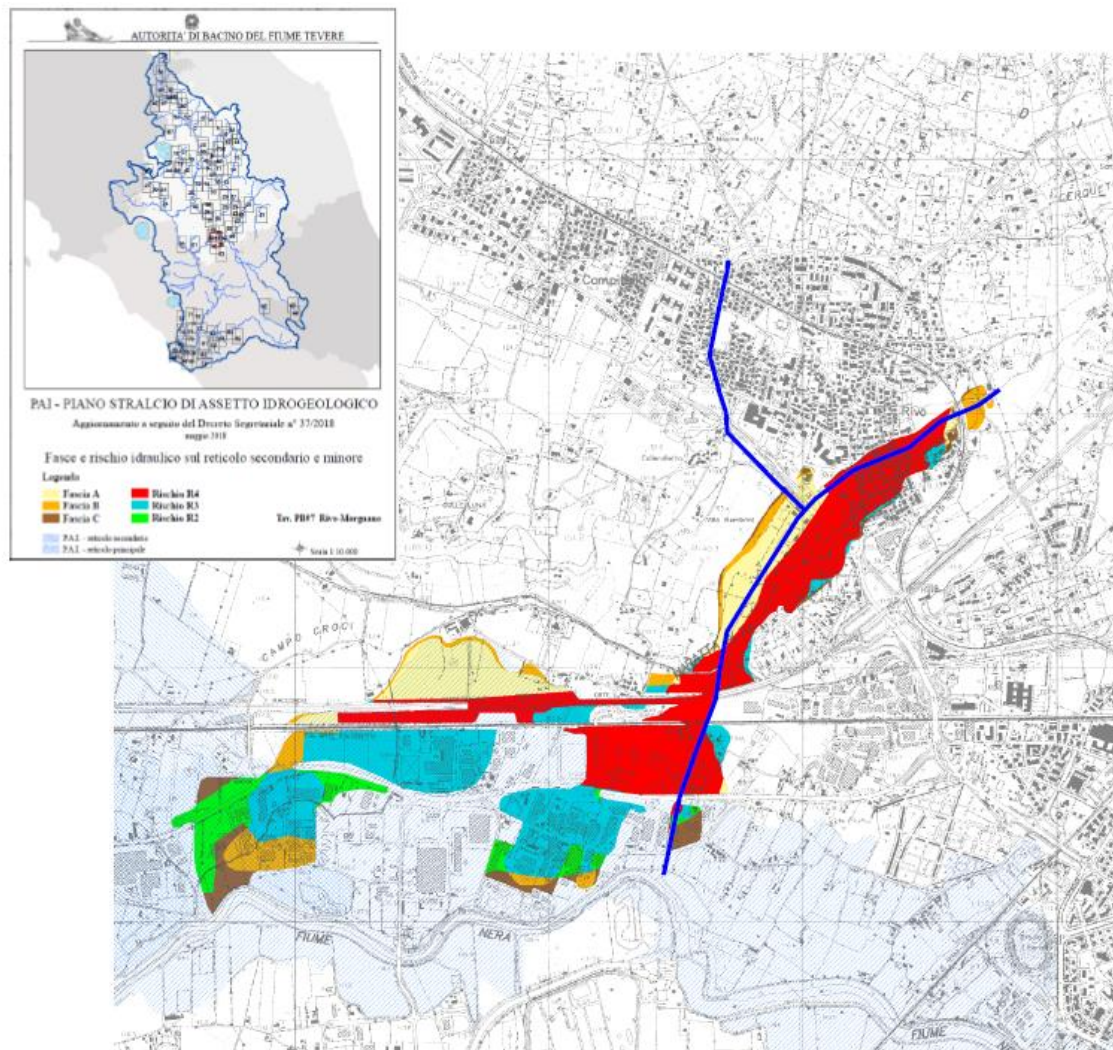


Figura 5 - Stralcio Tavola PB97 del PAI (Fosso Rivo) – Aggiornamento maggio 2018

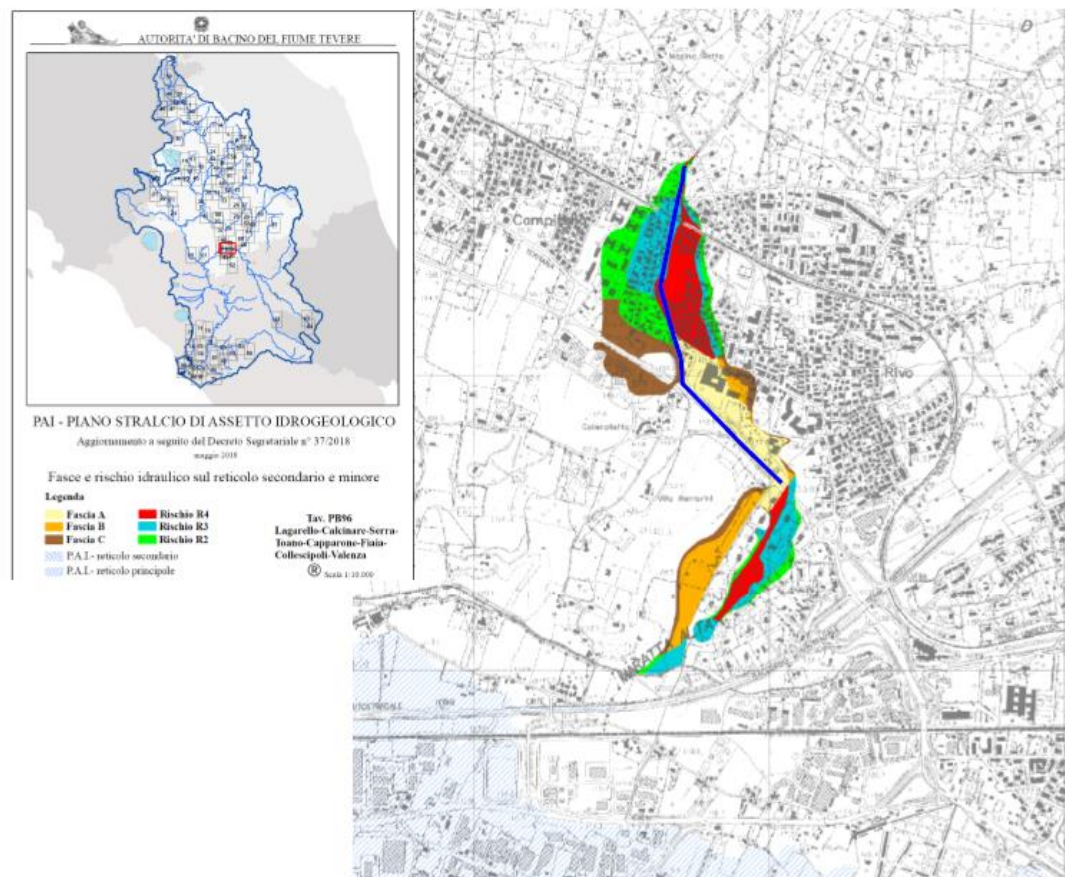


Figura 6 - Stralcio Tavola PB96 del PAI (Calcinare) – Aggiornamento maggio 2018

Dall'analisi delle carte tematiche contenute nel PAI, si riscontrano situazioni critiche dal punto di vista idraulico delle aree intorno ai corsi d'acqua di interesse. Nello specifico, l'area indicata come aree d'intervento (in rosso nella Figura 5) ricade all'interno di un'area a pericolosità idraulica media (Fascia B) e in parte in area a pericolosità idraulica elevata (Fascia A).

Secondo le Norme di attuazione del PAI, Art. 29, nella fascia B sono ammessi tutti gli interventi già consentiti nella fascia A di cui all'art.28. Il precedente articolo (Art.28) definisce che nella fascia definita A, il P.A.I. persegue l'obiettivo di garantire generali condizioni di sicurezza idraulica, assicurando il libero deflusso della piena di riferimento e il mantenimento e/o il recupero delle condizioni di equilibrio dinamico dell'alveo e favorendo l'evoluzione naturale del fiume e sono ammessi gli interventi di difesa idraulica delle aree e degli edifici esposti al rischio a condizione che tali interventi non pregiudichino le condizioni di sicurezza idraulica a monte e a valle dell'area oggetto di intervento.

L'intervento in progetto, non si presenta come un intervento che porti a un aggravio delle condizioni di sicurezza al contrario, l'obiettivo dell'intervento di progetto si configura per la mitigazione del rischio idraulico lungo il Fosso Rivo.

4. STUDIO IDROLOGICO

I dati alla base del presente studio idrologico sono stati recepiti dai dati resi disponibili dal Consorzio di Bonifica Tevere Nera. Nel dettaglio è stato utilizzato lo "Studio per l'individuazione dei tratti fluviali in dissesto e a rischio ricadenti nel comprensorio consortile – Il Stralcio", condotto nel 2013 dall'Università degli Studi della Tuscia.

Il sopracitato studio condotto dalla Tuscia ha interessato tutti quei bacini che rientrano nella tipologia di piccoli bacini non strumentati caratteristici del reticolo secondario del fiume Tevere. L'analisi idrologica è stata condotta attraverso due procedure e confrontate su tutti i bacini:

La procedura "tradizionale PAI" dell'AbT;

Una procedura “alternativa” di tipo event – based (denominata EBA4SUB – Event Based Approach for small and Ungauged Basins).

La procedura alternativa nasce al fine di ridurre il grado di empirismo che caratterizza la procedura tradizionale PAI. In particolare, si è cercato di risolvere le problematiche insite nella formula razionale per la definizione della portata al colmo e nella definizione della forma dell'idrogramma. La procedura alternativa, denominata EBA4SUB, è strutturata in modo da rappresentare un approccio ottimale per bacini di limitate dimensioni (assumendo come massimo valore quello per cui l'ipotesi di precipitazione spazialmente uniforme sia ancora ammissibile) e privi di misurazioni di portata. In tali condizioni, in genere, le uniche informazioni disponibili sono le osservazioni pluviometriche, il modello digitale del terreno (DEM) e le proprietà del suolo del bacino. Per maggiori dettagli si rimanda al sopracitato studio.

Di seguito si riportano i valori delle portate al colmo e relativi idrogrammi per i tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni riportati in maniera sintetica e schematica per i bacini oggetto di studio. Ai fini delle verifiche idrauliche condotte sono state prese in considerazione gli idrogrammi derivanti dal calcolo effettuato con la metodologia alternativa EBA4SUB.

In particolare:

- In fig. 8 e 9 si riportano gli estratti dello studio idrologico condotto per il bacino 02a- Rivo (corrispondente all'asta del Rivo Valle);
- in fig. 10 e 11 si riportano gli estratti dello studio idrologico condotto per il bacino 02a- Rivo (corrispondente all'asta del Rivo Medio);
- in fig. 12 e 13 si riportano gli estratti dello studio idrologico condotto per il bacino 02a- Rivo (corrispondente all'asta del Rivo);
- in fig. 14 e 15 si riportano gli estratti dello studio idrologico condotto per il bacino 02b- Rivo (corrispondente all'affluente Rivo C1_C2_valle);
- in fig. 16 e 17 si riportano gli estratti dello studio idrologico condotto per il bacino 02b- Rivo (corrispondente all'affluente Rivo C1);
- in fig. 18 e 19 si riportano gli estratti dello studio idrologico condotto per il bacino 02c- Rivo (corrispondente all'affluente Rivo C2);
- in fig. 20 e 21 si riportano gli estratti dello studio idrologico condotto per il bacino 03 Calcinare (corrispondente all'asta dell'affluente Calcinare);

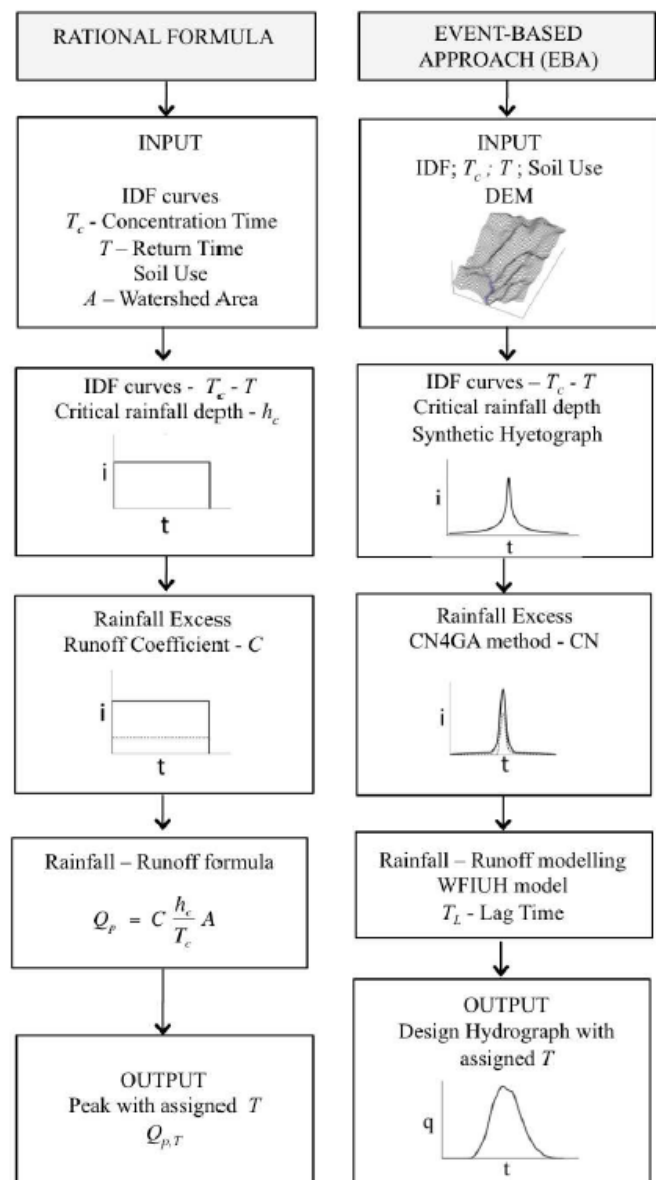


Figura 7 - Approcci utilizzati per la stima della portata al colmo

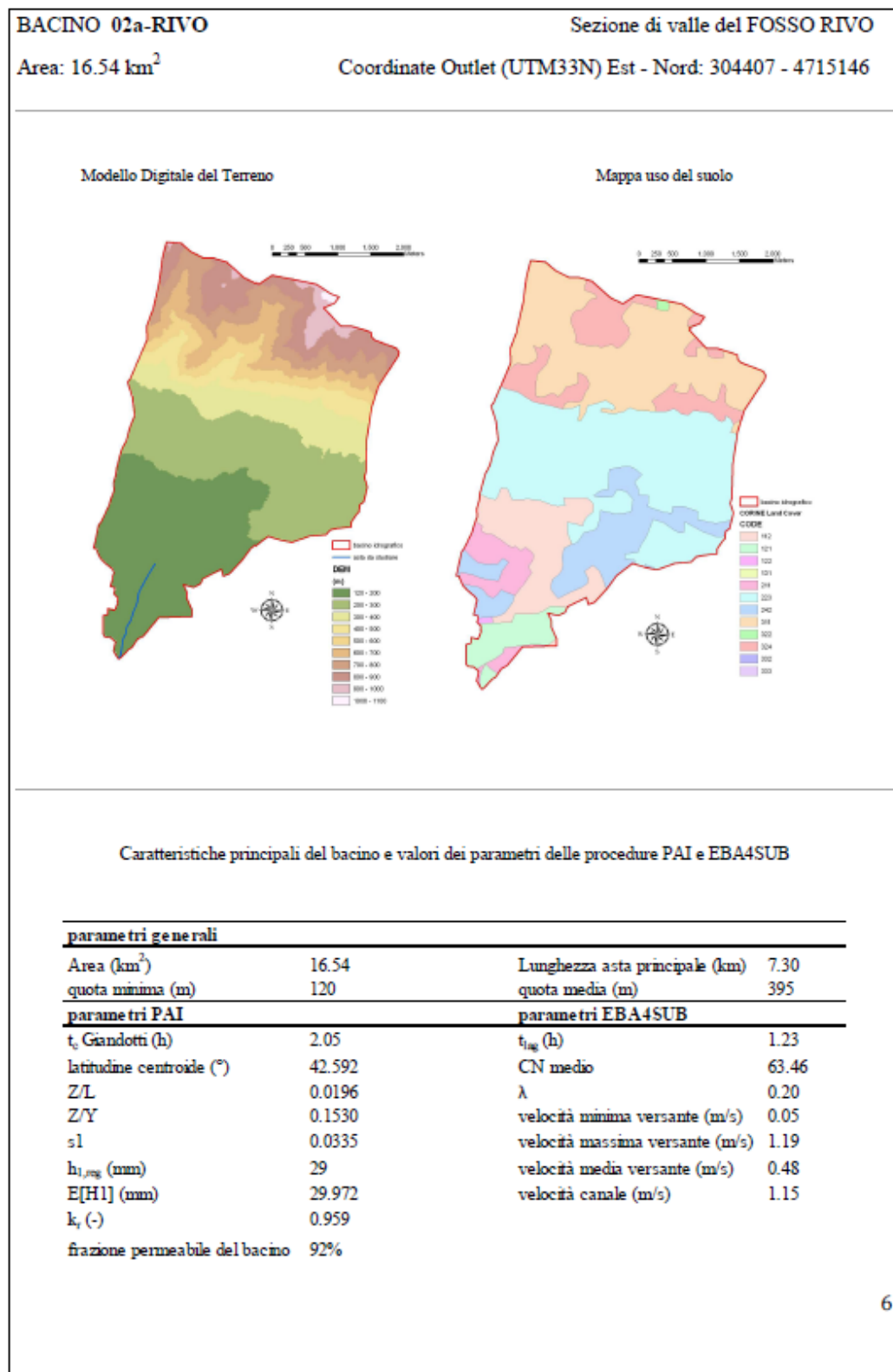


Figura 8 - Caratteristiche principali per il bacino 02a - Rivo - Sezione valle

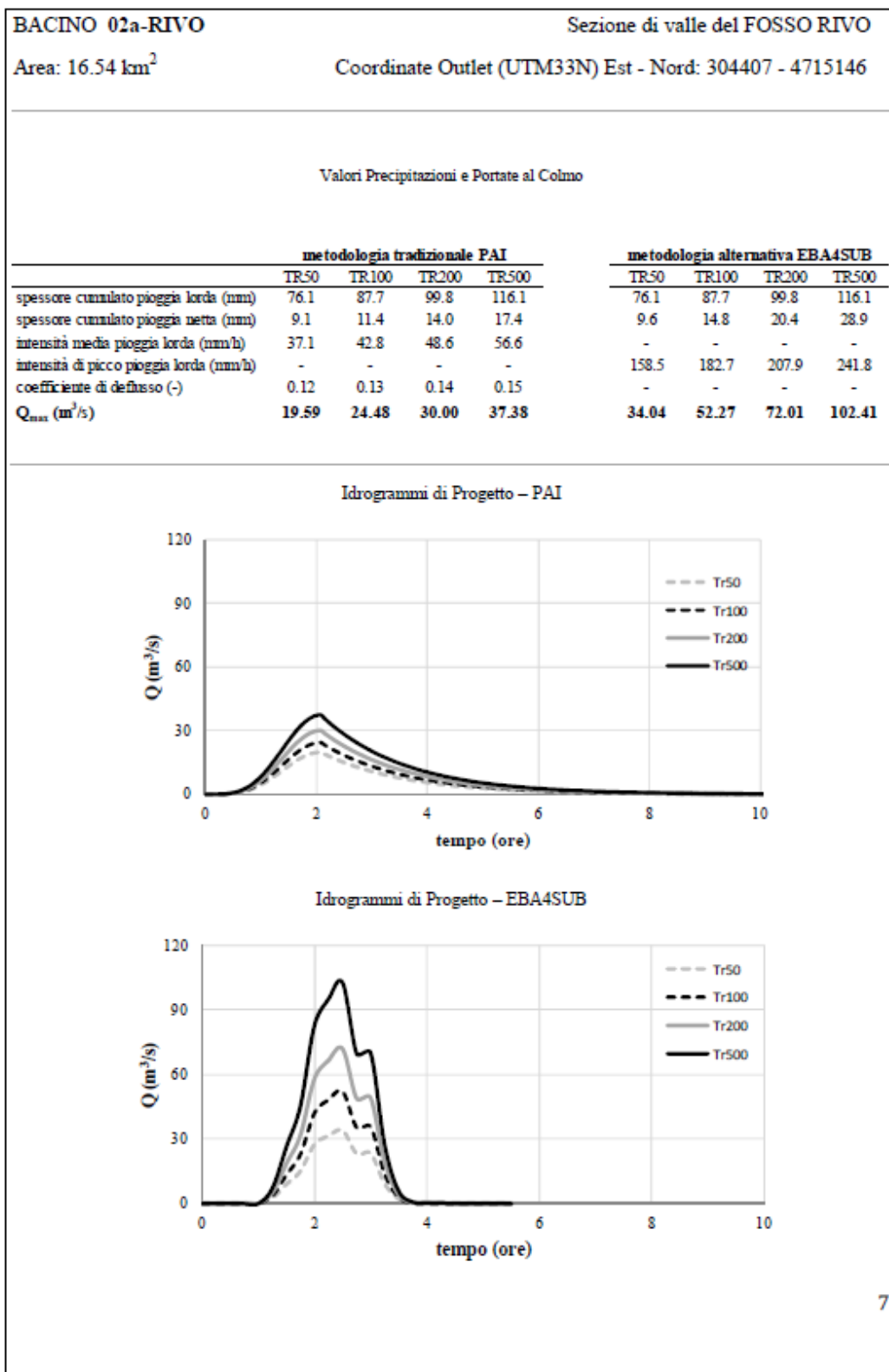


Figura 9 - Idrogramma di progetto per il bacino 02a - Rivo - Sezione valle

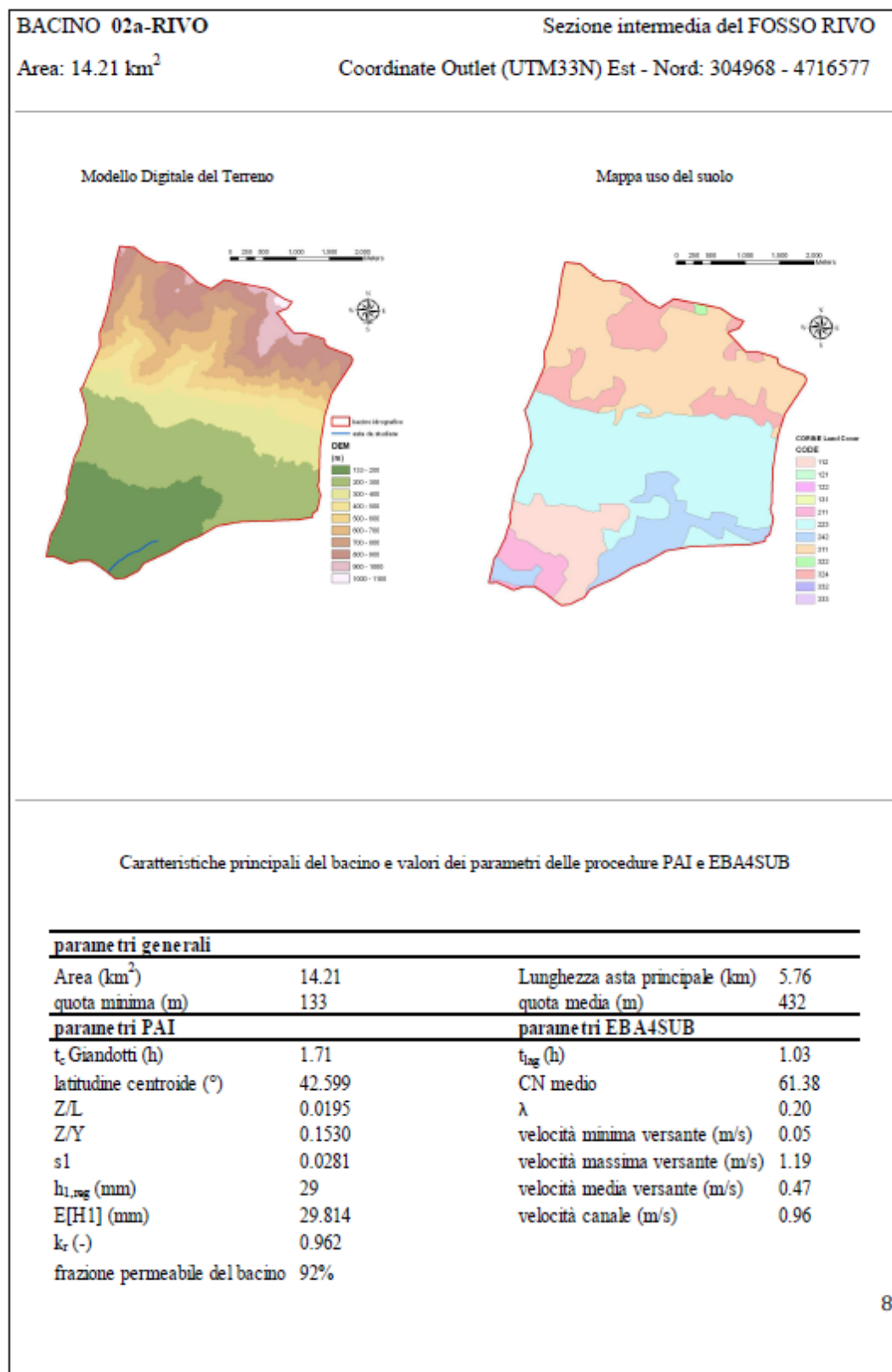


Figura 10 - Caratteristiche principali per il bacino 02a - Rivo - Sezione intermedia

