

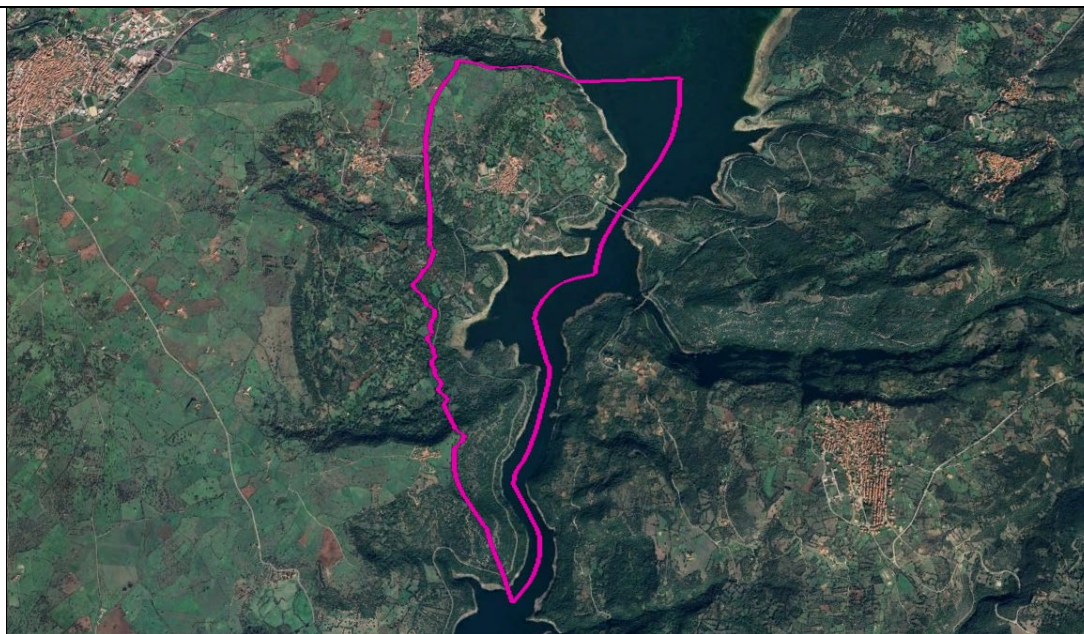
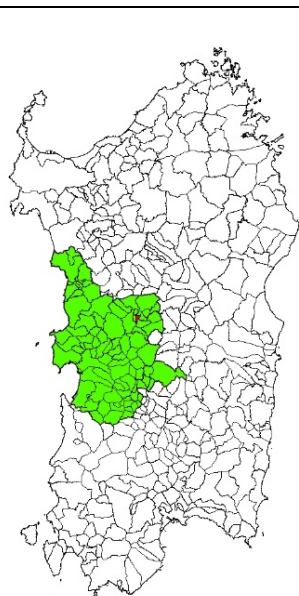


# COMUNE DI TADASUNI

PROVINCIA DI ORISTANO

Via San Michele, 09080, Tadasuni (OR)

## STUDIO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO – IN CONFORMITÀ AGLI ARTICOLI 8 E 37 DELLE NTA DEL PAI



SOCIETÀ INCARICATA		PROFESSIONISTI		COMMITENTE	
<div><p>territorio - ambiente - servizi</p></div> <div>SEDE OPERATIVA: VIA MICHELANGELO N.17/C, 09023, MONASTIR (SU) TEL. 070-4619002 INFO@GEOLOGIKA.EU - GEOLOGIKA@PEC.IT</div> <div><b>GEOLOGIKA srls</b> S.L. Via Cuba 20 09038 Serramanna (SU) S.OP. Via Michelangelo 17/C Monastir (SU) Tel. 348 5425302 - 328 1699466 CF/P.IVA 03612320923</div>		GEOL. FABRIZIO CALLAI 		COMUNE DI TADASUNI VIA SAN MICHELE SNC, 09080, TADASUNI (OR)	
		GEOL. FABIO FANELLI 		RESPONSABILE DEL SERVIZIO TECNICO	
		ING. ANDREA LIANAS 		GEOM. GRAZIANO PIRAS	
<div></div>		COLLABORATORI: DOTT. MARCO COSTA			
ELABORATO		TITOLO ELABORATO			
1024-RII-02-2-IDRO		RELAZIONE ILLUSTRATIVA STUDIO IDRAULICO			
2	INTEGRAZIONI	18.03.2025	FANELLI F. COSTA M.	LIANAS A. FANELLI F.	CALLAI F.
1	INTEGRAZIONI	13.02.2025	FANELLI F. COSTA M.	LIANAS A. FANELLI F.	CALLAI F.
0	PRIMA EMISSIONE	05.06.2024	FANELLI F. COSTA M.	LIANAS A. FANELLI F.	CALLAI F.
REV	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## INDICE

1	GENERALITÀ .....	3
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO ED UBICAZIONE DELL'AREA .....	4
3	INQUADRAMENTO NEI PIANI DI ASSETTO IDROGEOLOGICO .....	5
4	OBBIETTIVI E METODOLOGIE DI LAVORO .....	9
4.1	PROCEDURA PER LA PERIMETRAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA .....	9
4.1.1	ANALISI IDROLOGICA .....	9
4.1.2	ANALISI IDRAULICA .....	16
5	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ .....	26
6	DEFINIZIONE DEL DANNO POTENZIALE .....	28
7	DEFINIZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO .....	31
8	INTEGRAZIONI .....	33

## 1 GENERALITÀ

---

Il COMUNE DI TADASUNI, nell'ambito della "REDAZIONE DEL PIANO URBANISTICO COMUNALE IN ADEGUAMENTO AL PPR E AL PAI", ha affidato, con la Determina n. 43 del 06.05.2024, alla società GEOLOGIKA S.R.L.S., con sede legale in Via Cuba 20 a Serramanna e sede operativa in Via Michelangelo 17/C a Monastir, P. IVA 03612320923, l'incarico professionale per la predisposizione dello **"STUDIO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO AI SENSI DELL'ART. 8, COMMA 2 E 2-BIS, NONCHÉ DELL'ART. 37 COMMA 3 DELLE NORME TECNICHE DI ATTUAZIONE DEL PAI"**.

Lo studio di assetto idrogeologico è accompagnato dalla **"REVISIONE DEL RETICOLO IDROGRAFICO AI SENSI DELL'ART. 30 TER DELLE NORME TECNICHE DI ATTUAZIONE DEL PAI"**.

Il presente documento, **RELAZIONE ILLUSTRATIVA – STUDIO IDRAULICO**, illustra dettagliatamente le modalità e i criteri utilizzati per definire il rischio idraulico su tutto il territorio comunale di Tadasuni.

Il processo di valutazione del rischio idraulico è stato condotto attraverso un'analisi approfondita che ha coinvolto diverse fasi e strumenti metodologici. L'analisi ha incluso l'esame delle caratteristiche geomorfologiche e idrologiche del territorio, l'uso del suolo e la presenza di infrastrutture critiche. Sono stati utilizzati modelli matematici avanzati per simulare il comportamento idraulico dei corsi d'acqua e dei sistemi di drenaggio, fornendo una mappa dettagliata delle zone a rischio.

La redazione del presente studio si basa sulle disposizioni relative alla pianificazione urbanistica esplicate nell'art. 8, commi 2 e 2 bis, delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI (di seguito NTA). Tale norma prescrive che, in sede di adozione dei nuovi strumenti urbanistici generali e di varianti generali agli strumenti urbanistici generali vigenti, è obbligatorio procedere alla redazione degli studi comunali di assetto idrogeologico.

Come previsto dall'art. 37, comma 3, gli studi comunali di assetto idrogeologico eseguiti da enti locali, di cui all'articolo 8, commi 2 e 2 bis, sono da considerarsi a tutti gli effetti varianti al PAI.



## 2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO ED UBICAZIONE DELL'AREA

L'area geografica di indagine è ubicata nella Sardegna centro-occidentale, nell'area storico-geografica del Guilcier-Barigadu, più precisamente nel Comune di Tadasuni, il cui territorio si estende nella sponda occidentale del lago Omodeo, formatosi a seguito dello sbarramento artificiale del Fiume Tirso.

Il territorio comunale si estende su una superficie di circa 4,62 km<sup>2</sup>, ad una quota media di circa 180 m s.l.m., con una popolazione stimata di circa 138 abitanti (fonte ISTAT, 2023). Posizionato sul versante orientale dell'altopiano di Abbasanta, il Comune di Tadasuni confina a nord con Ghilarza, a est con Boroneddu e Ghilarza, e a sud e ovest con Ardauli e Sorradile. Il territorio è caratterizzato da una rigogliosa vegetazione tipica della macchia mediterranea, ed è prevalentemente sfruttato per attività agricole.

TERRITORIO	
PROVINCIA	Oristano
COMUNE	Tadasuni
COMUNI CONFINANTI	Boroneddu, Ghilarza, Ardauli, Sorradile
CARTOGRAFIA	
I.G.M.    SCALA 1:25.000	Foglio 515 Sezione I – Ghilarza, Foglio 515 Sezione II – Busachi
C.T.R.N.    SCALA 1:10.000	Sezione 515 070 – Ghilarza, Sezione 515 110 – Santa Chiara