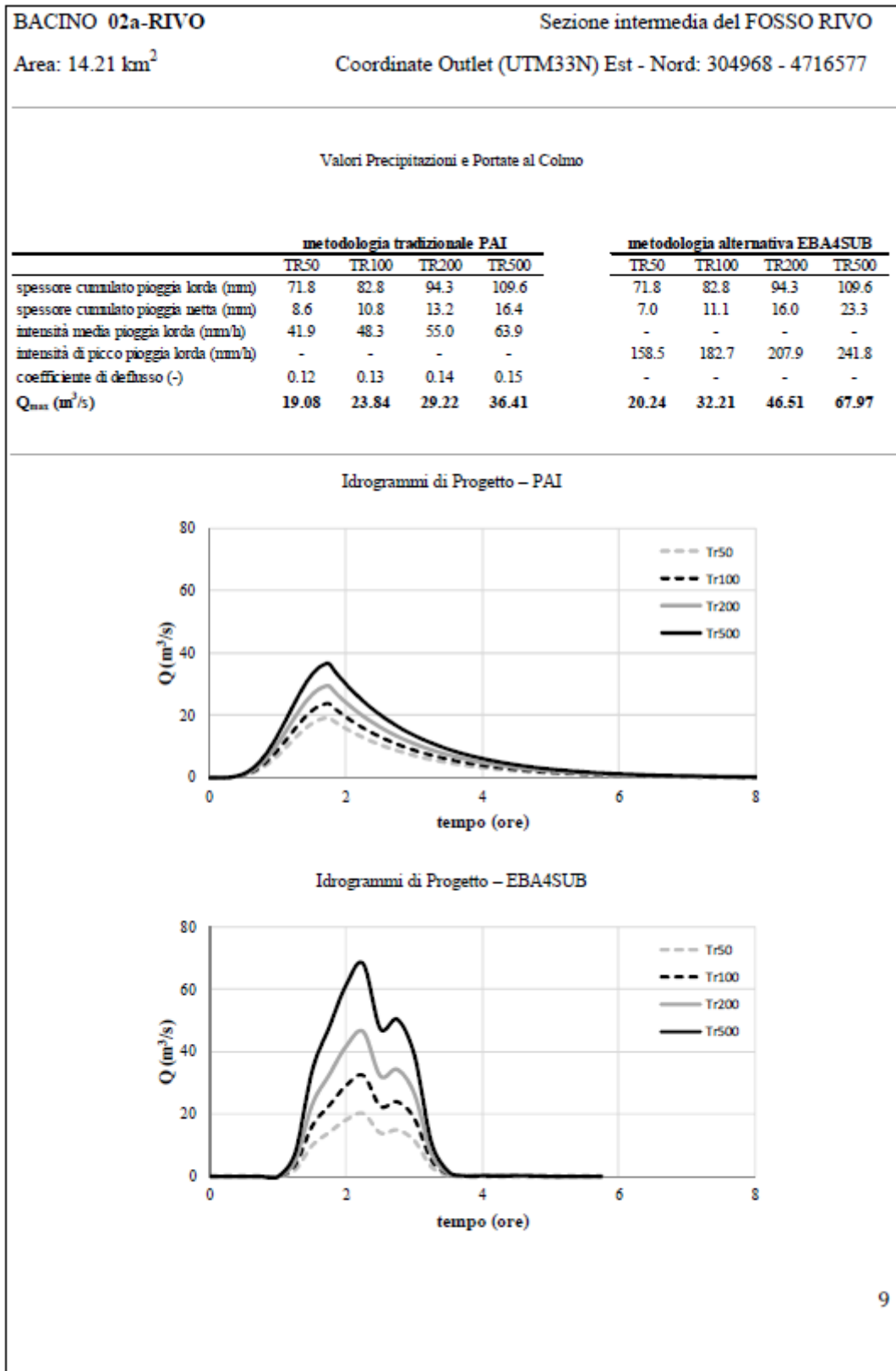


Figura 11 - Idrogramma di progetto per il bacino 02a - Rivo – Sezione intermedia

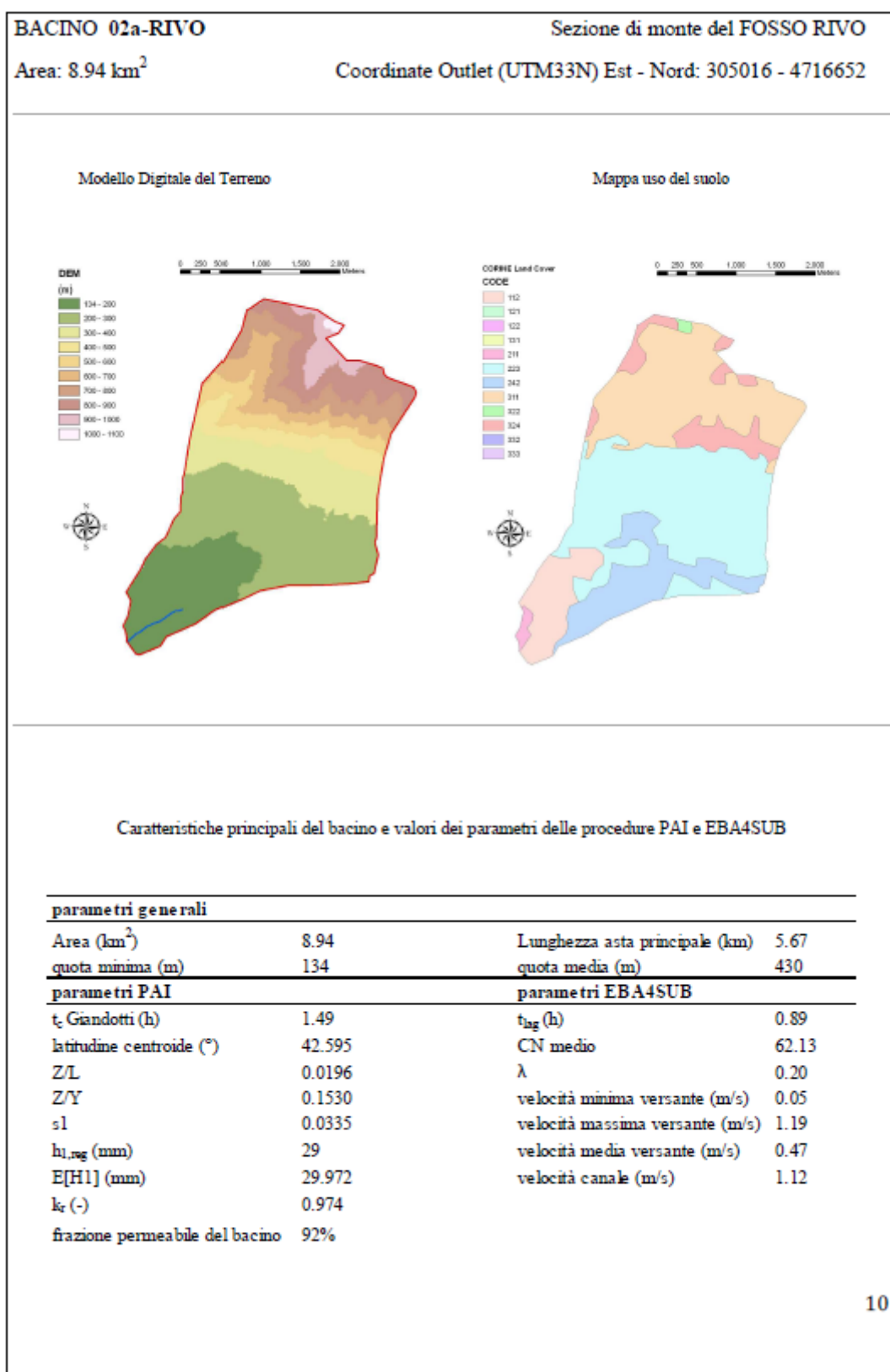


Figura 12 - Caratteristiche principali per il bacino 02a - Rivo - Sezione monte

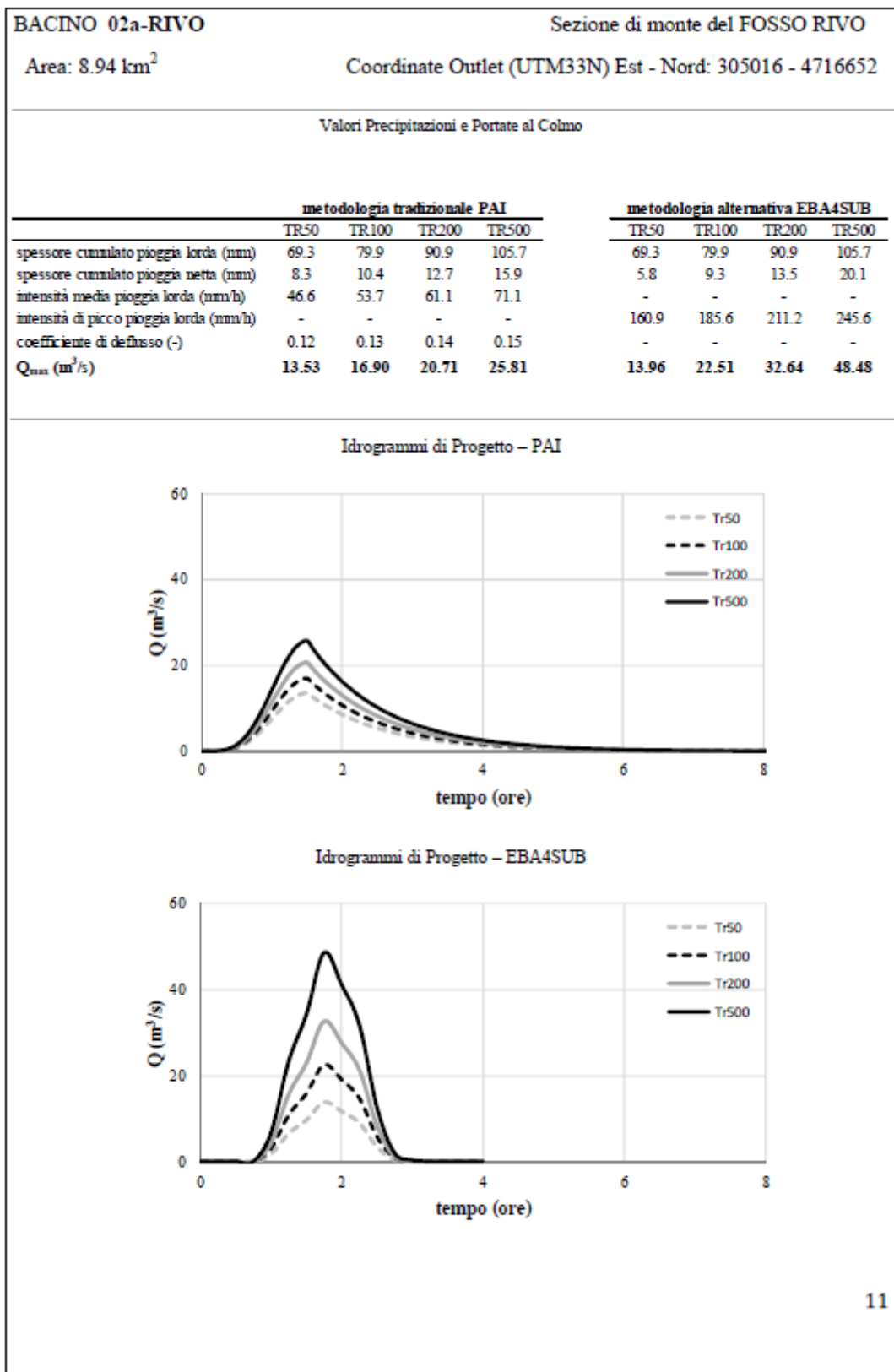
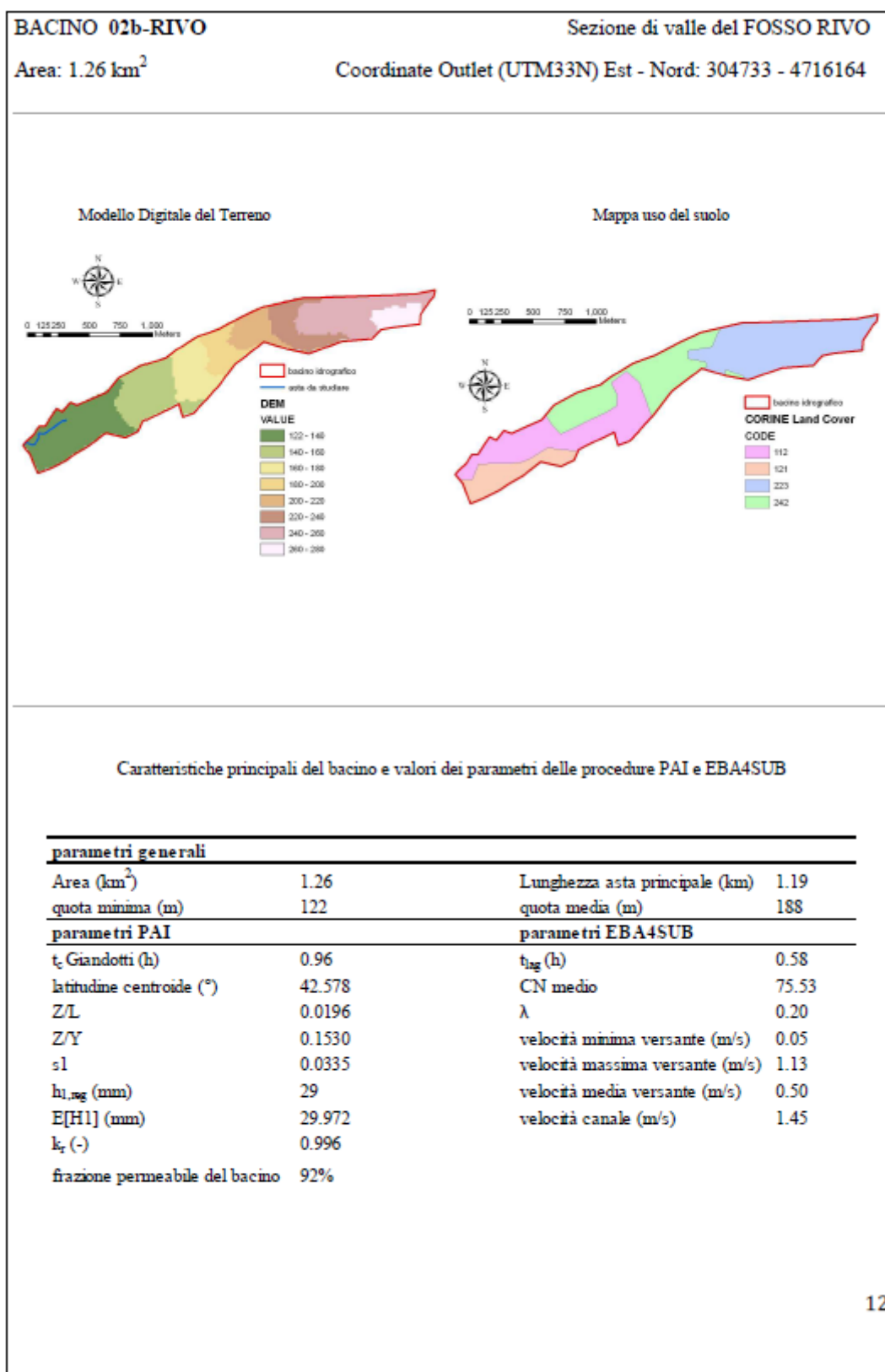