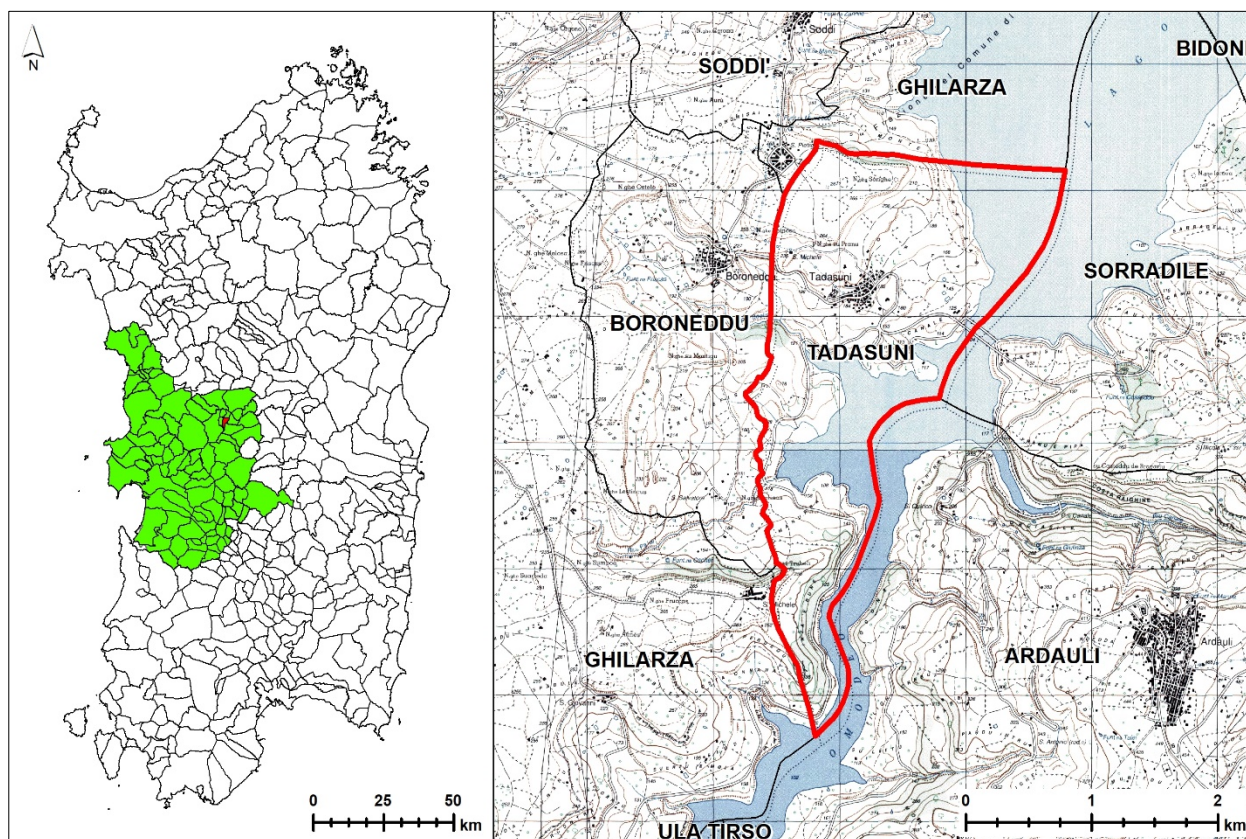


Figura 1 - Inquadramento territoriale del Comune di Tadasuni.

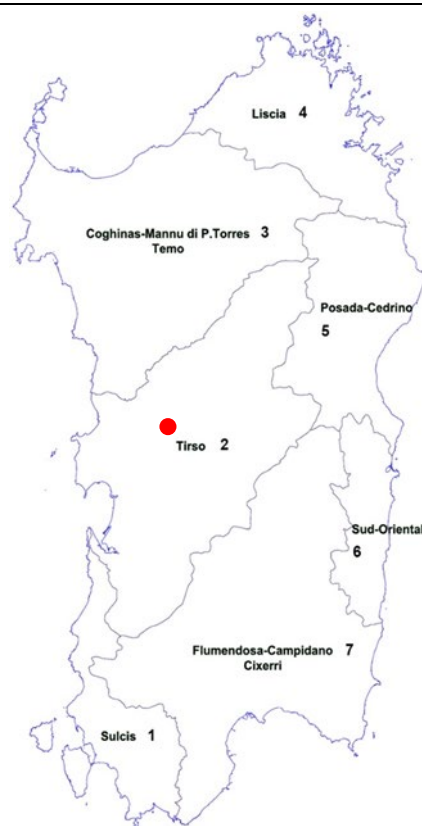


### 3 INQUADRAMENTO NEI PIANI DI ASSETTO IDROGEOLOGICO

Con la delibera n. 45/57 datata 30 ottobre 1990, la Giunta Regionale ha suddiviso il Bacino Unico Regionale in sette Sub-Bacini. Ogni Sub-Bacino è caratterizzato da omogeneità geomorfologiche, geografiche e idrologiche generali, ma presenta anche notevoli differenze in termini di estensione territoriale.

Sulla base di questa suddivisione, il territorio comunale di Tadasuni è compreso nel Sub-Bacino 2 – Tirso (Figura 2).

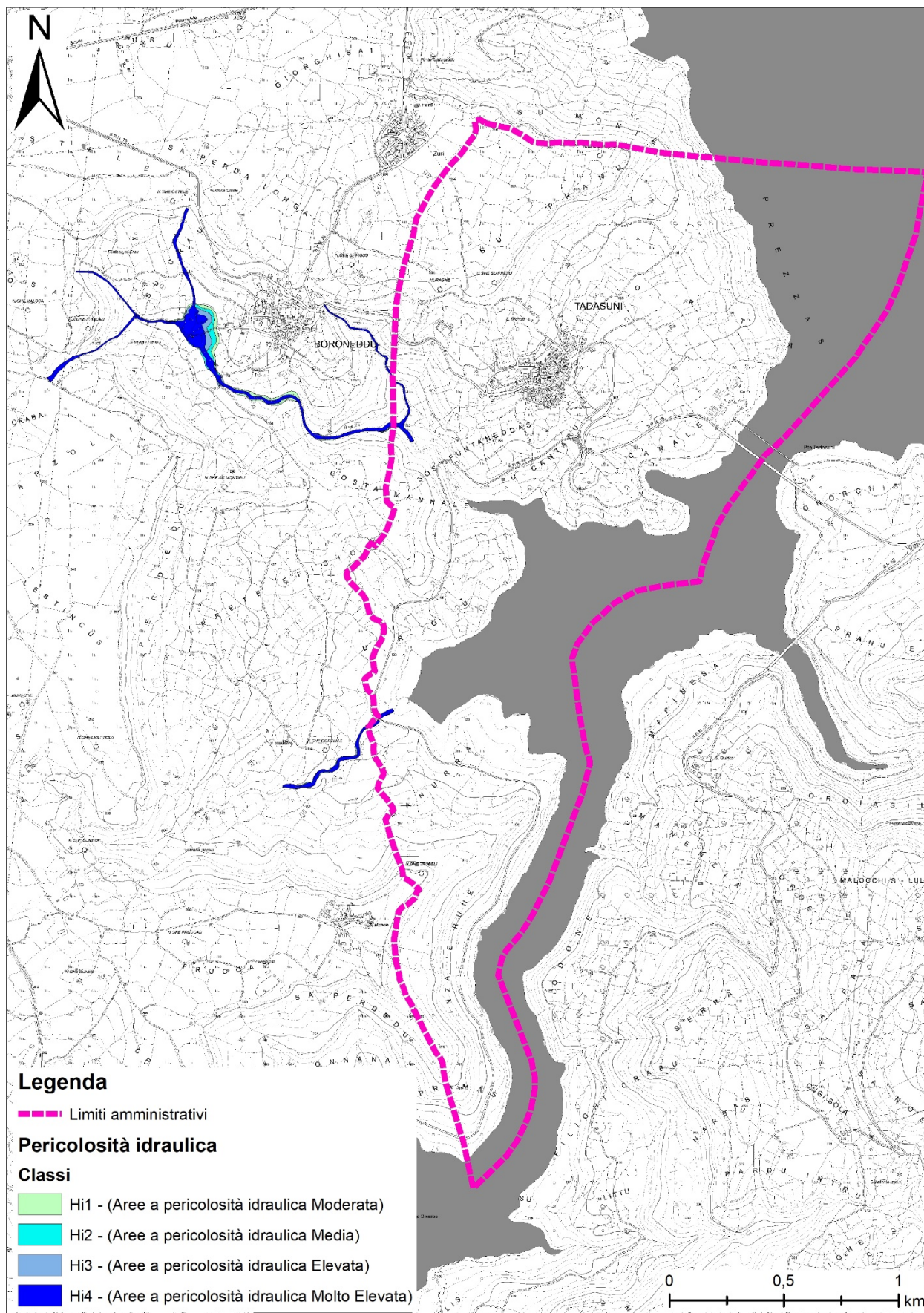
Con Delibera n. 1 del 13.12.2011, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna, ha approvato in via definitiva, per il territorio comunale di Boroneddu, lo "Studio di compatibilità idraulica e geologica-geotecnica del territorio comunale per il procedimento di adozione del nuovo Piano Urbanistico Comunale (P.U.C.), ai sensi dell'art. 8 c. 2 delle Norme Tecniche di Attuazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)". Tale studio comprende una parte del territorio comunale di Tadasuni, identificando due aree come zone a pericolosità idraulica elevata (**Hi<sub>4</sub>**), le quali sono delineate nella Figura 3.



**Figura 2 - Suddivisione del territorio Regionale in Sub-Bacini. Il punto rosso indica il territorio indagato.**

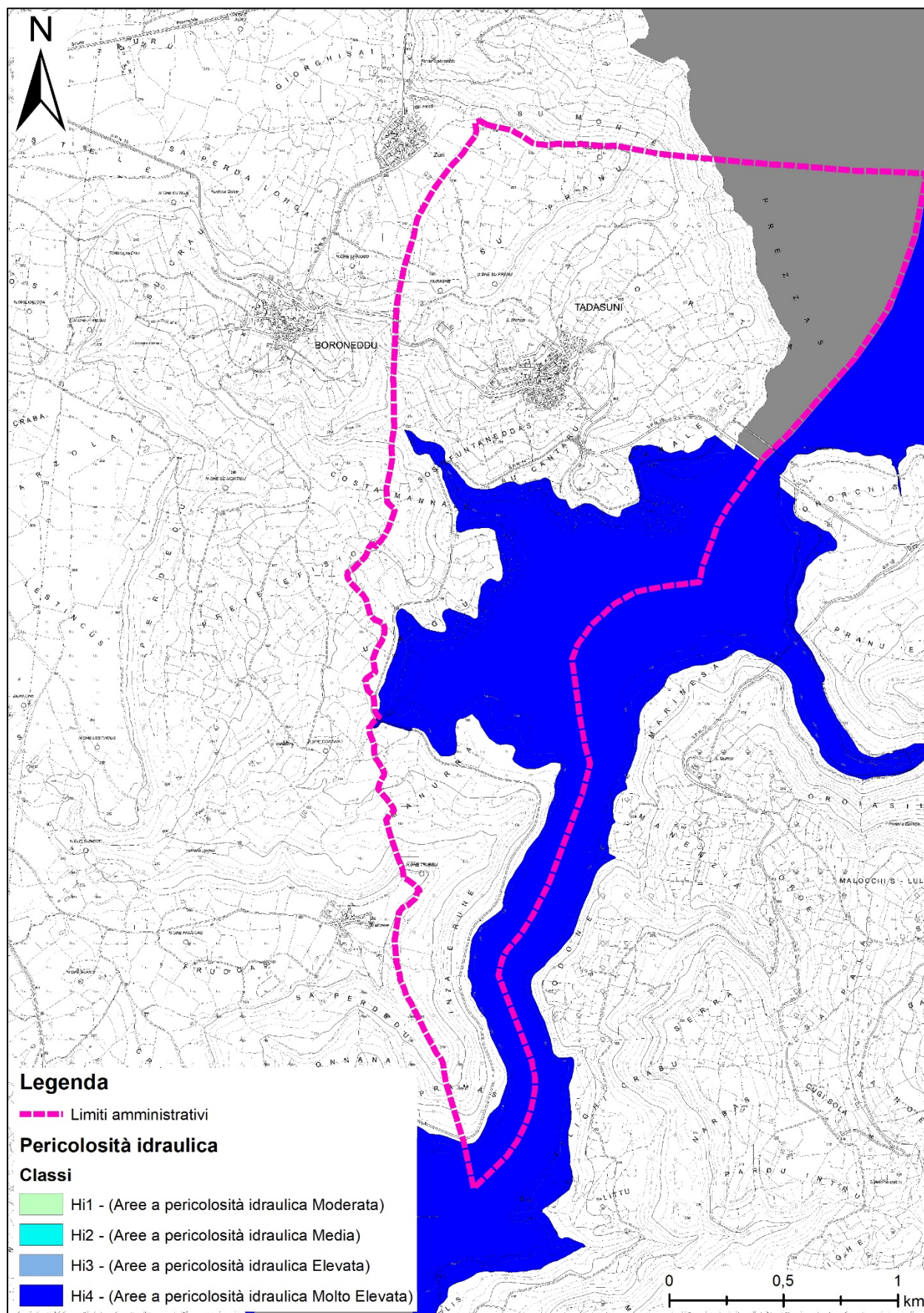
Con Delibera n. 119 del 05.11.2019 il Presidente della Regione Sardegna, ai sensi della legge regionale n. 19 del 2006, approva la variante al PAI del comune di Ula Tirso, in ottemperanza all'art. 37, comma 3 lett. b, delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI, per analisi di dettaglio relative a tutto il territorio comunale Ula Tirso finalizzate all'individuazione delle aree a pericolosità idraulica e da frana e costituita dagli elaborati tecnici indicati nella parte dispositiva di cui alla citata Deliberazione del Comitato Istituzionale n.24 del 17.07.2019. Tale studio comprende anche una porzione del territorio comunale di Tadasuni, identificando le zone corrispondenti al Lago Omodeo e al suo intorno come aree a elevata pericolosità idraulica (**Hi<sub>4</sub>**), come mostrato nella Figura 4.