Figura 13 - Idrogramma di progetto per il bacino 02a - Rivo – Sezione monte



12

Figura 14 - Caratteristiche principali per il bacino 02b – Rivo – Sezione valle

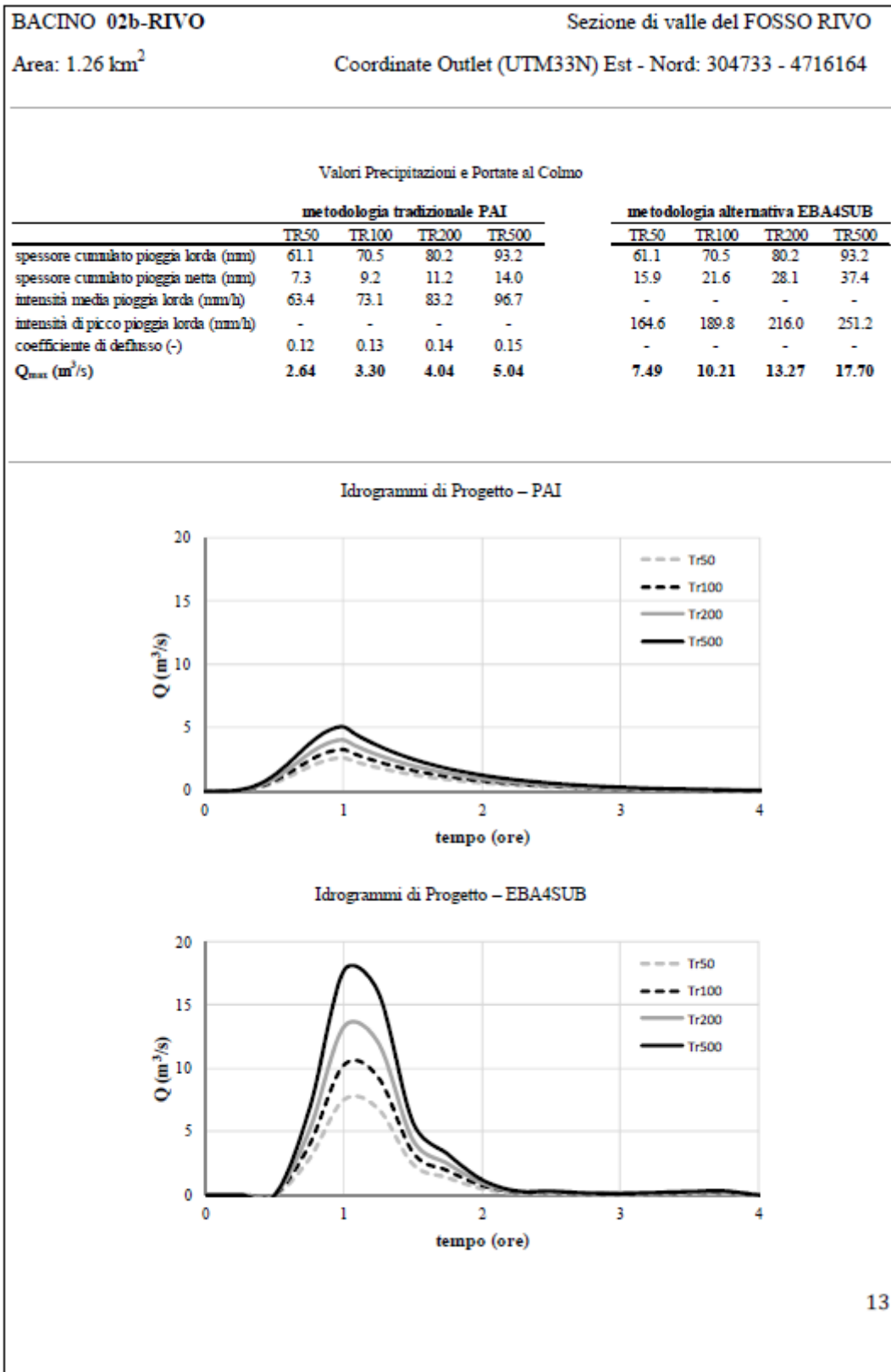


Figura 15 - Idrogramma di progetto per il bacino 02b - Rivo – Sezione valle

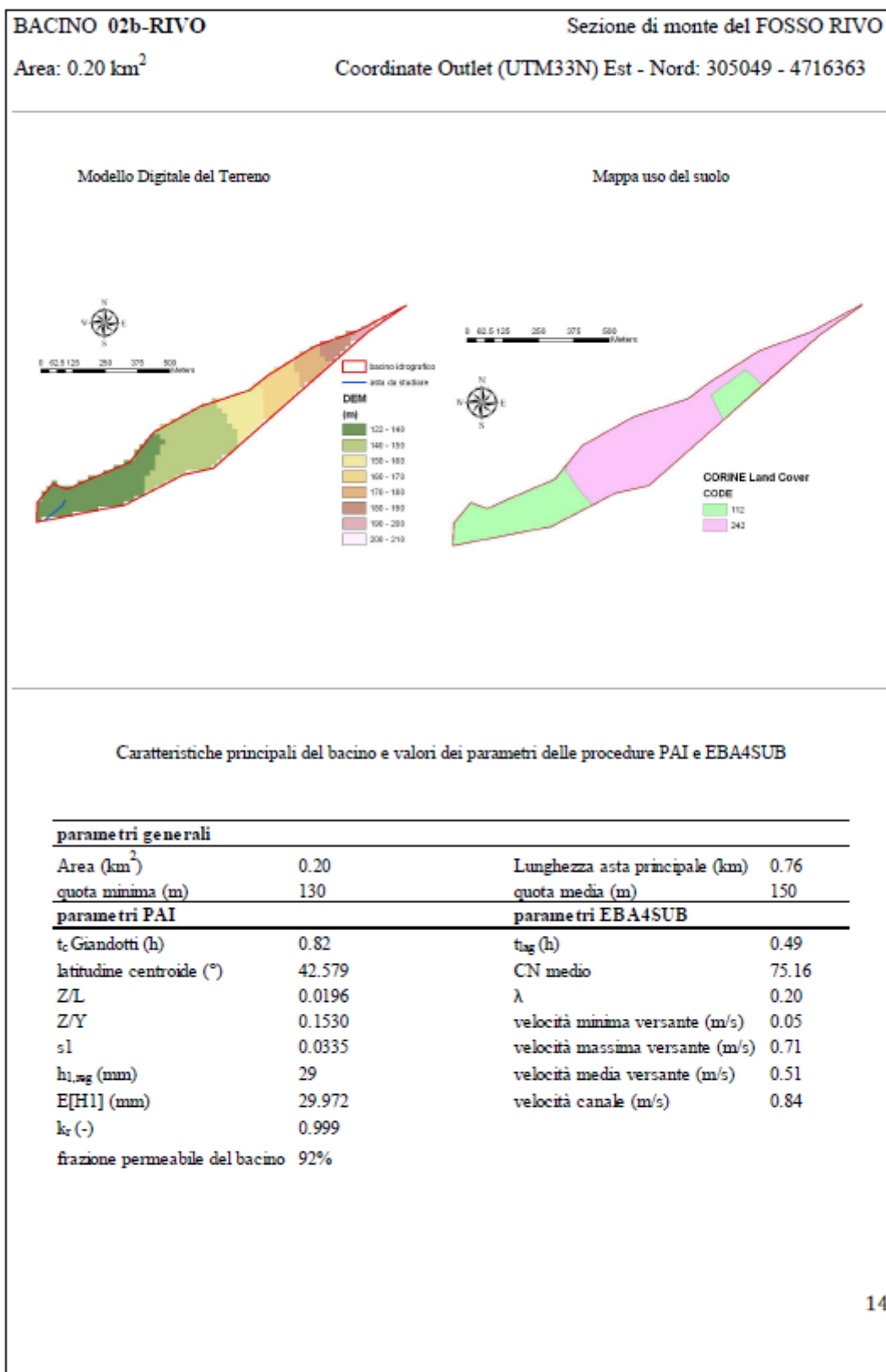


Figura 16 - Caratteristiche principali per il bacino 02b - Rivo - Sezione monte

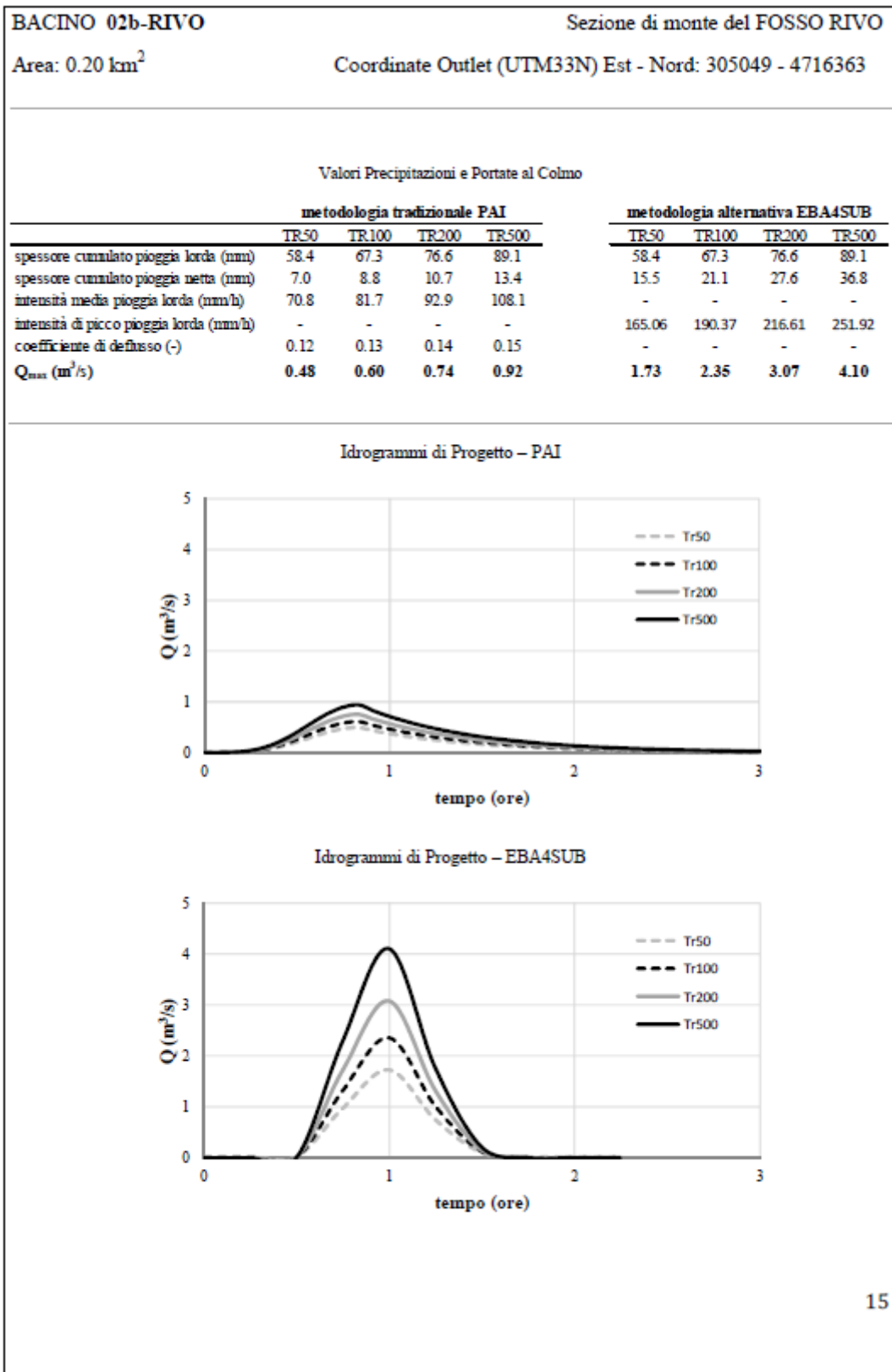


Figura 17 - Idrogramma di progetto per il bacino 02b - Rivo – Sezione monte

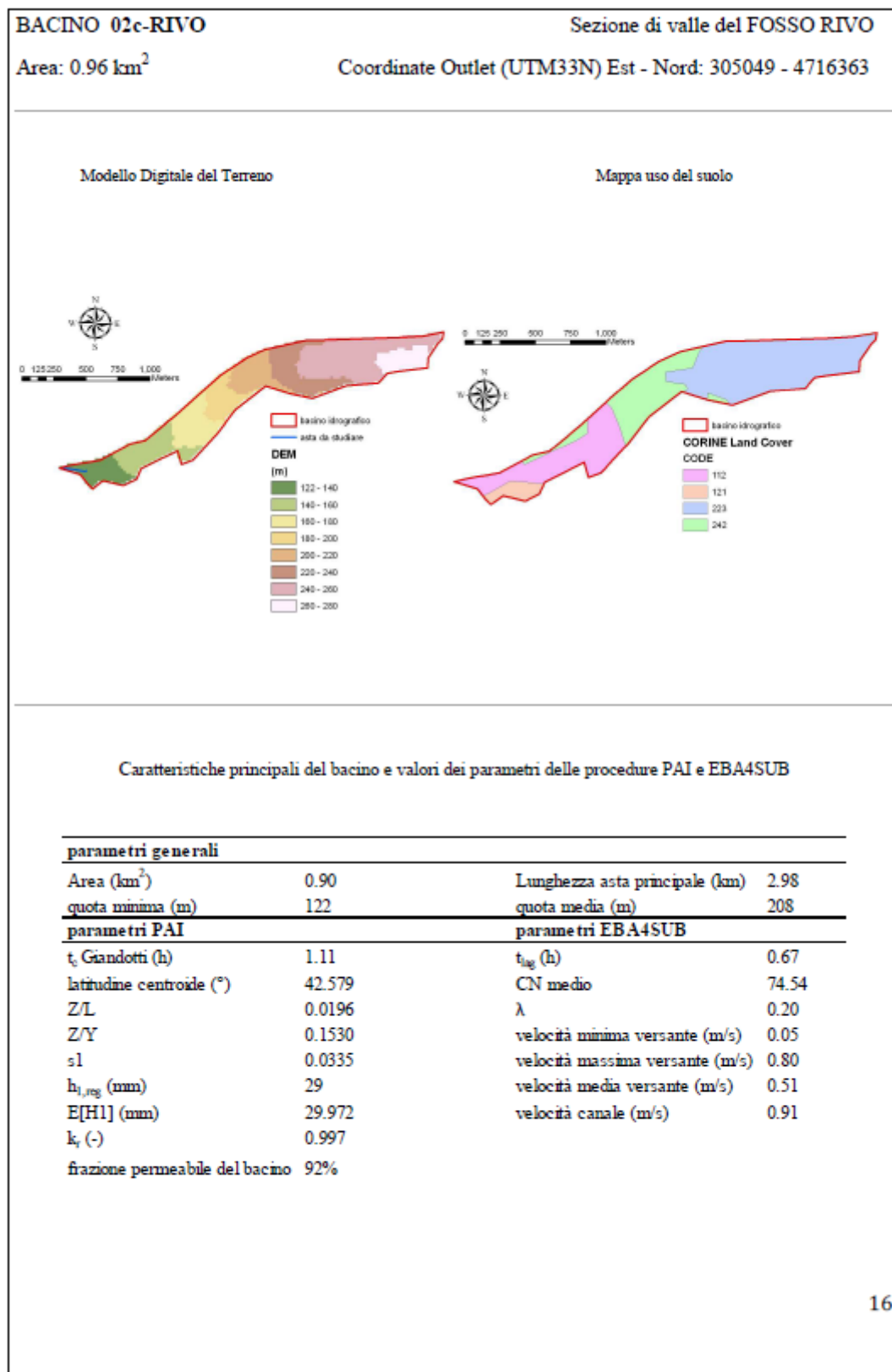


Figura 18 - Caratteristiche principali per il bacino 02c - Rivo - Sezione valle

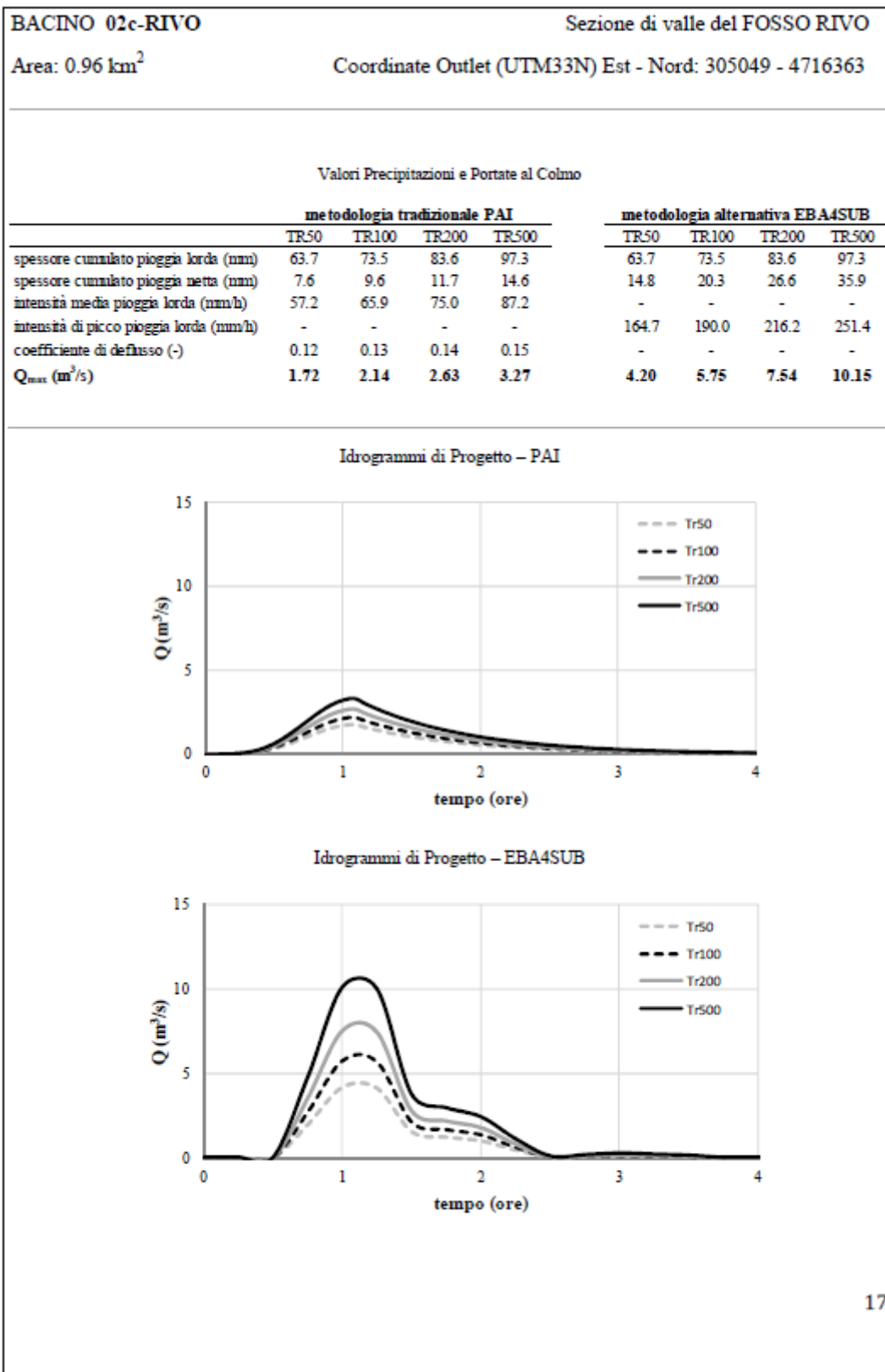


Figura 19 - Idrogramma di progetto per il bacino 02c - Rivo – Sezione valle

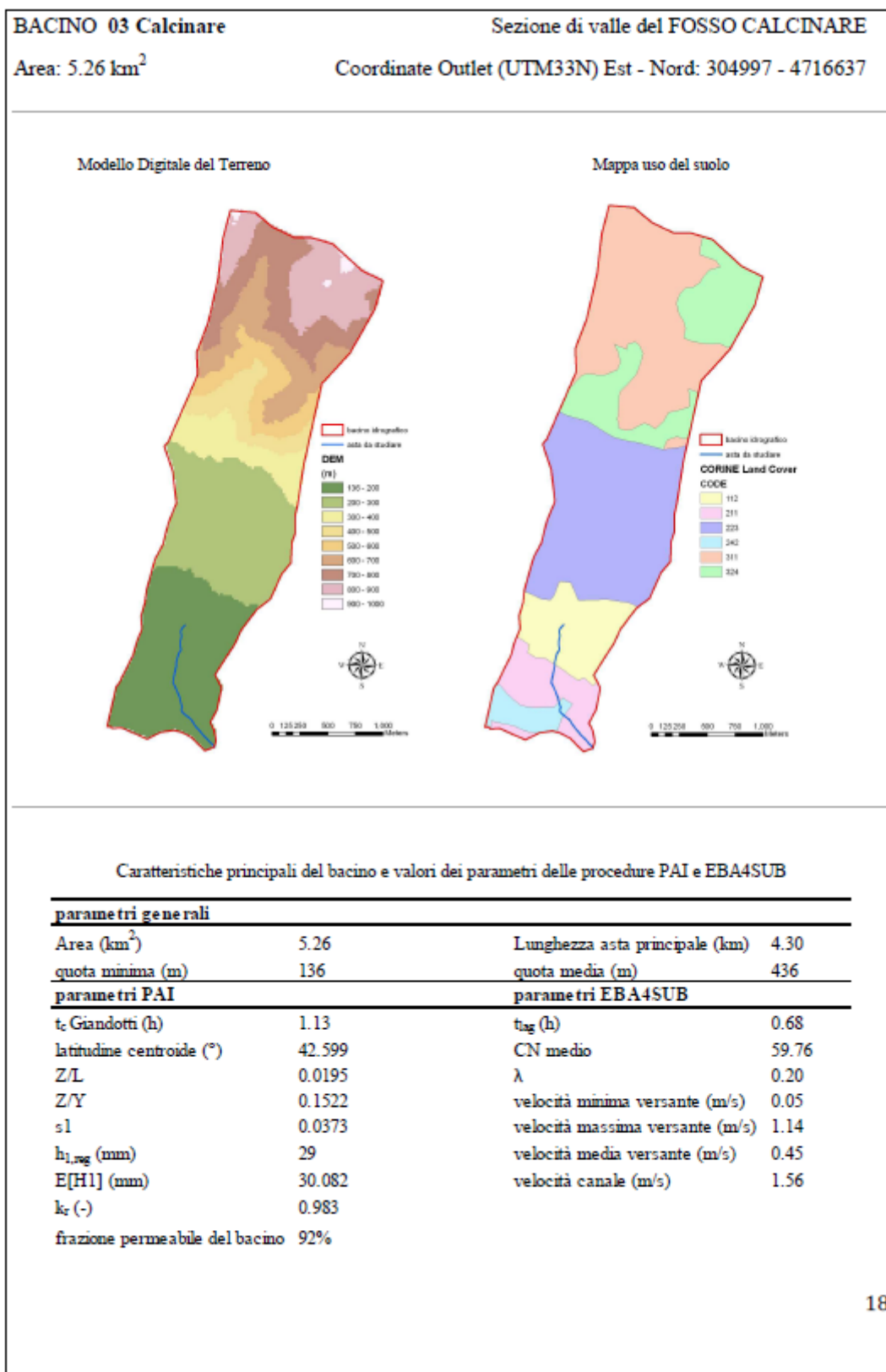


Figura 20 - Caratteristiche principali per il bacino 03 - Calcinare - Sezione valle

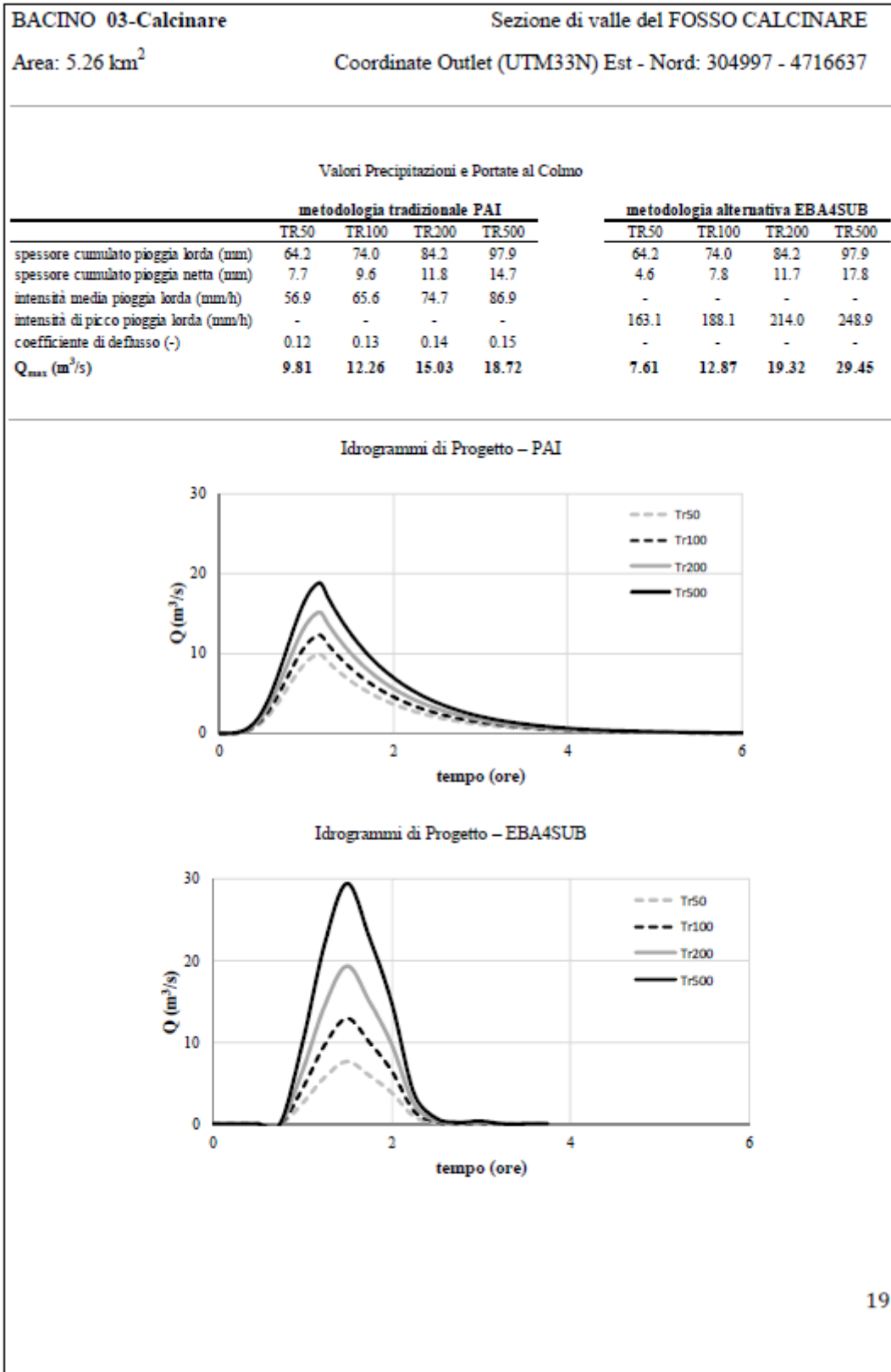


Figura 21 - Idrogramma di progetto per il bacino 03 – Calcinare – Sezione valle

5. STUDIO IDRAULICO

Le verifiche idrauliche per la zona oggetto di studio sono state condotte mediante l'utilizzo di un modello idraulico 1D – 2D combinato mediante l'utilizzo del codice di calcolo HEC-RAS 6.5, sviluppato dall'US Army Corps of Engineers.