Nella Figura 5 è rappresentata la cartografia aggiornata a dicembre 2023 disponibile su Sito Sardegna Geoportale, la quale deriva dalla mosaicatura degli studi precedentemente menzionati. Da questa rappresentazione emerge che, all'interno del territorio del Comune di Tadasuni, le aree delimitate a pericolosità idraulica sono classificate come **Hi<sub>4</sub>**.



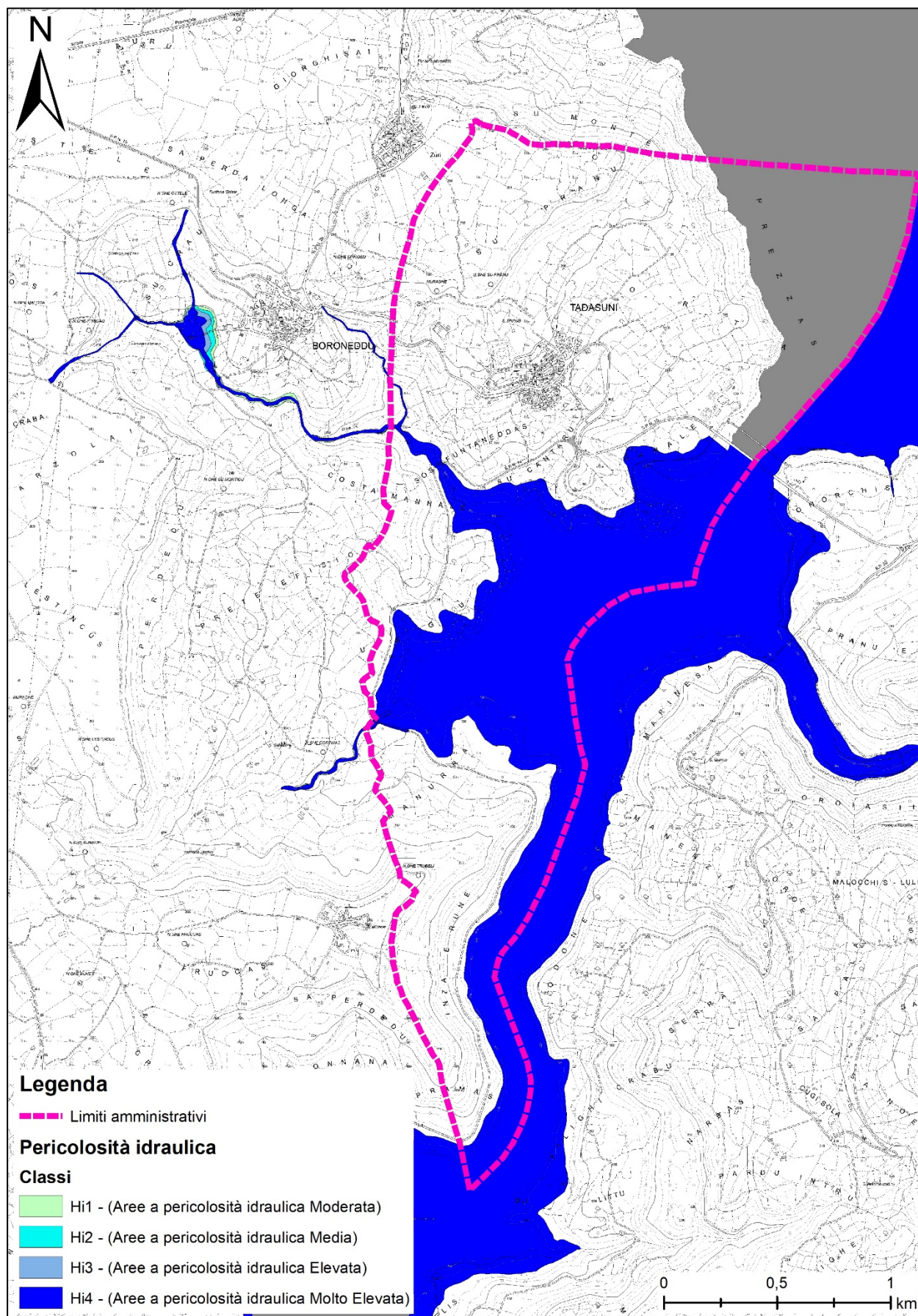
**Figura 3 – Stralcio della cartografia PAI relativa al pericolo idraulico approvata con Delibera n. 1 del 13.12.2011, in scala 1:20.000.**





**Figura 4 - Stralcio della cartografia PAI relativa al pericolo idraulico approvata con Delibera n. 119 del 05.11.2019, in scala 1:20.000.**





**Figura 5 – Stralcio della cartografia PAI (Rev. Dicembre 2023) relativa al pericolo idraulico, in scala 1:20.000.**

## 4 OBIETTIVI E METODOLOGIE DI LAVORO

Lo studio è stato predisposto per soddisfare le indicazioni riportate nelle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del PAI. Pertanto, l'analisi dell'assetto idraulico, finalizzata all'aggiornamento della pianificazione di settore a scala di dettaglio, è stata estesa a tutto il territorio comunale, ai sensi dell'art. 8, comma 2 e 2 bis, delle NTA del PAI.

### 4.1 PROCEDURA PER LA PERIMETRAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA

Per quanto concerne la metodologia adottata per pervenire alla perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica, è stata utilizzata la procedura definita dalle LINEE GUIDA PER L'ADEGUAMENTO DEI PIANI URBANISTICI AL PPR E AL PAI, in conformità a quanto stabilito dalle Norme Tecniche di Attuazione del PAI.

Per la determinazione della pericolosità idraulica si è operato secondo le seguenti fasi successive:

1. Analisi idrologica: comprendente la determinazione dei bacini idrografici, la determinazione delle altezze di pioggia e le portate al colmo per tempi di ritorno indagati;
2. Analisi idraulica: permette la determinazione delle aree di esondazione, attraverso specifiche analisi dei profili di corrente in moto permanente.

#### 4.1.1 ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica si basa innanzitutto sulla definizione del reticolo idrografico di riferimento. Come definito dall'art. 1 della Delibera n. 3 del 30.07.2015 il Comitato istituzionale dell'Autorità di Bacino della Sardegna stabilisce che per le finalità di applicazione delle Norme di Attuazione del PAI, il reticolo idrografico di riferimento per l'intero territorio regionale è rappresentato dall'insieme degli elementi idrici contenuti nello strato informativo 04\_ELEMENTO\_IDRICO.shp del DBGT\_10k\_Versione 0.1 (Database Geotopografico 1:10.000), e nella cartografia dell'Istituto Geografico Militare (IGM), Carta topografica d'Italia – serie 25V edita per la Sardegna dal 1958 al 1965.

Il presente studio si basa sull'aggiornamento del reticolo idrografico condotto ai sensi dell'art. 30 ter delle Norme di Attuazione del PAI, i cui elaborati sono trasmessi unitamente alla presente documentazione.

Per la valutazione delle portate di calcolo, si è operato utilizzando procedure GIS, seguendo le seguenti fasi:

1. Prima fase: individuazione delle superfici scolanti elementari.
2. Seconda fase: aggregazione delle superfici scolanti elementari per individuare i bacini idrografici afferenti ai corsi d'acqua oggetto di valutazione idraulica. Per ogni bacino individuato, è stata determinata l'asta principale che raccoglie e convoglia le acque di scorrimento fino alla sezione di chiusura assunta. Successivamente, sono stati definiti i parametri geometrici e idrologici per ogni bacino e asta fluviale.

3. Terza fase: applicazione delle metodologie di calcolo note in letteratura per effettuare le valutazioni idrologiche e definire i valori delle portate defluenti.

Il calcolo della portata è stato effettuato conformemente a quanto previsto nelle Linee Guida del PAI.

In esse si rileva che, in mancanza di dati osservati, si dovrà fare ricorso alle metodologie di calcolo disponibili, che possono essere inquadrare in due grandi sottoinsiemi: il primo è noto sotto la generale definizione di **Metodi Diretti**, il secondo come **Metodi Indiretti**, in cui l'aggettivo diretto o indiretto specifica se la portata al colmo in qualunque sezione è ricavata mediante metodi statistici a partire da valori storici di portata monitorati per il bacino di riferimento, o indirettamente tramite **trasformazione afflussi-deflussi**.

In particolare, il concetto di "trasformazione afflussi-deflussi" raggruppa l'insieme di quei diversi processi idrologici che concorrono alla formazione del deflusso a partire dalla precipitazione meteorica. In Sardegna, per la valutazione della distribuzione probabilistica delle piogge, si fa principalmente riferimento al metodo del **TCEV (Two Components Extreme Values)**, oppure alle formule che utilizzano la distribuzione probabilistica **Log-Normale**.