La geometria del corso d'acqua, fornita dal Consorzio di Bonifica Tevere-Nera, è stata aggiornata allo stato attuale, integrandolo con un rilievo topografico le sezioni a disposizione che ha permesso di ricostruire l'andamento plano-altimetrico delle sezioni idrauliche del corso d'acqua oltre agli attraversamenti presenti lungo tale tratto.

Le simulazioni idrauliche sono state condotte con riferimento ai tempi di ritorno (TR) pari a 50-200 e 500 anni.

Gli scenari simulati sono stati:

- Scenario 0: Stato di fatto senza alcuna ipotesi di opere;
- Scenario 1: Stato di progetto includendo i soli interventi attinenti al presente stralcio progettuale dell'importo di euro 2.300.000,00;

Le scelte progettuali per la definizione degli interventi di messa in sicurezza e per la mitigazione del rischio idraulico sono state condotte sulla base dei risultati ottenuti dalla verifica nella configurazione dello stato attuale a TR200 anni.

Nei paragrafi successivi sono riportati i risultati dello studio idraulico in riferimento allo Scenario 0 e Scenario 1, il quale rappresenta lo scenario di progetto del presente progetto esecutivo.

5.1. COERENZA DELLO STUDIO IDRAULICO CON IL PAI VIGENTE

Come ampiamente illustrato nel Capitolo 3, le fasce e il rischio idraulico del Fosso Rivo e Calcinare, sono riportate all'interno delle tavole Pb87 e Pb86 del PAI, aggiornate a seguito del D.S. n°37/2018.

Lo studio alla base del PAI vigente è stato condotto dall'università della Tuscia nel 2015, "Studio per l'individuazione dei tratti fluviali in dissesto e a rischio ricadenti nel comprensorio consortile – Il Stralcio".

Tale studio per i corsi d'acqua che presentano particolari criticità in termini di aree inondabili, fra cui fosso Rivo e Calcinare, utilizzano una metodologia "avanzata" EBA4SUB per gli aspetti idrologici e un modello idraulico bidimensionale mediante il software Flo2Dpro, discostandosi nettamente dalle ipotesi di modellazione basata sull'utilizzo di un modello 1D HEC-RAS e la metodologia standard del PAI per la definizione delle forzanti idrologiche.

I risultati hanno condotto a quelle che ad oggi risultano le fasce fluviali attualmente vigenti.

I primi risultati ottenuti nella presente fase progettuale hanno condotto a dei risultati nettamente inferiori rispetto ai dati vigenti, conseguenza sicuramente di una base di modellazione e di condizione al contorno totalmente differenti da quelle adottate nello studio della Tuscia.

Dopo una serie di interlocuzione con i diversi enti coinvolti, in fase di PFTE sono state adottate delle scelte progettuali che hanno portato ad avere dei risultati in termini di aree allagabile per i diversi scenari che fossero il più possibile confrontabili con le aree allagabile alla base delle fasce vigenti.

Le scelte progettuali hanno riguardato principalmente la scelta di parzializzare alcuni attraversamenti idraulici dei principali corsi d'acqua al fine di tener conto di un possibile trattenimento a monte di materiale detritico e flottante e di immettere nel sistema degli idrogrammi "integrativi" per apportare le portate/volumi laminati nel tronco a monte.

Nei paragrafi successivi, si riportano per ogni scenario esaminato le condizioni al contorno e i risultati ottenuti.

5.2. MODELLO IDRAULICO

Per effettuare le simulazioni, si è scelto di costruire un modello 1D - 2D integrato, cioè, costituito da un modello monodimensionale (1D) in alveo e da un modello bidimensionale (2D) nelle aree inondabili e la modellazione viene svolta risolvendo simultaneamente, sia il modello 1D che modello 2D.

Questi modelli sono molto utilizzati quando si prevedono scambi di flusso tra aree inondabili e alveo e quando le dinamiche nelle aree inondabili sono prettamente bidimensionali.

La costruzione dello schema monodimensionale prevede il tracciamento delle aste fluviali, l'inserimento delle sezioni e dei ponti. Ai fini di una corretta costruzione della geometria si è proceduto dapprima ad un'attenta analisi dei dati idraulici disponibili.

Il tratto analizzato presenta una lunghezza totale di circa 4.50 km e si sviluppa a monte della confluenza del Fosso Rivo con il Fiume Nera. Nel dettaglio le lunghezze dei vari tratti analizzati sono:

- **Calcinare** lunghezza di circa 1260 m (affluente in destra del Fosso Rivo);
- **Rivo C2** lunghezza di circa 210 m (affluente del Rivo C1-C2);
- **Rivo C1** con una lunghezza di circa 130 m (affluente del Rivo C1-C2);
- **Rivo C1-C2** con una lunghezza di circa 435 m (affluente in sinistra del Fosso Rivo);
- Asta principale del Fosso Rivo con una lunghezza complessiva di circa 2300 m composta da:
 - Rivo con lunghezza di 890 m (tratto del Fosso Rivo prima della confluenza con il Calcinare);
 - Rivo Medio con lunghezza pari a circa 515 m (tratto del Fosso Rivo dalla confluenza con il Fosso Calcinare fino alla confluenza con affluente Rivo C1);
 - Rivo Valle con lunghezza di circa 890 m (tratto terminale del Fosso Rivo che parte da confluenza con affluente Rivo C1 fino alla confluenza con il Fiume Nera).

La geometria dei corsi d'acqua è stata costruita a partire dai rilievi topografici e dai dati messi a disposizione dal Consorzio di Bonifica Tevere-Nera e riprendendo la medesima geometria presente nello Studio di fattibilità, inserendo un totale di 136 sezioni tutte posizionate nei punti notevoli, attraversamenti, cambi di sezione e salti di fondo.

Successivamente alla ricostruzione delle diverse geometrie dei corsi d'acqua si è proceduto ad eseguire alcuni rilievi topografici integrativi lungo l'asta principale del Fosso Rivo per un totale di 86 sezioni lungo l'intera asta da monte a valle (in precedenza erano 79 sezioni).

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati topografici di dettaglio: 2422_E_X0_DPA01 e 2422_E_X0_DSZ01.

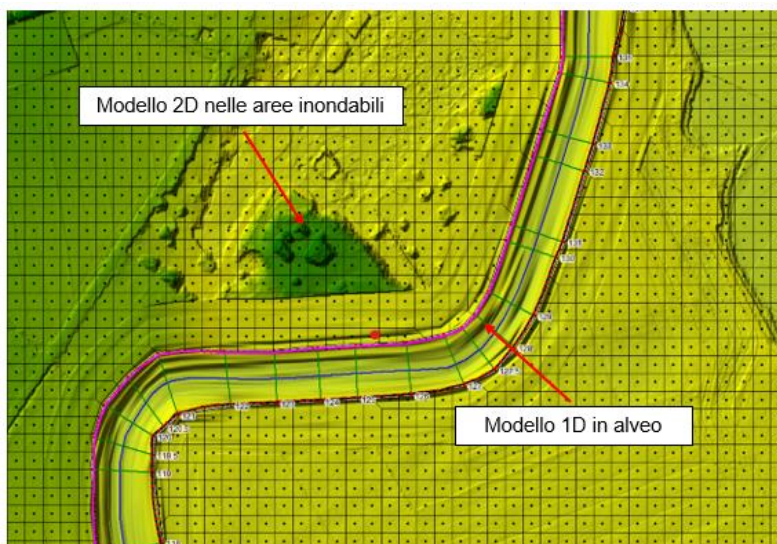
Ai fini della modellazione, viste le forti pendenze con le quali si presentano i tratti oggetto di studio, le sezioni sono state integrate mediante un'interpolazione a 5 m e a 1 m.

Inoltre, si è proceduto al corretto inserimento della geometria degli attraversamenti con particolare riferimento a: quote estradosso, quote intradosso, larghezza e altezza della luce degli attraversamenti.

Una volta definito e generato lo schema monodimensionale si passa alla creazione della griglia di calcolo che costituirà il corpo dell'area 2D.

Il tracciamento delle aree 2D è stato effettuato utilizzando il Ras Mapper. Sono state create 3 aree 2D tenendo in considerazione l'orografia delle zone interessate. Per entrambe le aree 2D è stata utilizzata un mesh con grandezza delle celle pari a 5 x 5 m essendo in un'area urbana e ciò permette di avere una risoluzione elevata della propagazione dell'inondazione.

Generati separati i modelli per la simulazione di moto vario monodimensionale in alveo e bidimensionale nelle aree inondabili, l'ultimo passo riguarda la creazione degli sfioratori laterali, che permettono il collegamento tra i due sistemi. Il parametro più importante che caratterizza queste opere di collegamento è il coefficiente di sfioro (weir coefficient), il quale sulla base del manuale HEC-RAS è



consigliabile utilizzare un coefficiente di efflusso molto basso quando si utilizza l'opzione "Lateral Structure" in assenza di argini, strade o depositi di terreno altrimenti la portata trasferita tra le due aree risulta essere troppo elevata con rischio di instabilità del modello.

Per il caso in esame sono stati utilizzati valori di weir coefficient pari a 0.2 per tutti gli sfioratori laterali.

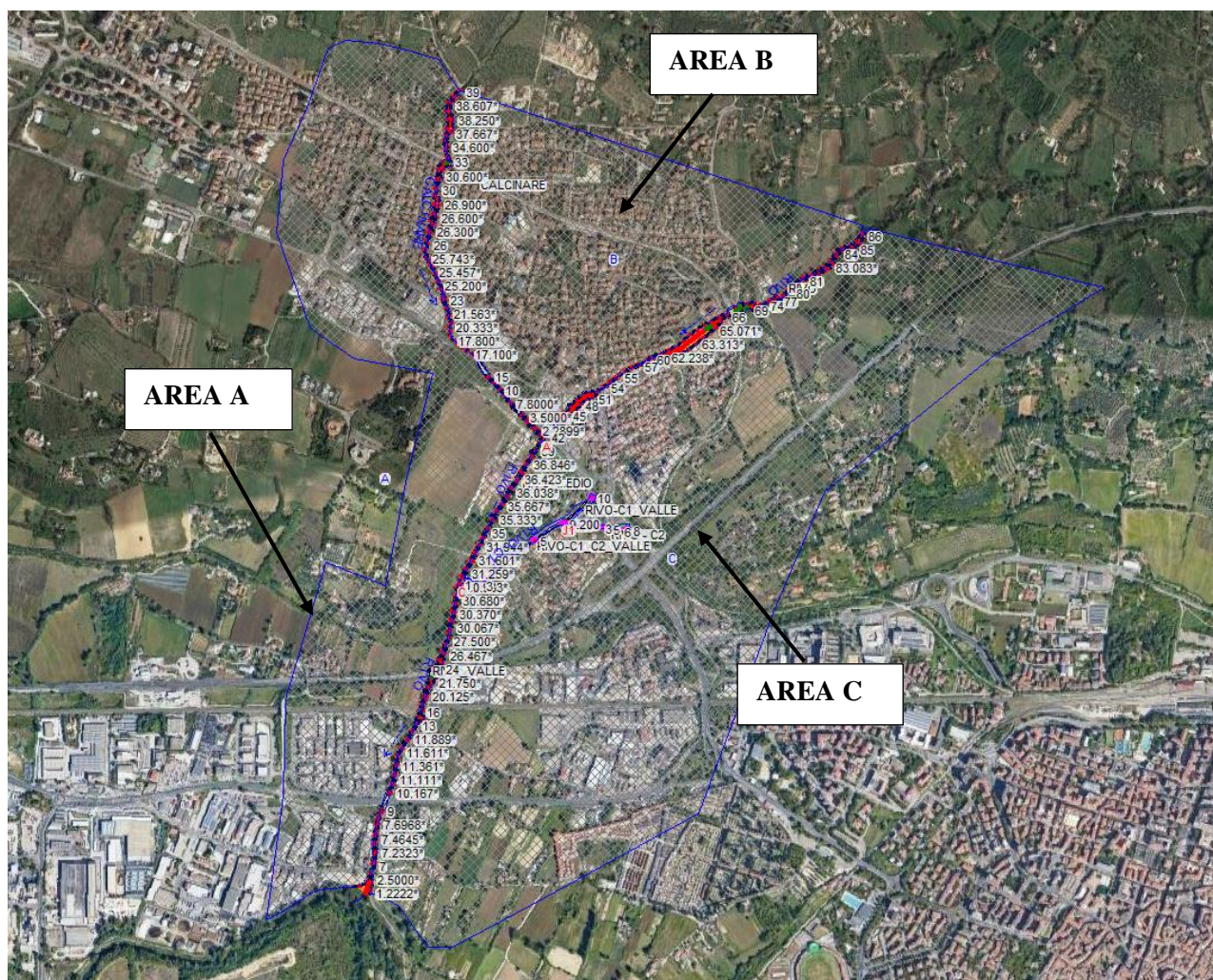


Figura 22 - Planimetria modello idraulico con ubicazione delle aree 2D e sezioni lungo i corsi d'acqua oggetto di studio

5.2.1. SCABREZZE

Le scabrezze all'interno del modello idraulico combinato vengono valutate separatamente. Come già accennato in precedenza, le sezioni vengono divise in un canale centrale e nelle golene. Il canale centrale rappresenta il letto d'alveo ed è quella parte interessata dal deflusso delle acque anche in condizione di portate medie e di magra, mentre le golene rappresentano delle zone laterali d'alveo che vengono interessate dalla corrente solo con l'arrivo di grandi piene.

Per quel che riguarda il canale centrale (monodimensionale) i valori del coefficiente di scabrezza n di Manning assunto è stato variabile fra 0.06 e 0.04 $m^{-1/3}/sec$ per la parte centrale dell'alveo 0.06 e 0.08 $m^{-1/3}/sec$ per le sponde. Inoltre, in corrispondenza di tombini e attraversamenti è stato adottato un valore di scabrezza pari a 0.025 $m^{-1/3}/sec$ in considerazione delle caratteristiche degli attraversamenti, conforme a quanto assunto nel precedente studio di fattibilità.

Si fa presente, inoltre, che i valori dei coefficienti di scabrezza adottati nelle verifiche idrauliche condotte in questa sede risultano diversi (in generale più alti e quindi più cautelativi) da quelli utilizzati nell'ambito delle verifiche idrauliche condotte in studi precedenti dove venivano considerati valori di scabrezza all'interno dell'alveo anche inferiori a 0.02 $m^{-1/3}/sec$ che fanno riferimento a condizioni di fondo dell'alveo del tutto puliti e con assenza di materiale sedimentato.

Al fine di ottenere una simulazione più accurata, è necessario associare, oltre che alle sezioni rappresentati il canale centrale, alle aree 2D dei valori di scabrezza variabili che rappresentino l'eterogeneità delle aree inondabili nei confronti del deflusso.

Nel presente studio le informazioni di copertura e uso del suolo sono state acquisite attraverso l'utilizzo della Mappa degli insediamenti europei (The European Settlement Map 2017- ESM2p5m), con risoluzione 2.5 m la quale ha permesso la corretta definizione di ogni classe di uso del suolo (strade, edifici, aree a verde, ecc.) adottando un mesh abbastanza fitta.

Grazie all'elevata risoluzione del rilievo satellitare è stato possibile identificare correttamente ogni classe di uso del suolo, identificando nel dettaglio le strade più strette all'interno dei centri urbani e gli edifici, e successivamente, associare alle destinazioni d'uso del terreno i coefficienti di Manning sulla base dei valori desunti dal manuale 2D HEC-RAS.

Tabella 1 - Valori del coefficiente di Manning

Table 3-1 - Manning's n value suggestions for flood routing within a 2D domain

Land Classification	HGAC Code	Minimum Manning's n-Value	Recommended Manning's n-Value	Maximum Manning's n-Value
Open Water	1	0.01	0.02	0.03
Developed High Intensity	2	0.02	0.03	0.06
Developed Med Intensity	3	0.06	0.18	0.20
Developed Low Intensity	4	0.06	0.16	0.20
Developed Open Space	5	0.04	0.06	0.10
Barren Lands	6	0.02	0.03	0.04
Forest/Shrubs	7	0.18	0.25	0.30
Pasture/Grasslands	8	0.15	0.22	0.30
Cultivated Crops	9	0.1	0.17	0.30
Wetlands	10	0.03	0.08	0.10
Building	N/A	10	10	10
Pavement	N/A	0.015	0.02	0.025

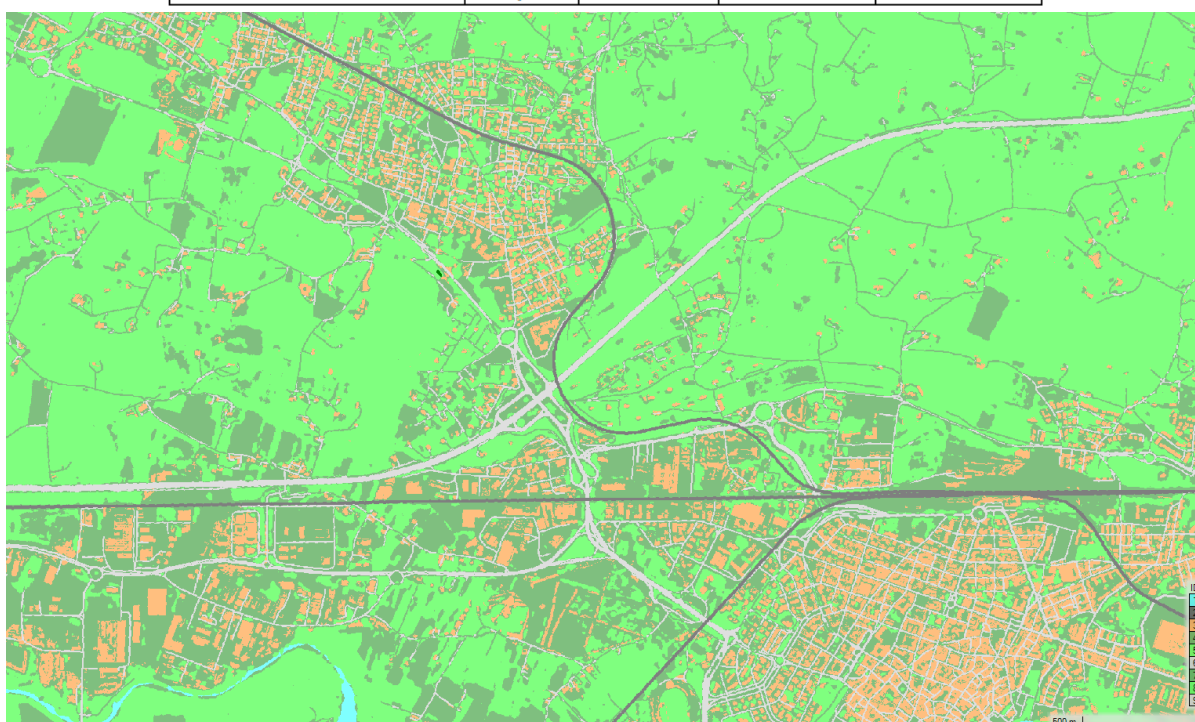


Figura 23 - Mappa degli insediamenti europei (ESM2p5m – Map 2017) dell'area di studio

5.2.2. CONDIZIONI AL CONTORNO

Come input all'interno delle simulazioni in moto vario è necessario fornire al software le condizioni al contorno di monte e di valle (Unsteady Flow Data).

Come condizione al contorno di valle nella sezione di uscita dell'asta principale del Fosso Rivo, è stato imposto il valore di 111.72 m.s.l.m., ovvero il livello idrico del Fiume Nera relativo a un tempo di ritorno pari a 50 anni per le simulazioni TR50 anni e TR200 e un valore pari a 112.54 m.s.l.m. (livello idrico del Fiume Nera a un tempo di ritorno pari a 200 anni) per le simulazioni TR500 anni

Come condizione al contorno di monte si è imposto nelle sezioni di ingresso di ogni corso d'acqua un idrogramma di piena corrispondente ai tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni. Gli idrogrammi utilizzati sono stati quelli ottenuti dallo studio idrologico (Capitolo 4) e riportati di seguito.

Ai fini della simulazione idraulica, gli idrogrammi di base sono stati inseriti nel software considerando un time step di 1 minuto al fine di avere una maggiore accuratezza nella propagazione dell'onda di piena.