Le valutazioni probabilistiche delle portate di piena sono state condotte con riferimento ai tempi di ritorno di **50, 100, 200 e 500 anni**.

#### **INDIVIDUAZIONE DEL BACINO TRIBUTARIO ALLA SEZIONE DI INTERESSE**

Per l'analisi morfologica preliminare dei bacini in studio è stato impiegato il modello digitale del terreno (DTM fonte RAS), con una risoluzione a 1 metro, il quale ha assicurato una copertura quasi totale dell'intero territorio oggetto di studio.

Per le aree residue non coperte dal DTM con risoluzione di 1 metro, è stato utilizzato un DTM con risoluzione di 10 metri. Al fine di garantire uniformità nei dati, è stato effettuato un ricampionamento, ottenendo così un DTM con risoluzione di 5 metri

Inoltre, per ricavare ulteriori informazioni, si è fatto riferimento a:

- Carta Tecnica Regionale Numerica della Sardegna in scala 1:10.000;
- Ortofoto e immagini satellitari dal 1954 al 2019 della raccolta cartografica presente sul Geoportale della Regione Sardegna;
- Immagini satellitari Google Earth.

Complessivamente, sono stati individuati 7 bacini rappresentati nell'elaborato **1024-CBI-11-0-IDRO** e in Figura 6, con valori di estensione areale compresa tra 0,20 e 5,91 km<sup>2</sup>.

Di seguito è riportata una breve descrizione delle caratteristiche morfologiche dei bacini in studio:



### Macro Bacino Riu Boelis

Il Riu Boelis, principale fiume che dà nome ai bacini, ha una lunghezza di circa 5,2 km e si estende su un macro bacino con una superficie totale di circa 5,4 km<sup>2</sup>. Nella sezione di chiusura del Riu Boelis\_1, identificata con il codice SC\_01 e situata nella confluenza nel Lago Omodeo, scorrono le portate di un sistema più ampio, composto dai sub-bacini Riu Boelis\_2, Riu Boelis\_3, 095016\_FIUME\_71760 e 095016\_FIUME\_82731.

Il macro-bacino si sviluppa a partire da un altopiano posto a una quota media di circa 270 sul livello del mare, attraversa l'abitato di Boroneddu, per poi giungere in località Sos Funtaneddas, dove sfocia nel Lago Omodeo.

### Bacino REV\_EL\_IDR\_095064\_0001

Il Bacino REV\_EL\_IDR\_095064\_0001, attraversato dal Fiume 095064, si estende su una superficie di circa 0,65 km<sup>2</sup>, con una pendenza media del 10,09% rivolta verso sud-est e un'altitudine media di circa 181,6 m. Questo bacino, che si sviluppa nelle località di Perdedu, Prete Efisio e Urgu, vede la sua sezione di chiusura (nota come SC\_06) situata presso la confluenza del Fiume 095064 nel Lago Omodeo.

### Bacino Riu Palai

Il bacino del Riu Palai, così denominato per il fiume che lo attraversa, è il più esteso tra quelli esaminati, con una superficie di 5,91 km<sup>2</sup>. Presenta una pendenza media del 2,98% orientata verso est e un'altitudine media di 249 metri sul livello del mare. Il bacino è delimitato a valle dalla sezione di chiusura denominata SC\_07, situata a una quota di circa 99,5 metri sul livello del mare, in corrispondenza della confluenza con il Lago Omodeo.

Per praticità, le caratteristiche dei bacini individuati sono riportate in Tabella 1.

ID BACINI	SEZIONE DI CHIUSURA	S (km <sup>2</sup> )	LA (km)	ZM (m s.l.m.)	ZO (m s.l.m.)	IB [%]	IM [%]
RIU BOELIS_1	SC_01	0,20	0,53	150,1	101,7	3,43	3,43
095016_FIUME_71760	SC_02	1,24	2,20	245,4	122,3	3,58	6,85
095016_FIUME_82731	SC_03	0,74	1,40	263,4	197,2	1,51	5,38
RIU BOELIS_3	SC_04	2,48	3,25	275,9	197,7	1,38	2,96
RIU BOELIS_2	SC_05	0,79	1,43	206,9	120,8	5,02	5,31
REV_EL_IDR_095064_0001	SC_06	0,65	1,35	181,6	105,4	10,09	9,12
RIU PALAI	SC_07	5,91	4,20	249,0	99,5	2,98	4,30