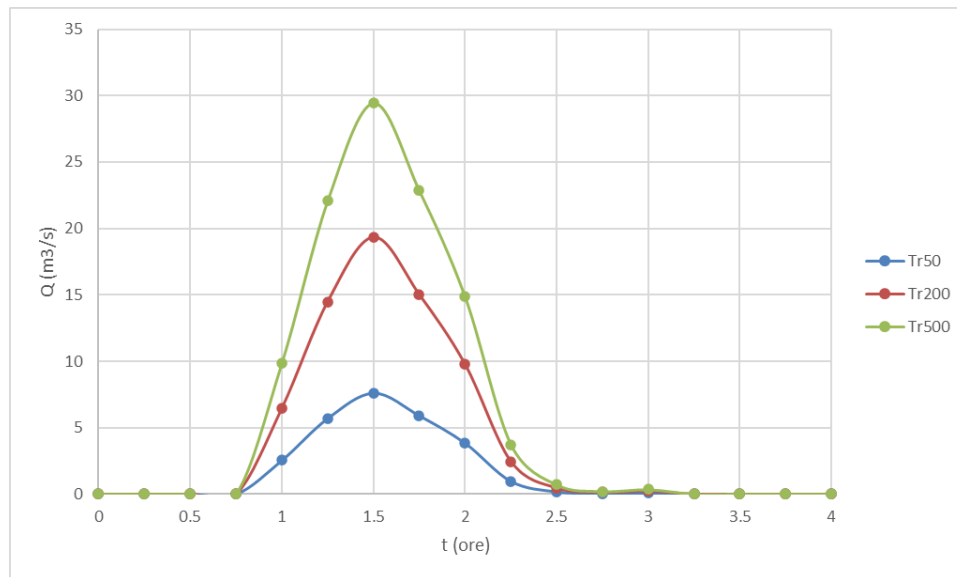


Figura 24 - Idrogrammi di progetto secondo EBA4SUB - Fosso Calcinare - Sez.39

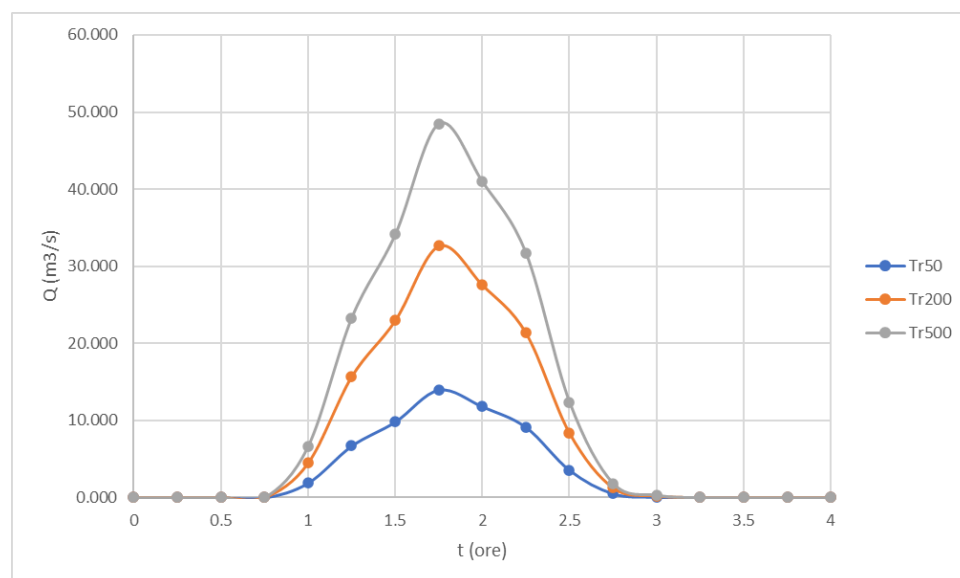


Figura 25 - Idrogrammi di progetto secondo EBA4SUB - Fosso Rivo - Sez.86

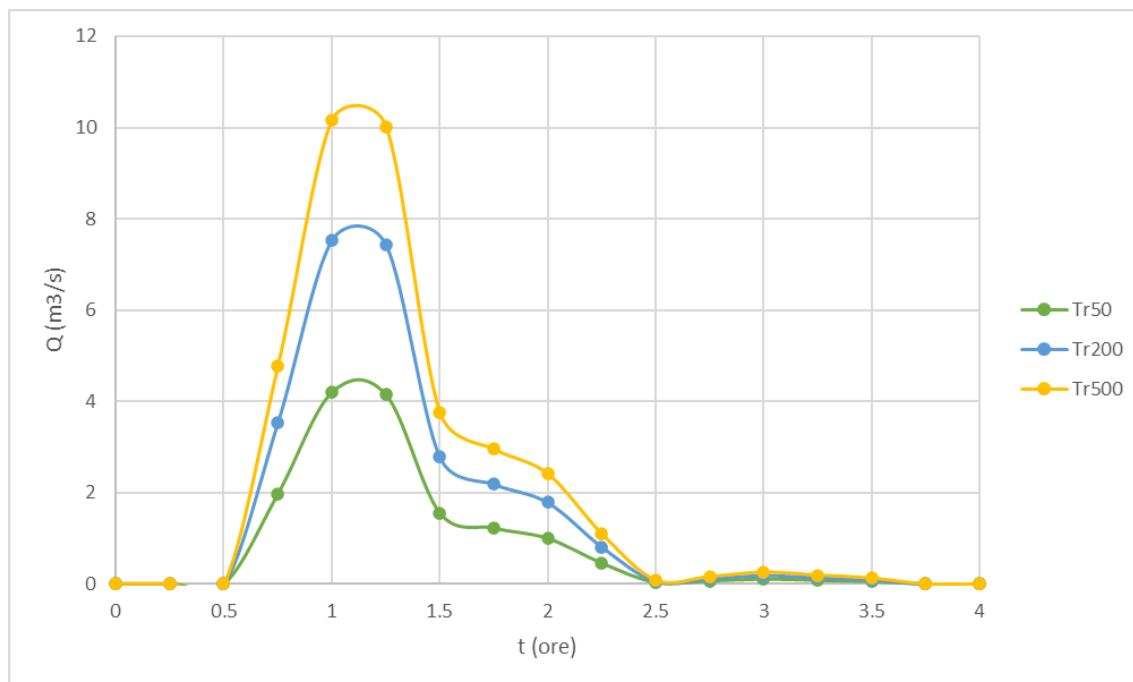


Figura 26 - Idrogrammi di progetto secondo EBA4SUB - 02c Fosso Rivo - Sez.6

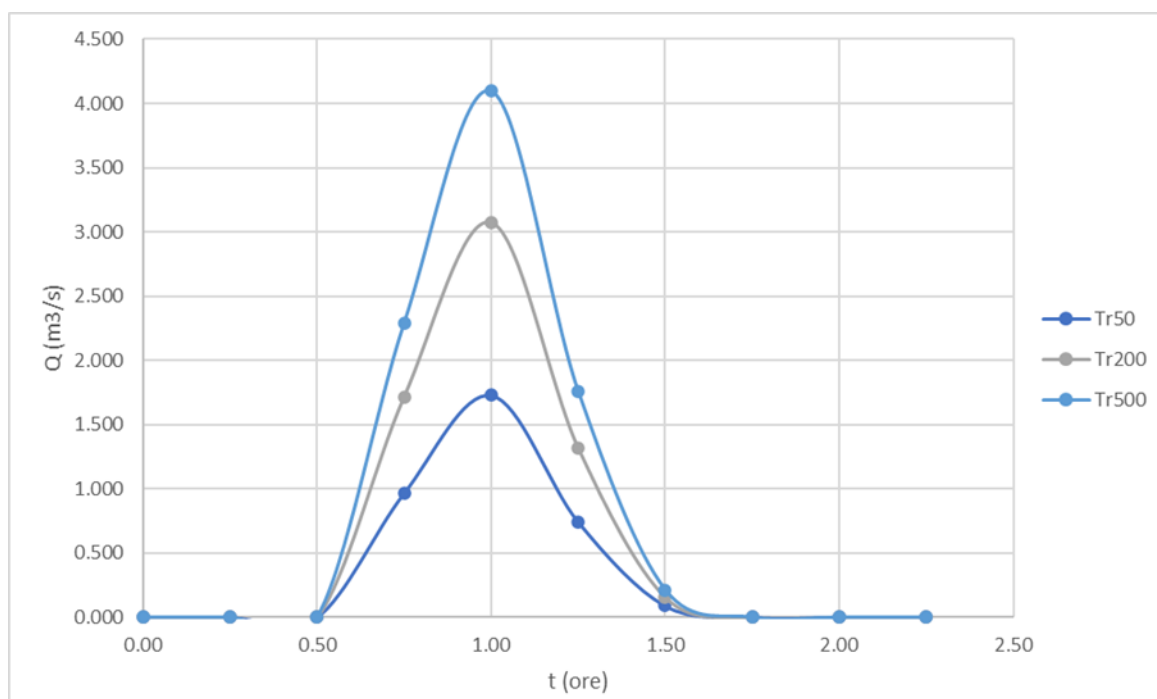


Figura 27 - Idrogrammi di progetto secondo EBA4SUB - 02c Fosso Rivo - Sez.10

5.3. MODELLO IDRAULICO - SCENARIO 0

Lo **Scenario 0** rappresenta lo stato di fatto dei corsi d'acqua del Fosso Rivo e Calcinare senza alcuna ipotesi di opera di progetto.

Si è provveduto alla costruzione della geometria nel modello considerando la corretta morfologia dei corsi d'acqua e inserendo i diversi attraversamenti presenti sui tratti oggetto di studio e riportati in Tabella 2.

Le simulazioni sono state condotte per i tempi di ritorno pari a 50, 200 e 500 anni.

Sulla base dei risultati delle verifiche idrauliche condotte nel presente scenario, i quali hanno evidenziato una generale insufficienza dei corsi d'acqua investigati, sono stati individuati alcuni interventi per la mitigazione del rischio idraulico al fine di consentire il corretto smaltimento dei deflussi

idrici all'interno dei rispettivi alvei e quindi per la messa in sicurezza dei territori contermini ai fossi presenti.

Tabella 2 - Attraversamenti presenti nel modello idraulico dei Fossi Rivo e Calcinare – Scenario 0

RIVER	REACH	SEZIONE	DESCRIZIONE	QUOTA INTRADOSSO O PONTE	QUOTA ESTRADOSSO O PONTE
				(m.s.l.m.)	(m.s.l.m.)
RIVO-C1	RIVO-C1_VALLE	9.5	Culvert 1	130.80	133.27
RIVO-C1	RIVO-C1_VALLE	9.5	Culvert 2	131.00	133.27
RIVO - C2	RIVO - C2	5.5	Inizio Tratto In	134.28	136.14
RIVO - C2	RIVO - C2	3.5	Inizio Tratto In	133.02	133.28
RIVO - C2	RIVO - C2	1.5	Inizio Tratto In	132.44	132.89
RIVO-C1	RIVO-C1_C2_VALLE	5.5	Culvert 1	128.98	130.13
RIVO-C1	RIVO-C1_C2_VALLE	3.5	Inizio Tratto In	127.57	128.23
RIVO-C1	RIVO-C1_C2_VALLE	1.5	Inizio Tratto In	124.93	125.13
RIVO	RIVO	73.5	Strada Vicinale	151.92	152.18
RIVO	RIVO	71.5	Strada Vicinale	151.77	152.13
RIVO	RIVO	68.5	Strada Vicinale	151.08	151.77
RIVO	RIVO	66.5	Ferrovia	151.84	152.37
RIVO	RIVO	64.5	Passerella Pedon	147.48	147.03
RIVO	RIVO	60.5	Via dei Colombi	142.42	142.88
RIVO	RIVO	57.5	Passerella Pedon	142.07	141.78
RIVO	RIVO	52.5	Inizio Tratto In	138.11	139.61
RIVO	RIVO	49.5	Passerella Pedon	137.57	137.77
RIVO	RIVO	46.5	Passerella Pedon	136.79	136.79
RIVO	RIVO	42.5	Inizio Tratto In	134.99	135.14
RIVO	RIVO_MEDIO	39.5	Accesso Privato	133.22	133.50
RIVO	RIVO_MEDIO	33.5	Accesso Privato	128.43	128.59
RIVO	RIVO_VALLE	28.5	Passerella Pedon	122.59	122.52

RIVER	REACH	SEZIONE	DESCRIZIONE	QUOTA INTRADOSSO PONTE	QUOTA ESTRADOSSO PONTE
				(m.s.l.m.)	(m.s.l.m.)
RIVO	RIVO_VALLE	24.5	Accesso Privato	119.88	120.07
RIVO	RIVO_VALLE	22.5	Autostrada	119.81	120.28
RIVO	RIVO_VALLE	16.5	Ferrovia	117.68	118.42
RIVO	RIVO_VALLE	13.5	Str. Di Maratta	116.88	117.92
RIVO	RIVO_VALLE	9.5	Inizio Tratto In	114.22	114.48
RIVO	RIVO_VALLE	5.5	Via Vanzetti	111.60	113.78

Sulla base delle richieste che è possibile evidenziare all'interno dell'Allegato alla relazione, si è adottato una scelta progettuale di apportare delle ostruzioni degli attraversamenti presenti in modo tale da tener conto della possibile presenza di materiale flottante che comporta a una possibile ostruzione.

Di seguito si riportano gli attraversamenti presenti lungo il Fosso Rivo e Calcinare che sono stati oggetto di parzializzazione.

FOSSO RIVO

1. Lungo il tratto del Fosso Rivo monte, l'attraversamento ubicato alla sezione 73.50 è stato parzializzato mediante una diminuzione dell'area di deflusso circa pari al 70%, diminuendo la quota dell'intradosso da 151.92 m a 150.50 m;

2. L'attraversamento su via Toledo e ubicato alla sezione 68.5 (Strada Vicinale) l'ostruzione è stata adottata apportando una diminuzione della quota dell'intradosso da 151.08 m a 149.84 m, cioè una diminuzione dell'area di deflusso di circa il 50%;

3. L'attraversamento della ferrovia ubicato alla sezione 66.5 è stato parzializzato mediante una diminuzione dell'area di deflusso con geometria ad arco di circa il 30%;

4. L'attraversamento ubicato alla sezione 60.5 (Via dei colombi), al fine di tener conto della presenza di un sottoservizio, e ai fini cautelativi, si è apportato un abbassamento della quota dell'intradosso pari a 1 m, passando da una quota pari a 142.42 m a 141.42 m.

CALCINARE

1. L'attraversamento alla sezione 36.5, il quale si presenta con una geometria di un tombino idraulico con sezione circolare di diametro pari a 800 mm, è stato ridotto con una percentuale quasi al 100%, infatti si è adottato un valore del diametro circolare pari a 100 mm;

2. L'attraversamento alla sezione 32.50, il quale rappresenta un attraversamento ferroviario, nella sua conformazione attuale si presenta con una doppia geometria. Nella sua parte centrale egli mantiene la vecchia sezione geometrica ad arco ribassato mentre le sezioni d'entrata e d'uscita sono state oggetto di una nuova geometria a sezione rettangolare, sezione allargata. Il rilievo della sezione geometrica del presente attraversamento, resa disponibile dal committente agli scriventi, si presenta con la sola sezione geometrica rettangolare. Al fine di tener conto della presenza della doppia geometria, si è adottata una maggiore ostruzione dell'attraversamento mediante una riduzione della sezione di deflusso con un abbassamento della quota dell'intradosso da 172.25 m a 170.69 m;

3. L'attraversamento ubicato alla sezione 23.50 (in Via del Rivo) è stato parzializzato di circa il 30% mediante un abbassamento della quota dell'intradosso da 150.10 m a 149.63 m.

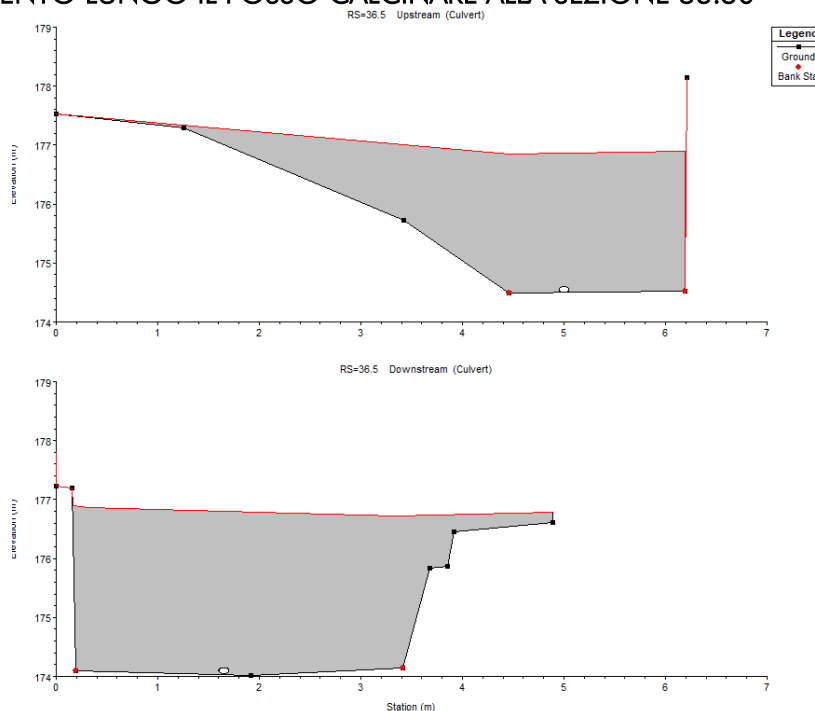
In accordo a quanto richiesto nelle considerazioni in allegato alla relazione, l'attraversamento alla sezione 15.50 (in Via del Centenario) del Fosso del Calcinare vista l'estensione con il quale si presenta, pari a 75 m, è stato modellato attraverso l'elemento culvert. Per quanto concerne l'attraversamento alla sezione 5.50 del Fosso del Calcinare, al fine di tener conto di un intasamento al fondo di circa 20-30 cm, si è adottato la scelta progettuale al fine di tener conto di tale riduzione della sezione di

deflusso, di modellarlo all'interno della modellazione idraulica come un elemento culvert, mantenendo le dimensioni geometriche (intradosso e estradosso) reali.

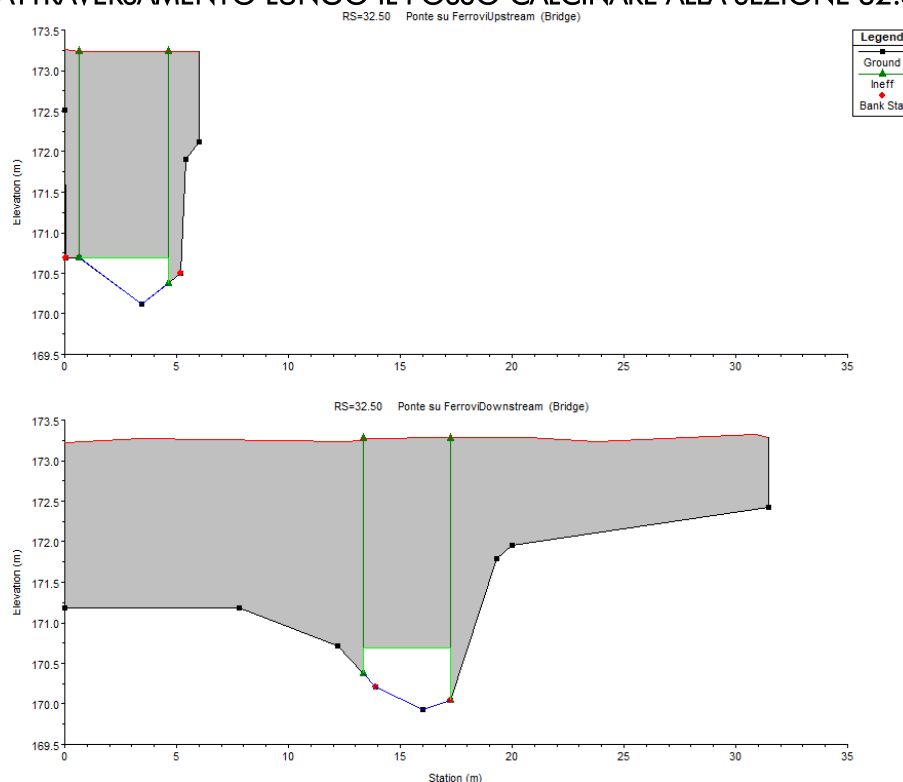
Le presenti parzializzazioni/ostruzioni sono state considerate anche nei successivi scenari.

Nelle figure di seguito si riportano le sezioni degli attraversamenti oggetto di parzializzazione all'interno della modellazione idraulica.

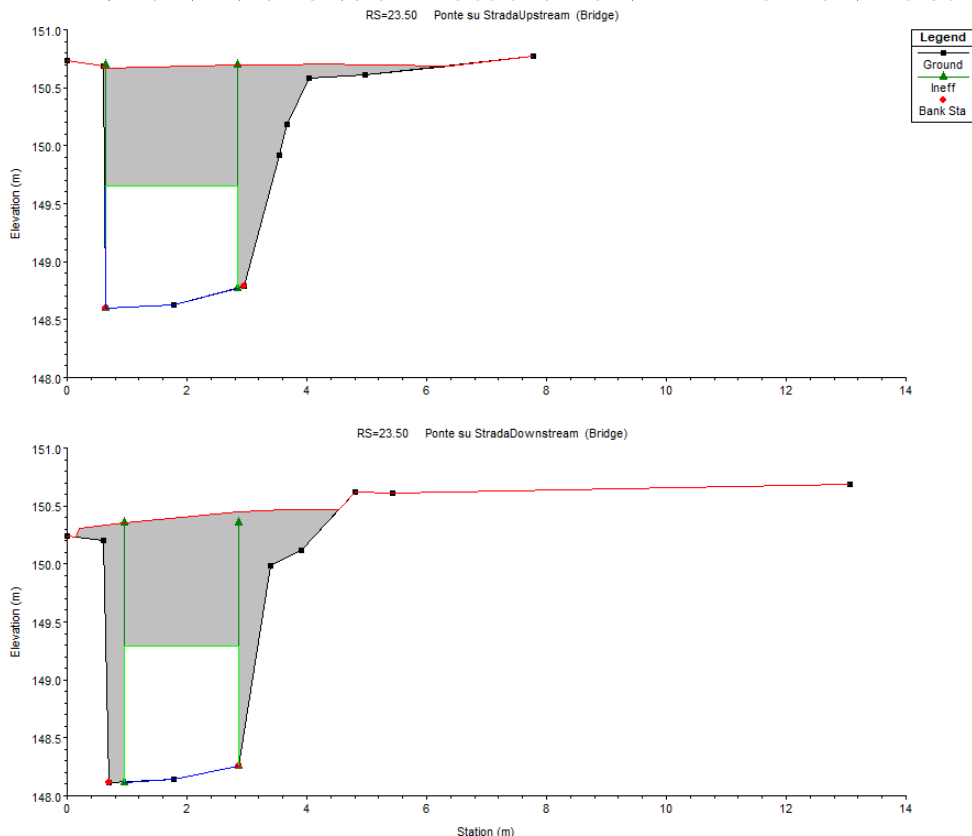
ATTRAVERSAMENTO LUNGO IL FOSSO CALCINARE ALLA SEZIONE 36.50



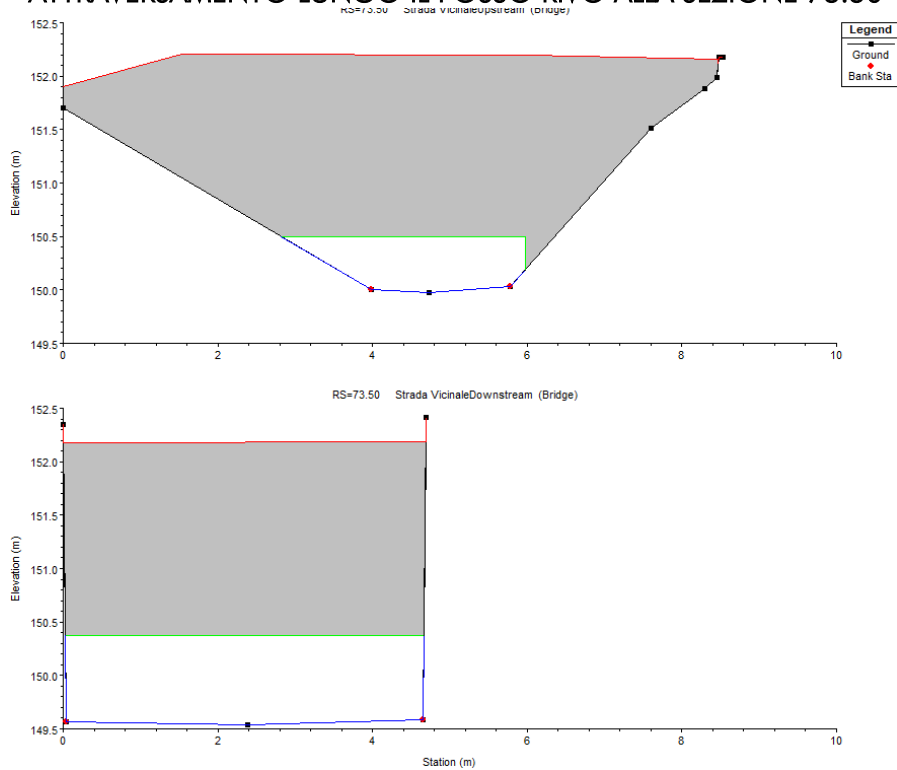
ATTRAVERSAMENTO LUNGO IL FOSSO CALCINARE ALLA SEZIONE 32.50



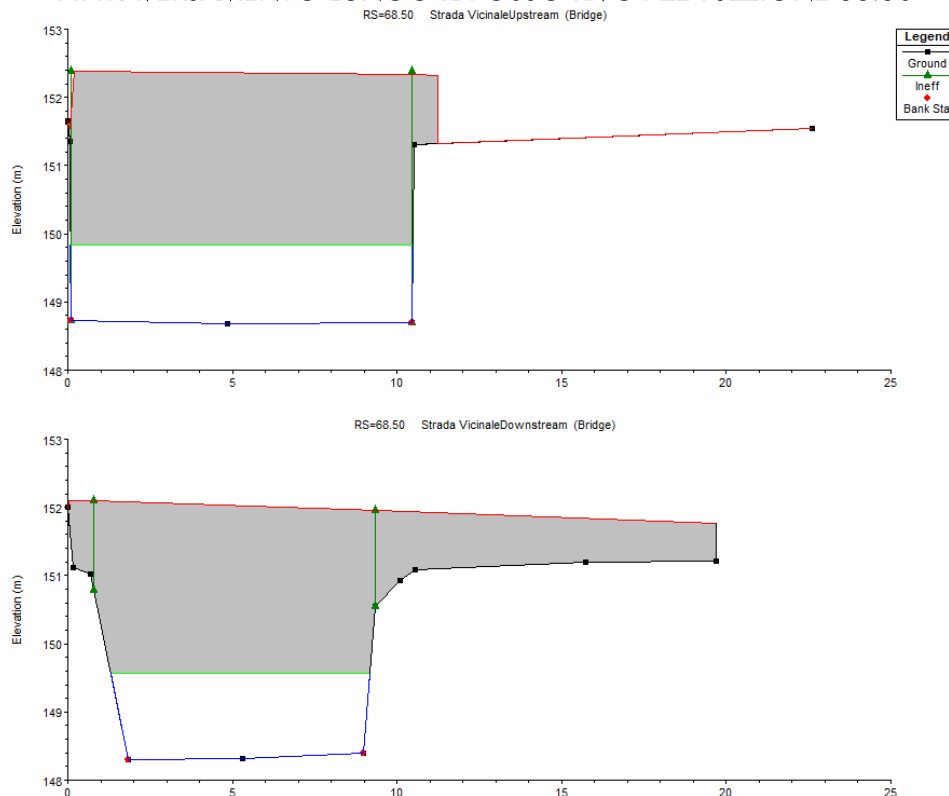
ATTRAVERSAMENTO LUNGO IL FOSSO CALCINARE ALLA SEZIONE 23.50



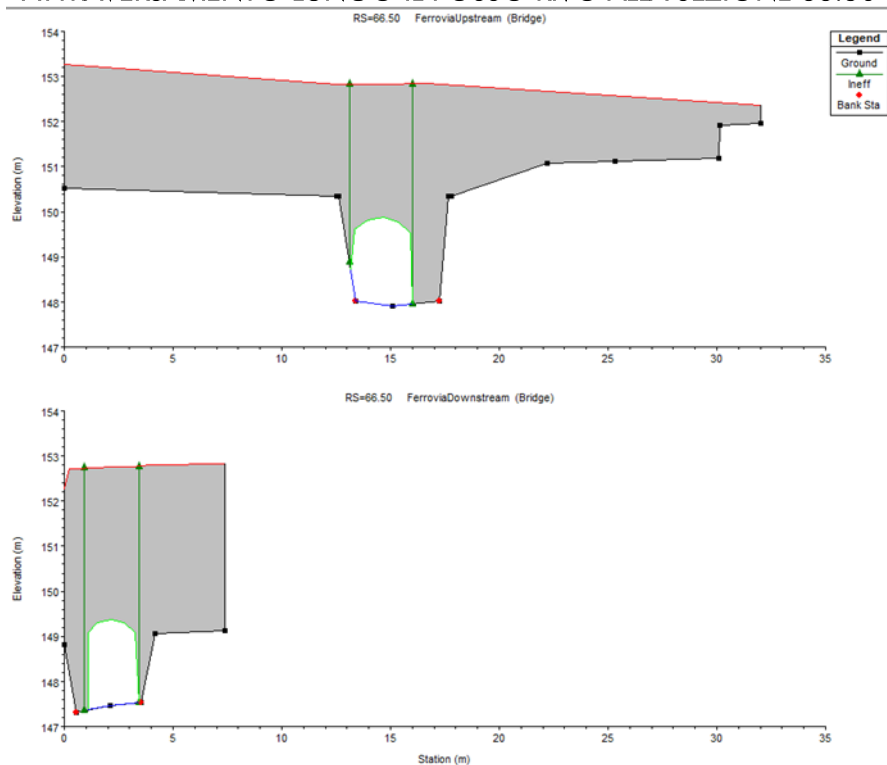
ATTRAVERSAMENTO LUNGO IL FOSSO RIVO ALLA SEZIONE 73.50

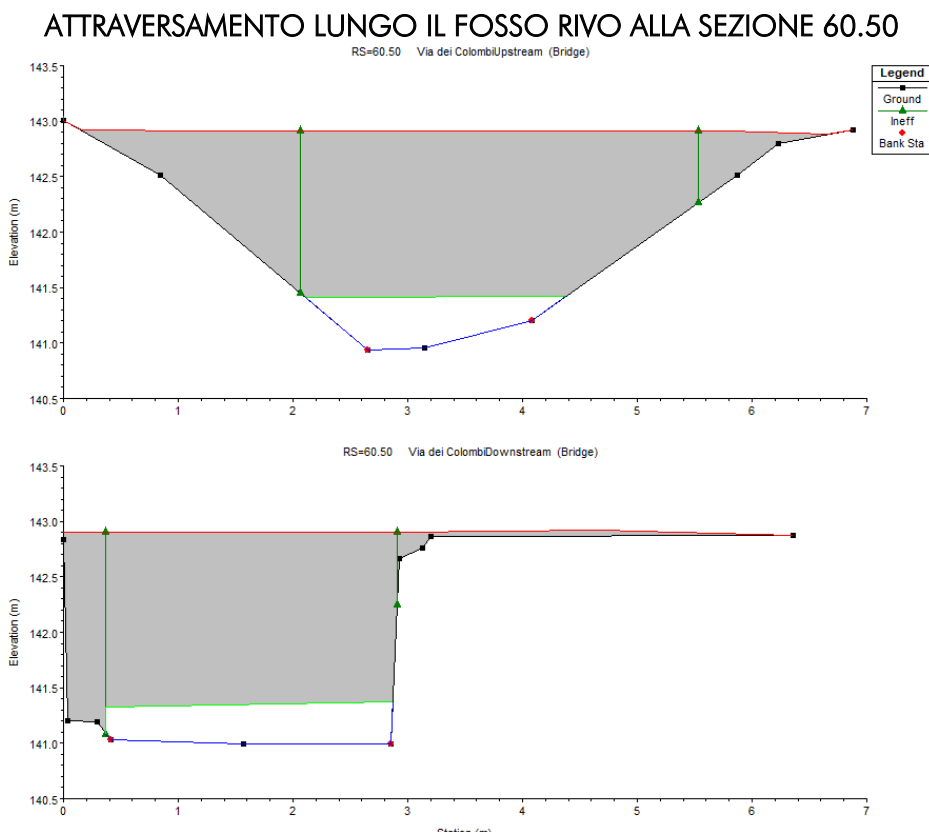


ATTRAVERSAMENTO LUNGO IL FOSSO RIVO ALLA SEZIONE 68.50



ATTRAVERSAMENTO LUNGO IL FOSSO RIVO ALLA SEZIONE 66.50





5.3.1. RISULTATI MODELLAZIONE

Dalle verifiche idrauliche eseguite sul Fosso Rivo, con particolare riferimento all'evento con tempo di ritorno di 200 anni, risulta che nel tratto di monte il deflusso non risulta contenuto sempre all'interno delle sezioni idrauliche del corso d'acqua e pertanto si potrebbero verificare esondazioni generalizzate sia in sinistra che in destra idraulica.

In tale tratto la maggior parte degli attraversamenti non risulta sufficiente a smaltire la portata di piena duecentennale, sia lungo l'asta principale del Fosso Rivo che lungo il Fosso Calcinare.

A valle della confluenza del Fosso Calcinare, lungo l'asta principale del Fosso Rivo fino alla confluenza con il Fiume Nera, il deflusso duecentennale non risulta sempre contenuto all'interno delle sezioni del corso d'acqua con possibili esondazioni sia in sinistra che in destra idraulica. Gli attraversamenti non risultano essere sufficienti a smaltire la portata duecentennale e risultano completamente sormontati dalla corrente con conseguente tracimazione dell'intradosso.

Per quanto riguarda i tratti C1 e C2 che confluiscono nell'asta principale del Rivo è necessario sottolineare che alcuni dei tratti tombati e degli attraversamenti presenti non risultano sufficienti a smaltire la portata duecentennale.

Inoltre, ai fini della stabilità del modello idraulico, i corsi d'acqua Rivo C1 e Rivo C2 sono stati modellati mediante un unico corso d'acqua, inserendo un idrogramma di ingresso come la somma dei due idrogrammi precedentemente definiti. Le sezioni sono state modellate come degli attraversamenti con un valore del coefficiente di scabrezza adatto a sezioni in calcestruzzo.

Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato 2422_E_RRH02 nel quale è possibile visionare i risultati in termini di profilo, sezioni e tabulati dello stato di fatto del Fosso Rivo e Calcinare per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

Per quanto concerne le Carte delle aree di allagamento nello scenario di riferimento si rimanda agli elaborati di dettaglio: 2422_E_DPL02, 2422_E_DPL03 e 2422_E_DPL04.

È necessario sottolineare che le aree allagabili ottenute nella presente fase progettuale in riferimento allo Scenario 0 e cioè ante operam, risultano di entità nettamente inferiore rispetto alle aree allagabili alla base del PAI ad oggi vigente. Le differenze sono conducibili, oltre che a un utilizzo di software differente (le aree allagabili del PAI vigente sono state ricavate sulla base di un modello idraulico implementato con il software FLO2D) ma soprattutto da un diverso approccio sulla scelta progettuale dei dati di input e approccio. Ciò implica la necessità di approfondire tale aspetto al fine di avere un quadro completo e corretto sui benefici che l'opera in progetto porterebbe rispetto ai risultati ad oggi approvati e vigenti.

È necessario sottolineare che le aree allagabili di progetto di seguito riportate sono i risultati ottenuti apportando la scelta progettuale di parzializzare alcuni attraversamenti e di rimettere nelle sezioni di monte degli corsi d'acqua i volumi laminati a valle.

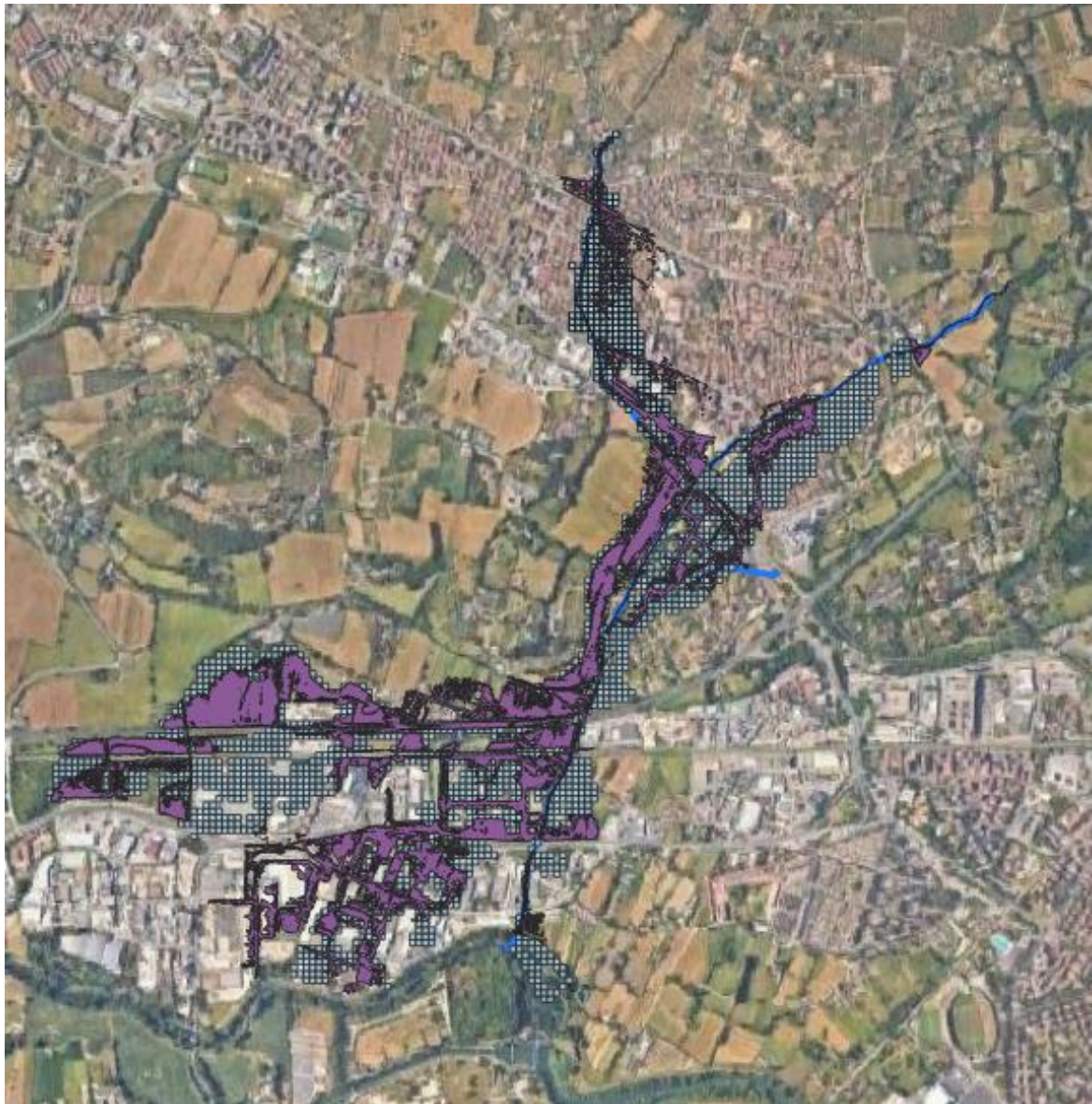


Figura 28 - Sovrapposizione aree allagabili per TR50 anni nello Scenario 0 e aree allagabili Uni Tuscia

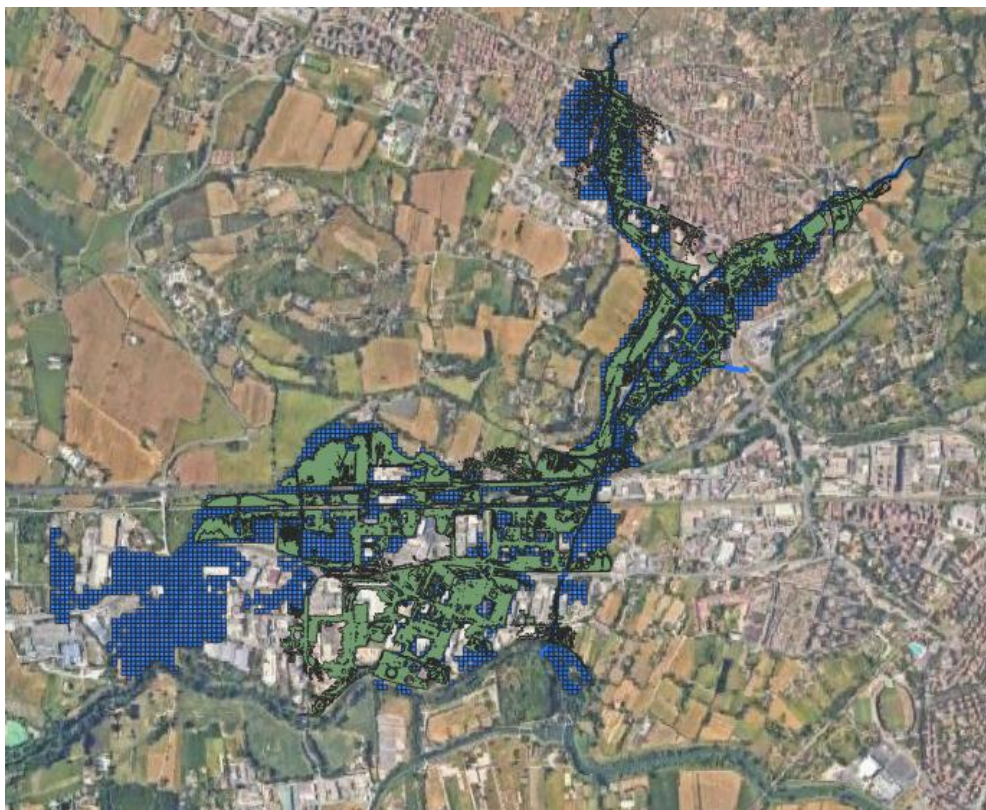


Figura 29 - Sovrapposizione aree allagabili per TR200 anni nello Scenario 0 e aree allagabili Uni Tusciana

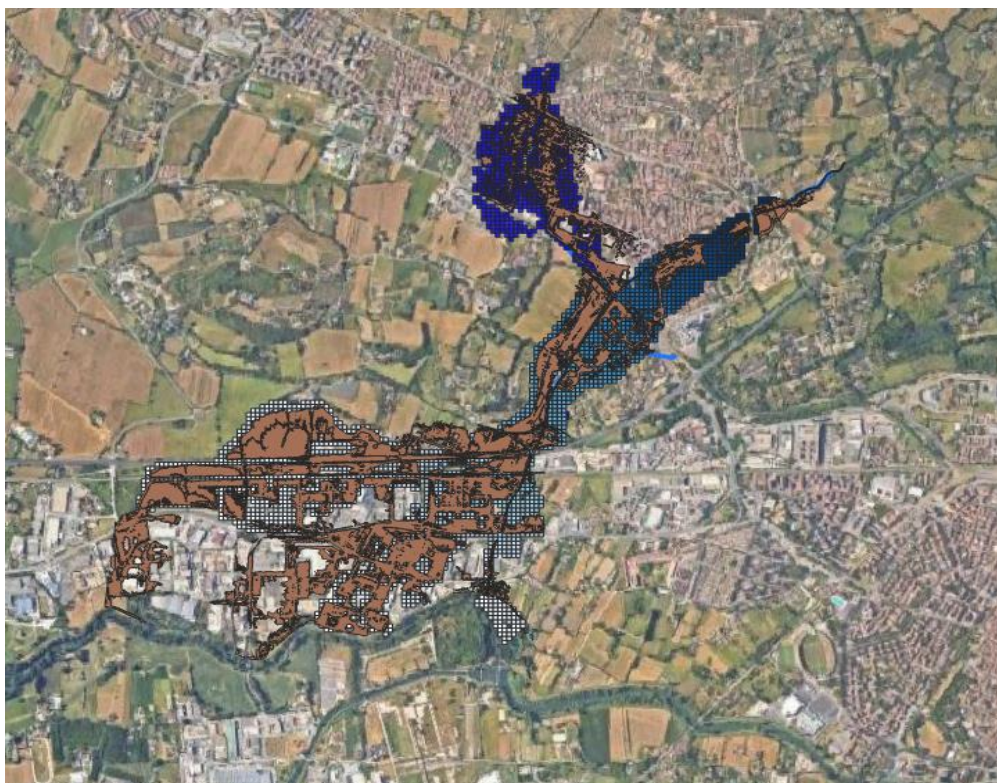


Figura 30 - Sovrapposizione aree allagabili per TR500 anni nello Scenario 0 e aree allagabili Uni Tusciana

5.4. INTERVENTI IN PROGETTO

Sulla base delle risultanze delle verifiche idrauliche condotte nella configurazione dello stato attuale, che hanno mostrato una generale insufficienza dei due corsi d'acqua investigati unitamente alle criticità puntuali riscontrate sulla maggior parte degli attraversamenti, la cui sezione è insufficiente a smaltire i deflussi di piena per tempo di ritorno di 200 anni, sono stati ipotizzati alcuni interventi per la mitigazione del rischio idraulico.

5.4.1. IPOTESI GENERALI DI PROGETTO

Considerate le molteplici criticità idrauliche riscontrate sui corsi d'acqua oggetto di studio, si è provveduto ad individuare una serie di interventi. Oltre ad eseguire una periodica manutenzione degli alvei che allo stato attuale presentano un abbondante accumulo di materiale litoide in alveo, risulta necessario eseguire interventi strutturali che possono essere di diverse tipologie in funzione delle condizioni morfologiche presenti:

- intervento di pulizia generale dell'alveo caratterizzato dalla presenza di vegetazione e soprattutto del materiale litoide accumulatosi nel tempo sul fondo;
- adeguamenti di sezione;
- innalzamento degli argini;
- rifacimento attraversamenti per il contenimento della portata duecentennale con adeguato franco idraulico;
- realizzazione di canali scolmatori;
- realizzazione di vasche di laminazione.

L'obiettivo principale alla base delle proposte per la messa in sicurezza dal rischio idraulico è quello di proporre interventi che riducano il più possibile la portata defluente nei tratti terminali dei corsi d'acqua che attraversano il centro abitato mediante la realizzazione di vasche di laminazione ubicate lungo i corsi d'acqua oggetto di studio.

Gli interventi di progetto sono stati raggruppati in "Interventi a scala di bacino" e "Interventi di progetto – 1° Stralcio".

Negli interventi a scala di bacino (Scenario 2, non oggetto del presente progetto esecutivo) si è ipotizzato la realizzazione di alcune vasche di laminazione sul Fosso Rivo in modo da laminare la portata man mano che si procede verso valle e quindi ridurre il deflusso idrico in termini di portata massima. Nella Figura 31 si riporta in planimetria l'individuazione delle aree su cui realizzare gli interventi previsti unitamente alla superficie utilizzabile per accogliere i deflussi laminati che successivamente verranno rilasciati in alveo.

La realizzazione di bacini di laminazione è tra i principali interventi che si adottano per la risoluzione del rischio idraulico. Con questa tipologia di opere è possibile ridurre i picchi di portata dell'idrogramma di piena, "spostando" un volume d'acqua all'interno dei bacini, per rilasciarlo successivamente, durante la fase di esaurimento della piena.

Per ottenere il volume richiesto dalle analisi contestuali alla progettazione, si opera generalmente in due modi: si scava il fondo del bacino e si realizzano arginature perimetrali di contenimento. Generalmente la progettazione si focalizza ove possibile sul bilanciare scavi e riporti in modo da ridurre il materiale in esubero o da dover approvvigionare dall'esterno. Per tale motivo, si è prevista la realizzazione di vasche in parte in scavo e in parte contenuta da rilevati arginali.

Le vasche di laminazione sono realizzate secondo due tipologie "in linea" ed "in derivazione". In linea ossia realizzando un'arginatura trasversalmente al corso d'acqua, che determini l'allagamento dell'area a tergo della stessa per rigurgito. In derivazione: prevedendo lo sfioro della portata eccedente il valore da mantenere nel corso d'acqua e l'allagamento delle aree attigue al corso d'acqua con tale portata in eccesso. Questa soluzione prevede la realizzazione di un "opera di presa", per permettere la derivazione delle portate nella vasca, e un' "opera di scarico", per lo svtamento della stessa.

La scelta progettuale è stata quella di realizzare le vasche di progetto "in derivazione" al fine di mantenere una separazione tra vasche e corsi d'acqua e gestirle con opportune opere di regolazione presidiate indipendente dall'andamento idrologico del corso d'acqua.

Nell'ambito degli interventi a scala di bacino (Scenario 2, non oggetto del presente progetto esecutivo), oltre alla realizzazione delle due vasche sono previsti ulteriori interventi lungo l'asta principale del Fosso Rivo che prevedono la demolizione e/o costruzione con adeguate dimensioni degli attraversamenti.

Nell'ambito degli interventi di progetto – I Stralcio (Scenario 1) sono inclusi solamente gli interventi attinenti al presente stralcio e valutati in relazione all'eventuale presenza di vincoli ambientali, rischi archeologici e destinazioni urbanistiche nelle aree. In particolare è emerso che le aree di sedime della vasca di laminazione RIV_C insiste su zone a rischio archeologico medio-alto, che, vista la norma di settore, che prevede la realizzazione di un'indagine in situ con scavi e trincee per una superficie fino ad un massimo del 40 % delle aree interessate dalle opere (nel caso di specie di circa 6 ± 7 ha), al momento non si ritiene che l'intervento suddetto possa essere preso in considerazione tenuto conto dei tempi imposti dal finanziamento assentito con fondi PNRR. Da ciò scaturisce la scelta di realizzare ad oggi per la mitigazione del rischio idraulico lungo i corsi d'acqua di progetto solamente la vasca di laminazione RIV_A.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti dalla modellazione idraulica condotta considerando lo scenario 1:

- **Scenario 1:** Vasca di laminazione RIV_A lungo il Fosso Rivo per un tempo di ritorno pari a 50,200 e 500 anni;

La scelta progettuale riprende le ipotesi progettuali dello Studio di fattibilità preliminare e del PFTE, come riportata nella figura di seguito riportata ripresa dal PFTE. La finalità della presente fase progettuale riguarda lo Scenario 1 e cioè la sola realizzazione della vasca di laminazione RIV_A.

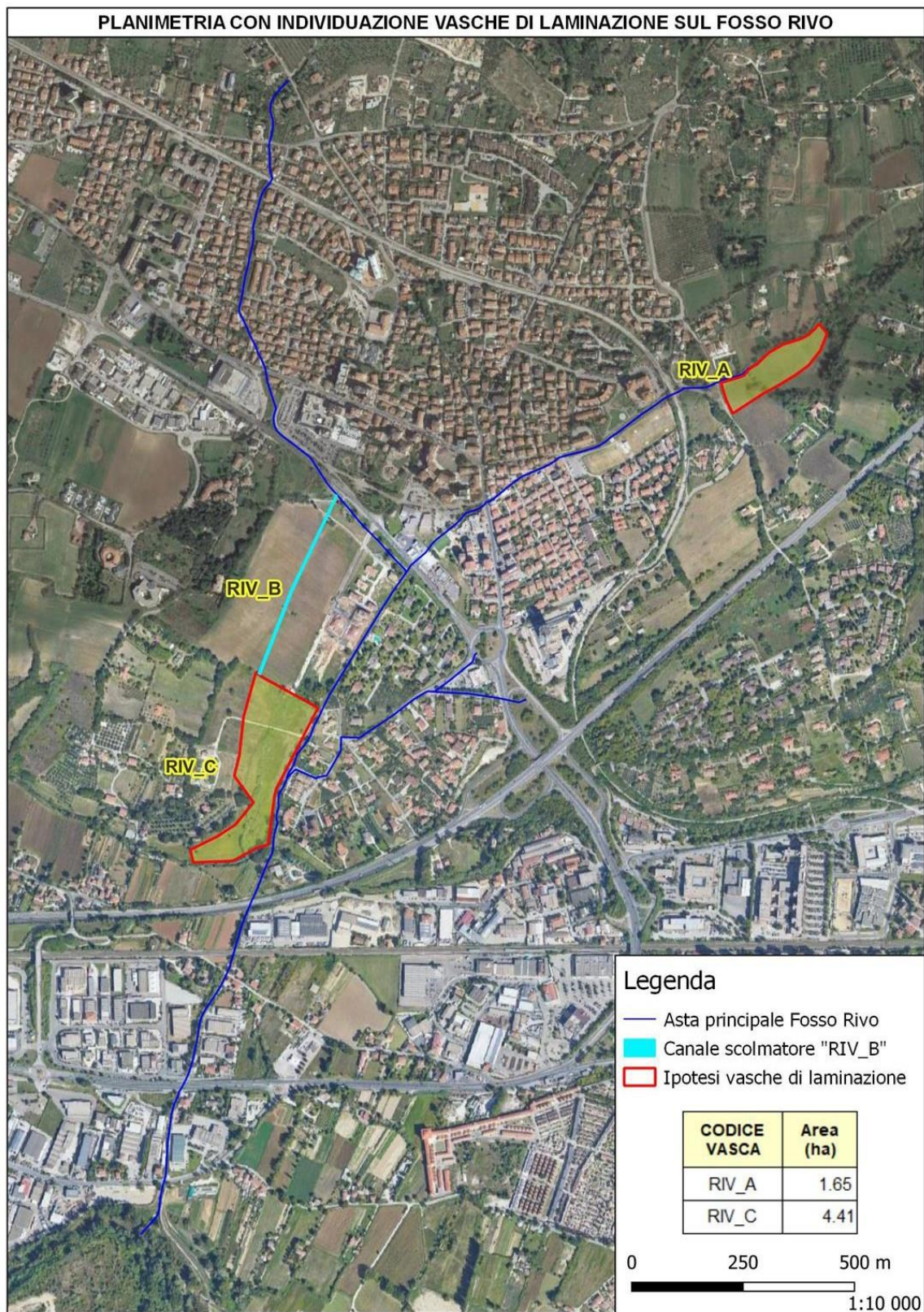


Figura 31 - Planimetria con ubicazione delle vasche di laminazione lungo Fosso Rivo

5.5. MODELLO IDRAULICO – SCENARIO 1

Per quanto riguarda il Fosso Rivo sono state individuate tre aree da utilizzare come bacini di laminazione, così come riportato nella planimetria precedente, che consentiranno di abbassare la portata massima man mano che si procede verso valle fino alla confluenza con il Fiume Nera.

Lo Scenario 1 prevede solamente l'intervento di realizzazione della vasca di laminazione RIV_A ipotizzata nel tratto più a monte del fosso Rivo.

È stata condotta una verifica idraulica in moto vario del Fosso Rivo, che si estende dalla sezione RS 86 alla sezione RS 42, considerando come condizione di ingresso al modello la portata duecentennale laminata dalla medesima vasca pari a 6.31 mc/s (a fronte di una portata della configurazione dello stato attuale pari a 32.60 mc/s).

La vasca di laminazione, realizzata su un'area di circa 1.5 ha, ha una superficie utile interna, al netto delle arginature, di 1.4 ha, delimitata da un'arginatura di contenimento avente uno sviluppo pari a circa 400 m. La quota sommitale dell'arginatura di contenimento è pari a 154.50 m s.l.m. Il livello massimo di invaso all'interno della vasca è pari a 153.75 m s.l.m., viene quindi assicurato un franco di 75 cm. Il volume di invaso disponibile, con riferimento al livello di massimo invaso è pari a 14.500 m³, contro i 14.000 m³ del PFTE.

Il trasferimento della portata in eccesso dall'alveo del fosso Rivo alla vasca di laminazione avviene mediante una soglia di sfioro fissa. La lunghezza utile della soglia sfiorante è pari a 20 m, la quota di sfioro è fissata a 156.20 m s.l.m. ed è completamente libera; il funzionamento dell'opera è quindi puramente idraulico.

Per la limitazione delle portate transitanti a valle dell'opera di invaso, si prevede la realizzazione di un manufatto di controllo in alveo. Tale manufatto funziona come una luce tarata, stabilizzando la sezione d'alveo in modo da fissare la scala di deflusso e regolare i livelli che si instaurano a monte, al fine di favorire il trasferimento di portata verso la cassa e controllare le portate rilasciate a valle. La sezione della luce materializzata dal restringimento ha forma trapezia e una quota di sommità pari a 157.31.

In corrispondenza del manufatto, si prevede il rivestimento del fondo e delle sponde del fosso Rivo mediante massi ciclopici cementati. Il medesimo rivestimento è previsto a valle della vasca di dissipazione, lato cassa. Per assicurare il minimo impatto ambientale dovuto dai fondi interno alla vasca, si prevede la messa in atto di alcuni interventi di sistemazione del piano vasca (inerbimento con idrosemina del fondo interno alla vasca).

Con la realizzazione della suddetta vasca di laminazione si otterrà un importante effetto di laminazione con il transito di una portata nel tratto di valle nettamente inferiore rispetto allo stato attuale considerando che dei 32.60 mc/s in ingresso alla sezione 86 del Fosso Rivo, ben 6.28 mc/s vengono trattenuti dalla vasca di laminazione RIV_A.

Nella Figura 32 è riportato lo schema di sintesi delle portate sulla base dei risultati condotti con la modellazione idraulica in moto vario sul tratto di monte del fosso Rivo che si estende dalla sezione RS 82 a RS 74. La vasca di laminazione è stata inserita all'interno del modello attraverso l'elemento "Storage area", assegnandole come dato di input la curva dei volumi precedentemente ricavate.

Si sono considerate le medesime condizioni al contorno e di ostruzione degli attraversamenti come riportate nello Scenario 0.

La verifica idraulica condotta ha permesso di valutare l'andamento del pelo libero e le caratteristiche idrauliche sezione per sezione.

Per maggiori dettagli sull'andamento del profilo, sezioni e tabulati si rimanda all'elaborato di riferimento 2422_E_HO_RRH02.

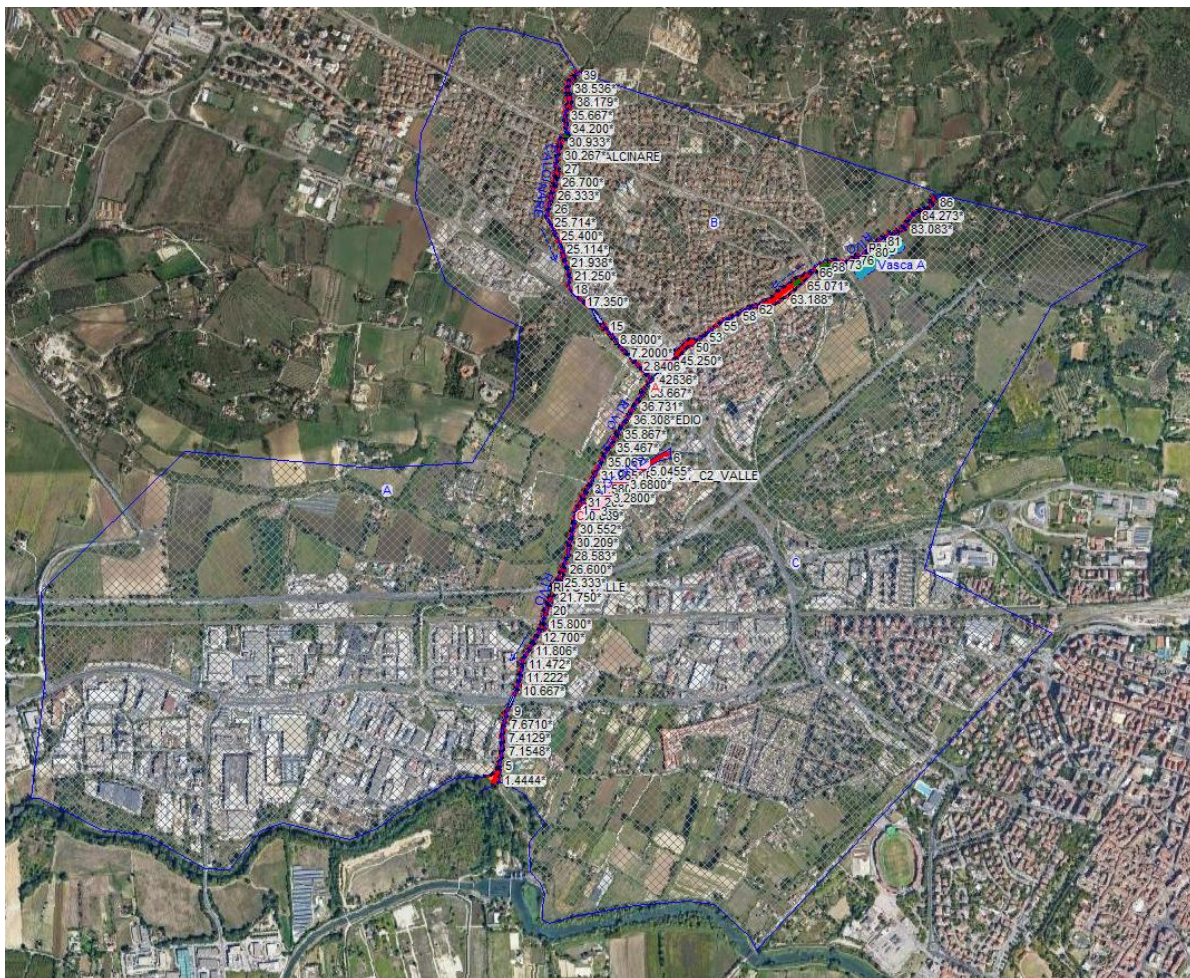


Figura 32 - Scenario 1 – Modello idraulico con ubicazione della vasca RIV_A

SCHEMA DI SINTESI PORTATE FOSSO RIVO E CALCINARE

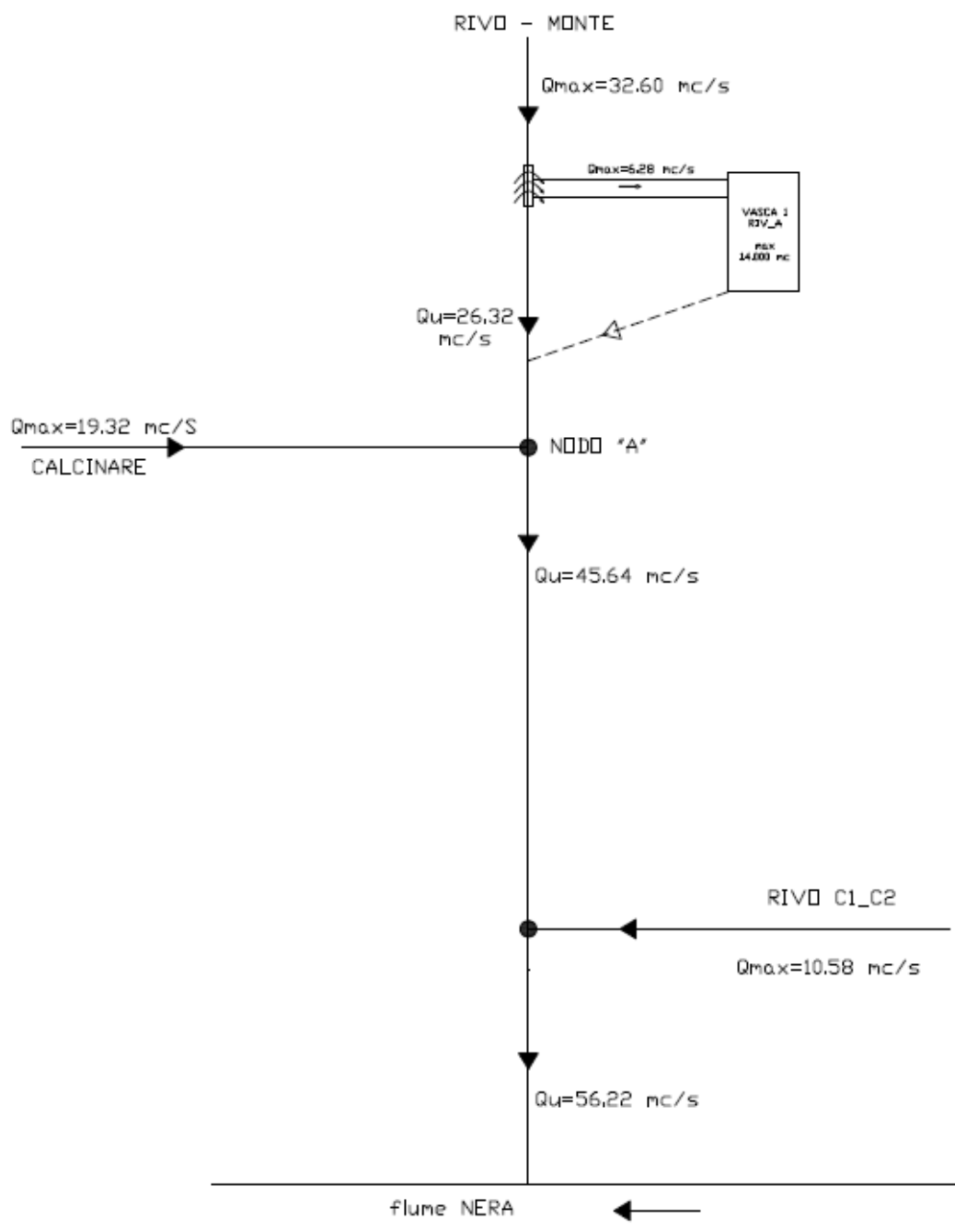


Figura 33 - Schema di sintesi delle portate in ingresso e in uscita con l'effetto di laminazione della vasca RIV_A

5.5.1. RISULTATI MODELLAZIONE

Alla luce dei risultati ottenuti nella configurazione di progetto considerando il funzionamento della vasca di laminazione nel tratto di monte del Fosso Rivo (codice vasca RIV_A) si denota un miglioramento delle condizioni di deflusso del corso d'acqua fino alla confluenza con il Fosso Calcinare a meno di alcune criticità puntuali costituite da alcuni attraversamenti insufficienti, come si evidenzia dalle figure di seguito riportate dei risultati dello Scenario 0 e Scenario 1 (RIV_A) per il tempo di ritorno pari a 200 anni.

L'intervento proposto unitamente all'eventuale rifacimento degli attraversamenti insufficienti potrebbe consentire un sensibile effetto di mitigazione del rischio idraulico in tutto il tratto di monte del Fosso Rivo.

Per maggiori dettagli sui risultati della modellazione in termini di profilo, sezioni e tabulati si rimanda all'elaborato di riferimento 2422_E_H0_RRH02

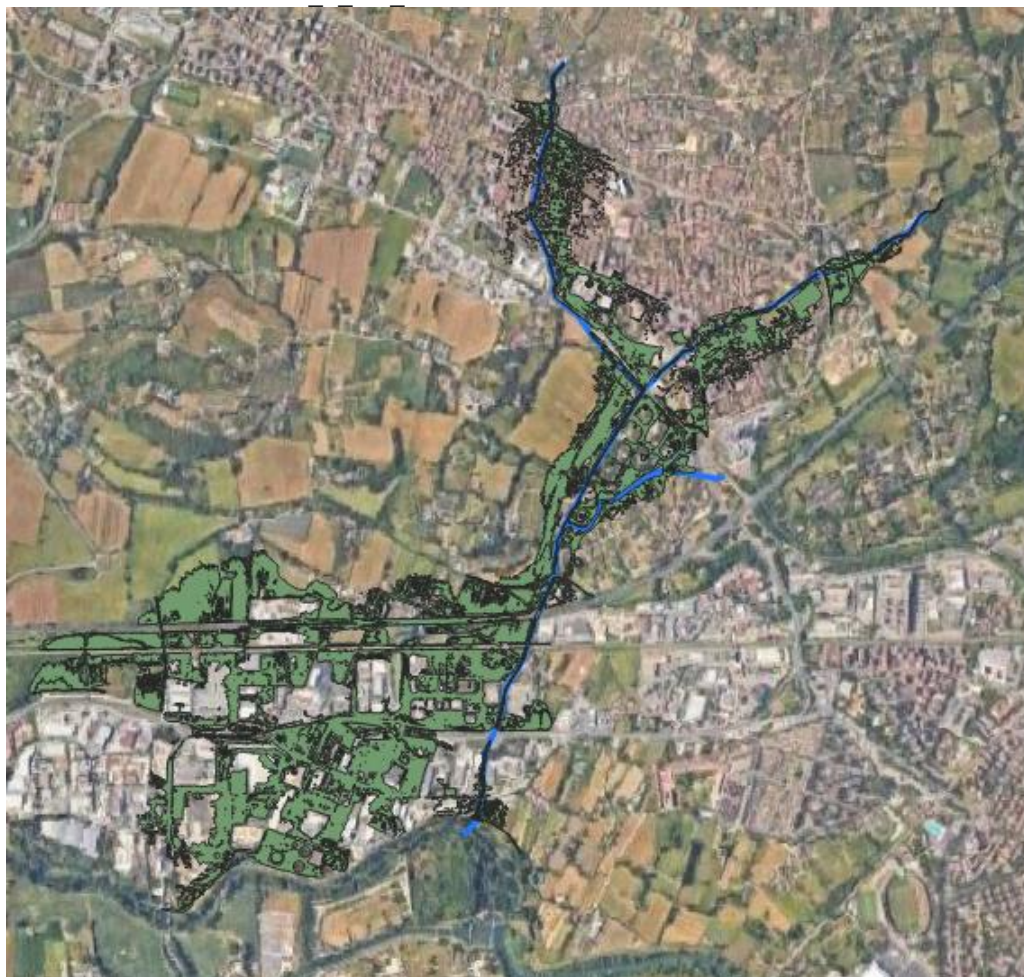


Figura 34 - Aree di allagamento nello Scenario 0 per Tr200 anni

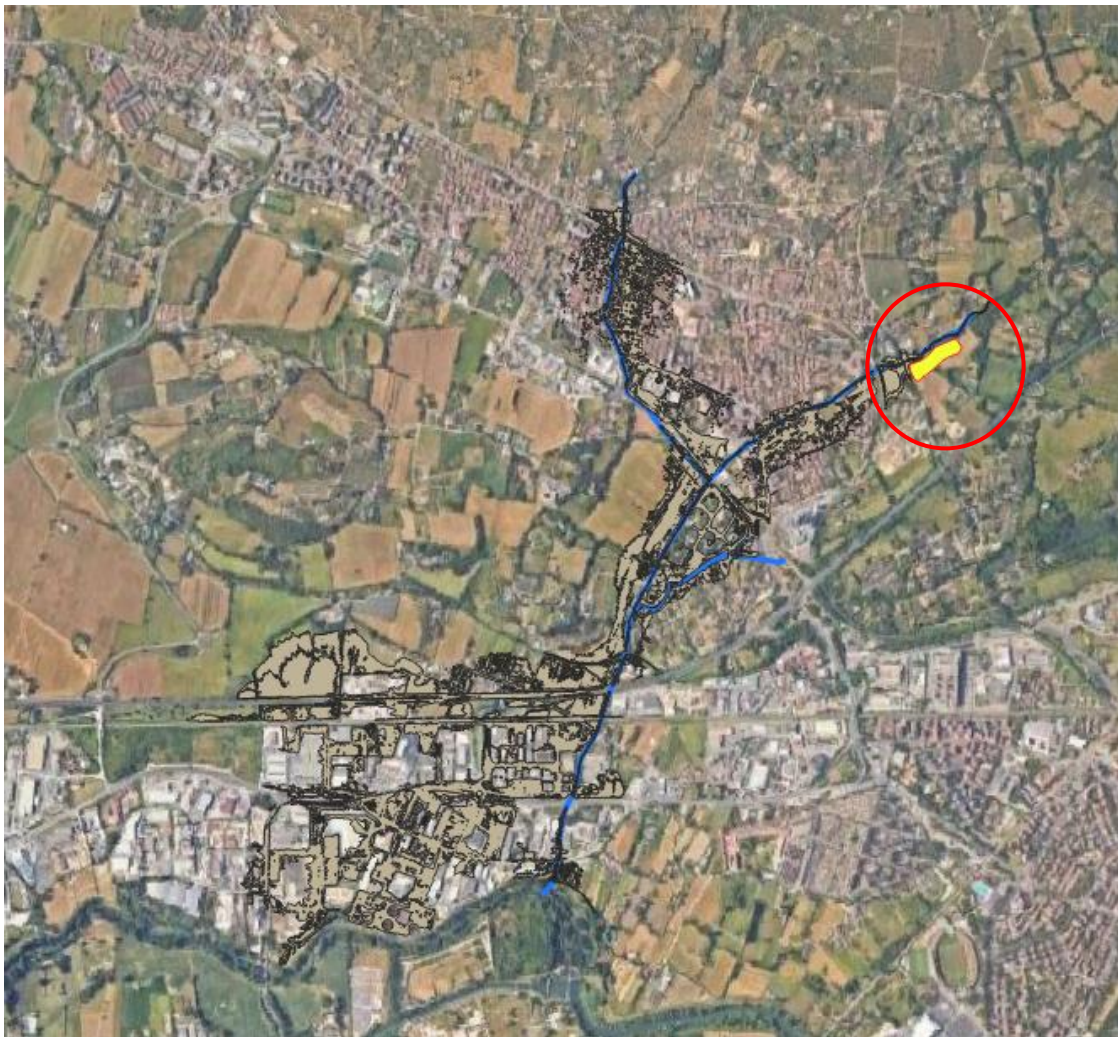


Figura 35 - Aree di allagamento nello Scenario 1 per T_r200 anni con ubicazione della vasca RIV_A

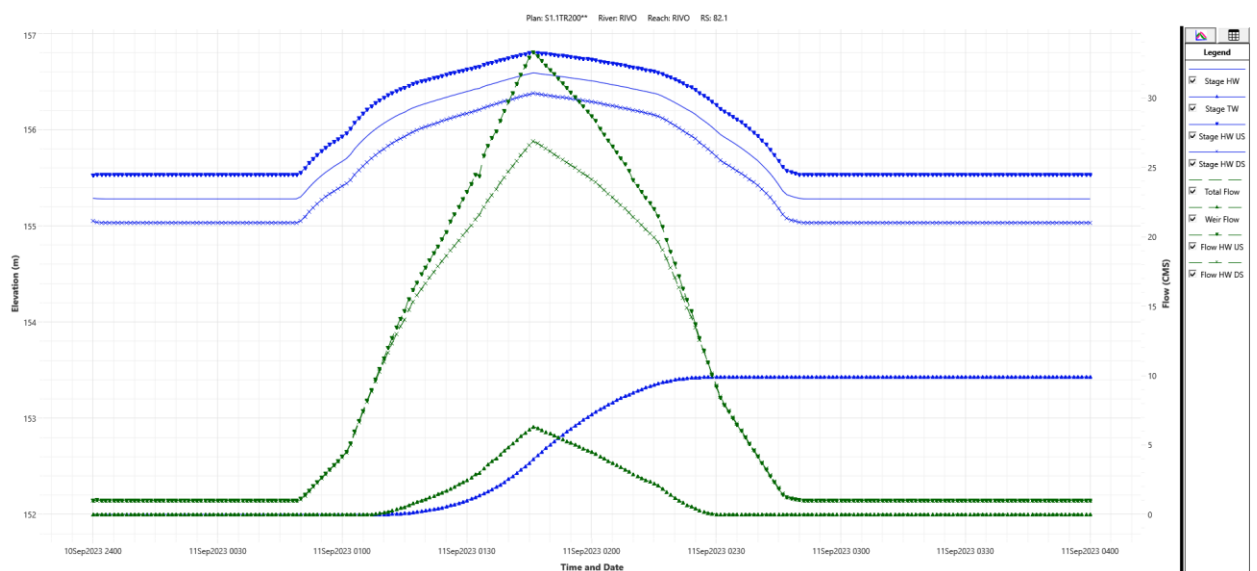


Figura 36 - Idrogramma sfioratore laterale per T_r200 anni

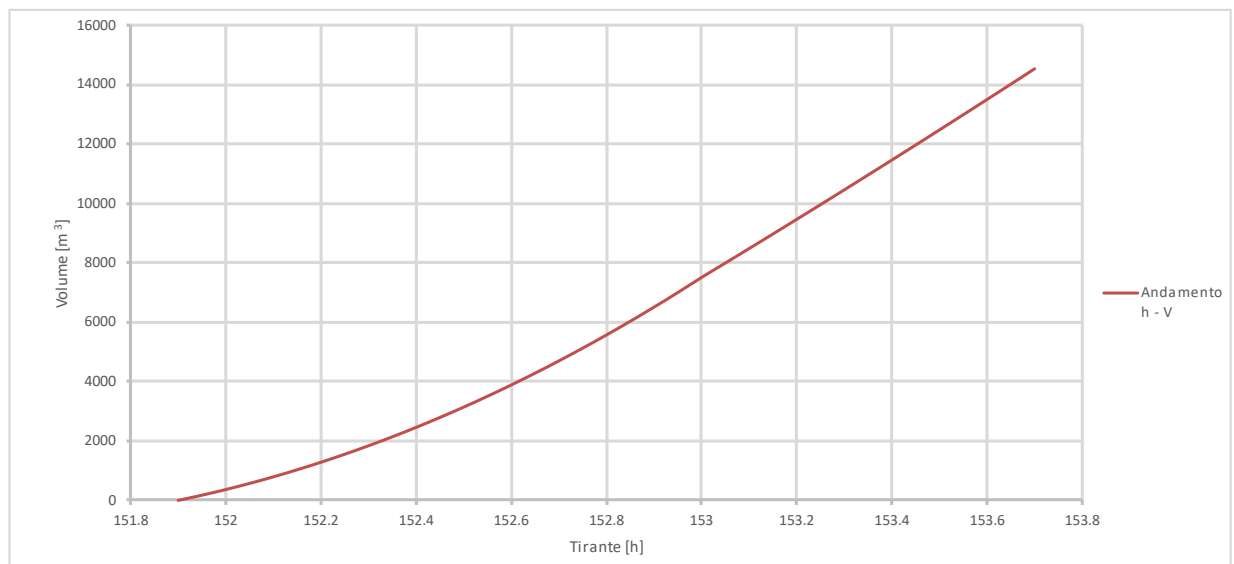


Figura 37 - Andamento tiranti volumi -vasca RIV A

5.5.2. CONFRONTO PFTE – PROGETTO ESECUTIVO

Rispetto al PFTE, nel progetto esecutivo è stato considerato di modificare la pendenza delle arginature perimetrali della vasca di laminazione, passando dalla pendenza di 2:1 alla pendenza di 1:1. In questo modo è stato possibile aumentare la capacità di immagazzinamento interna della vasca passando dai 14.000 mc del PFTE ai 14.500mc del progetto esecutivo, come mostrato nel grafico di seguito riportato.

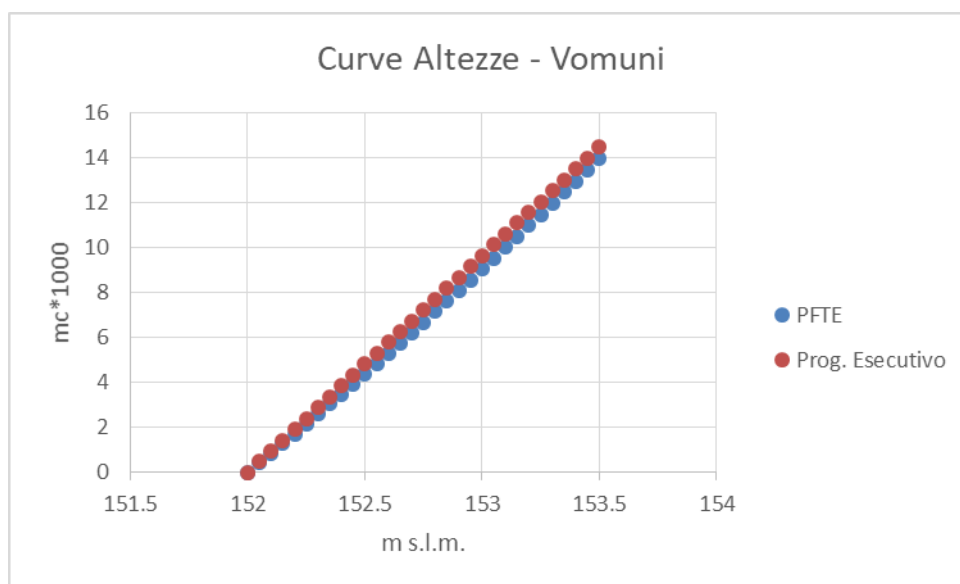


Figura 38 - Curva Altezza - Volumi di invaso - Confronto tra PFTE e Prog. Esecutivo

Di seguito riportiamo un grafico dal quale si evince l'effetto del maggior volume della vasca. In particolare si confrontano le condizioni del PFTE e quelle del progetto esecutivo. Il grafico evidenzia come il livello in vasca parta da un valore comune in condizioni di tempo asciutto (152 m slm) e si attesti, in condizioni di evento meteorico con TR 200 anni, ai 153.48 m slm nella situazione proposta dal PFTE mentre scende a 153.43 nella condizione proposta nel progetto esecutivo. Si passa dunque da un battente di 1.48 m ad un battente di 1.43 m.

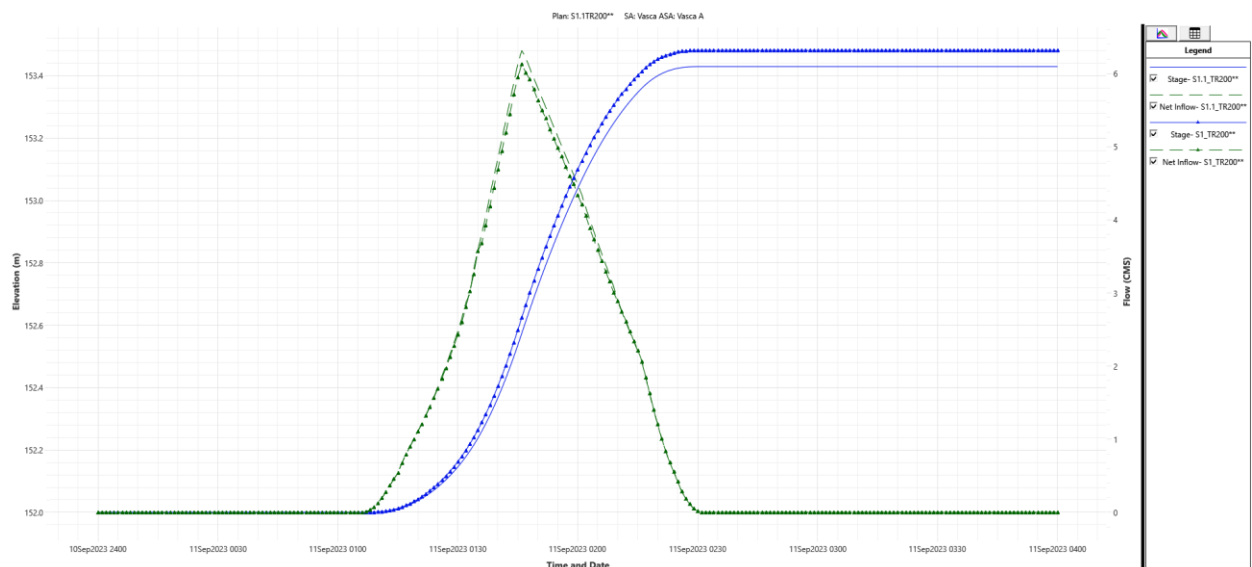


Figura 39 - Andamento delle portate e dei livelli all'interno della vasca - Confronto tra PFTE e Progetto esecutivo

5.5.3. TEMPO DI PERMANENZA DELL'ACQUA NELLA VASCA

La verifica sul tempo di permanenza delle acque derivate all'interno della cassa, fornisce una idonea valutazione sull'effettivo rischio di saturazione degli argini e della loro messa a regime permanente nei confronti dei possibili moti di filtrazione e dei rischi di eventuali sifonamenti. Si rammenta inoltre che la cassa a riempimento completato prevede una limitata altezza massima di battente idrico di 1.43 m.

Il tempo complessivo di permanenza delle acque all'interno delle arginature è dato dalla somma del tempo di riempimento e dal tempo di svuotamento successivo della cassa. Dall'idrogramma della portata in arrivo si stima un tempo di riempimento inferiore alle 2 ore a cui si deve sommare un tempo di svuotamento completo di circa 24 ore, come da calcolo alle differenze finite.

Di seguito si riporta Tabella di calcolo Aree - Volumi della vasca e il calcolo del tempo di svuotamento della vasca

Vasca di progetto RIV_A			SUPERFICIE (mq)	3320
			PERIMETRO (m)	511
Quota	tirante	Volume impronta di base	Volume presenza sponde	Volume totale
m s.m.	m	mc	mc	mc
151.9	0	0	0	0
151.95	0.05	172.67	1.28	173.95
152.00	0.10	358.69	5.11	363.80
152.05	0.15	558.06	11.50	569.56
152.10	0.20	770.78	20.44	791.22
152.15	0.25	996.84	31.94	1028.78
152.20	0.30	1236.25	45.99	1282.24
152.25	0.35	1489.01	62.60	1551.60
152.30	0.40	1755.11	81.76	1836.87
152.35	0.45	2034.56	103.48	2138.04
152.40	0.50	2327.36	127.75	2455.11
152.45	0.55	2633.50	154.58	2788.08
152.50	0.60	2953.00	183.96	3136.96
152.55	0.65	3285.84	215.90	3501.73
152.60	0.70	3632.02	250.39	3882.41
152.65	0.75	3991.56	287.44	4279.00
152.70	0.80	4364.44	327.04	4691.48
152.75	0.85	4750.67	369.20	5119.87
152.80	0.90	5150.24	413.91	5564.15
152.85	0.95	5563.17	461.18	6024.35
152.90	1.00	5989.44	511.00	6500.44
152.95	1.05	6429.06	563.38	6992.43
153.00	1.10	6882.02	618.31	7500.33
153.05	1.15	7309.52	675.80	7985.32
153.10	1.20	7737.02	735.84	8472.86
153.15	1.25	8164.52	798.44	8962.96
153.20	1.30	8592.02	863.59	9455.61
153.25	1.35	9019.52	931.30	9950.82
153.30	1.40	9447.02	1001.56	10448.58
153.35	1.45	9874.52	1074.38	10948.90
153.40	1.50	10302.02	1149.75	11451.77
153.45	1.55	10729.52	1227.68	11957.20
153.50	1.60	11157.02	1308.16	12465.18
153.55	1.65	11584.52	1391.20	12975.72
153.60	1.70	12012.02	1476.79	13488.81
153.65	1.75	12439.52	1564.94	14004.46
153.70	1.80	12867.02	1655.64	14522.66

Tabella tempo di svuotamento vasca con n									
tempo tot	tempo tot	tempo	volume	volume	paratoie piane di altezza 0,80 e base				
cumulato	cumulato	parziale	parziale	residuo	h2	h1	q	q	
ore	sec	sec	mc	mc	m	m	mc/sec	media	
0.04	127.63	127.63	518.20	14522.66	1.80	1	2.05	2.03	
0.07	257.04	129.41	515.65	14004.46	1.75	0.95	2.01	1.99	
0.13	388.35	131.31	513.09	13488.81	1.70	0.9	1.97	1.95	
0.20	521.69	133.34	510.54	12975.72	1.65	0.85	1.93	1.91	
0.29	657.22	135.53	507.98	12465.18	1.60	0.8	1.89	1.87	
0.40	795.09	137.87	505.43	11957.20	1.55	0.75	1.85	1.83	
0.53	935.50	140.41	502.87	11451.77	1.50	0.7	1.81	1.79	
0.68	1078.65	143.15	500.32	10948.90	1.45	0.65	1.77	1.75	
0.85	1224.78	146.13	497.76	10448.58	1.40	0.6	1.73	1.70	
1.04	1374.16	149.38	495.21	9950.82	1.35	0.55	1.68	1.66	
1.25	1527.12	152.96	492.65	9455.61	1.30	0.5	1.63	1.61	
1.49	1684.01	156.90	490.10	8962.96	1.25	0.45	1.59	1.56	
1.74	1845.29	161.28	487.54	8472.86	1.20	0.4	1.54	1.51	
2.02	2011.47	166.18	484.99	7985.32	1.15	0.35	1.49	1.46	
2.33	2192.24	180.77	507.90	7500.33	1.10	0.3	1.43	1.40	
2.66	2374.77	182.53	491.99	6992.43	1.05	0.25	1.38	1.35	
3.01	2559.65	184.88	476.09	6500.44	1.00	0.2	1.32	1.29	
3.39	2747.70	188.05	460.19	6024.35	0.95	0.15	1.26	1.22	
3.80	2940.10	192.41	444.29	5564.15	0.90	0.1	1.19	1.15	
4.24	3138.92	198.82	428.39	5119.87	0.85	0.05	1.12	1.08	
4.70	3347.60	208.68	412.48	4691.48	0.80	0	1.04	0.99	
5.20	3569.34	221.73	396.58	4279.00	0.75		0.94	0.89	
5.73	3806.25	236.91	380.68	3882.41	0.70		0.85	0.80	
6.29	4061.02	254.77	364.78	3501.74	0.65		0.76	0.72	
6.89	4337.11	276.10	348.88	3136.96	0.60		0.67	0.63	
7.54	4639.11	302.00	332.97	2788.08	0.55		0.59	0.55	
8.23	4973.20	334.09	317.07	2455.11	0.50		0.51	0.47	
8.97	5348.06	374.86	301.17	2138.04	0.45		0.44	0.40	
9.77	5776.29	428.23	285.27	1836.87	0.40		0.37	0.33	
10.65	6277.20	500.90	269.36	1551.60	0.35		0.30	0.27	
11.60	6882.22	605.02	253.46	1282.24	0.30		0.24	0.21	
12.66	7647.27	765.06	237.56	1028.78	0.25		0.18	0.16	
13.87	8684.83	1037.56	221.66	791.22	0.20		0.13	0.11	
15.30	10268.65	1583.82	205.76	569.56	0.15		0.08	0.06	
17.15	13331.84	3063.19	189.85	363.80	0.10		0.05	0.03	
20.49	24076.77	10744.93	173.95	173.95	0.05		0.02	0.01	

Tabella 3 - Andamento curva Aree - Volumi

Il tempo complessivo di permanenza dell'acqua all'interno degli argini della cassa viene stimato quindi in meno di 26 ore. Volendo valutare un tempo di permanenza effettivamente sollecitante l'innesco di fenomeni di filtrazione, corrispondente ad un'altezza superiore al 50% di riempimento (stimabile a favore di sicurezza corrispondente ad un volume del 50% di accumulo) si stima un tempo di permanenza inferiore alle 5 ore.

6. CONCLUSIONI

Il modello idraulico proposto nel presente progetto esecutivo parte dalle condizioni definite nel PFTE e recepisce le migliori offerte in sede di gara. In particolare, in conseguenza della modifica della pendenza delle sponde della vasca è stata ridefinita la capacità di invaso della vasca che passa dai 14.000 mc del PFTE ai 14.500 del Progetto esecutivo.

In considerazione di ciò, dal momento che nulla è stato modificato sulle caratteristiche dell'opera di regolazione in alveo e dell'opera di presa (sfioratore laterale) e di conseguenza non varia la portata

scolmata durante gli eventi di piena, la sola variazione che si registra è la diversa distribuzione dei volumi sfiorati all'interno della vasca. Si passa dunque da un battente in vasca di 1.48 m ad un battente di 1.43 m, considerando un evento caratterizzato da TR 200 anni. In analogia a quanto appena asserito ed in particolare al fatto che i volumi scolmati rimangono gli stessi, si conferma che non cambiamo le condizioni a valle dell'opera di regolazione, né in termini di portata né in termini di fasce di allagabilità.