**Tabella 1 – Caratteristiche morfometriche dei bacini in studio.**



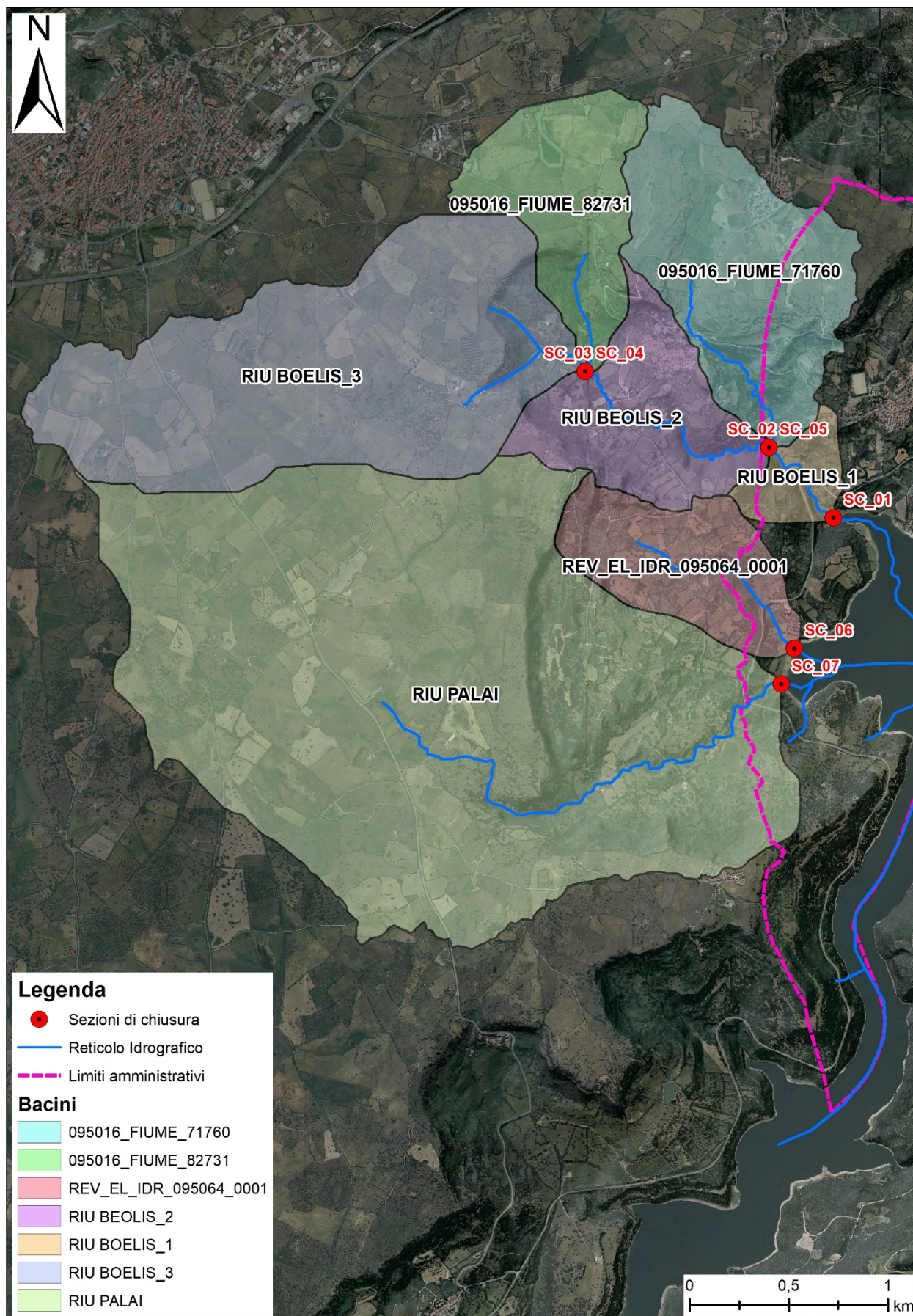


Figura 6 – Bacino idrografici definiti sul base DTM 5 m e Ortofoto 2019 (fornite da AGEA alla Regione Sardegna).



## METODOLOGIA DI CALCOLO DELLE PORTATE AL COLMO

La stima delle portate al colmo è stata effettuata utilizzando il **metodo razionale**, altrimenti definito **metodo cinematico o della corrivazione**. Il metodo si basa su una schematizzazione del processo di trasformazione afflussi-deflussi e sulle ipotesi enunciate precedentemente.

La portata al colmo relativa al tempo di ritorno  $T$  viene usualmente stimata tramite l'espressione:

$$Q(T) = \frac{S \cdot ARF \cdot \varphi \cdot h(T, T_p)}{3.6 T_p}$$

dove:

- $S$  è la superficie del bacino ( $\text{km}^2$ );
- **ARF** (*areal reduction factor* o coefficiente di riduzione areale) esprime il rapporto tra l'altezza di pioggia media su tutto il bacino e l'altezza di pioggia in un punto (centro di scroscio) al suo interno, valutati a parità di durata e di tempo di ritorno;
- $\varphi$  è il coefficiente di afflusso che rappresenta l'aliquota di precipitazione che, in occasione della piena, scorre in superficie;
- $h(T, T_p)$  è l'altezza di pioggia, in mm, che cade in punto del bacino durante una precipitazione di durata pari a  $T_p$  e con assegnato tempo di ritorno  $T$ ;
- $T_p$  indica la durata della pioggia (ore).

## COEFFICIENTE D'AFFLUSSO

Per la stima del coefficiente di afflusso  $\varphi$  si è adottato il metodo del *Curve Number* (CN) del *Soil Conservation Service* (SCS), per il quale:

$$\varphi = \frac{h_n}{P} = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S) P}$$

dove:

- $h_n$  è l'altezza di pioggia netta cumulata totale;
- $P$  è l'afflusso meteorico lordo cumulato totale;
- $I_a$  rappresenta le perdite iniziali;
- $S$  è il volume specifico (o capacità) di massima potenziale ritenzione del suolo, ossia la quantità d'acqua immagazzinabile nel terreno in condizioni di saturazione, in funzione della natura ed uso del suolo, della possibilità di infiltrazione e delle condizioni di umidità antecedenti l'evento meteorico (AMC) attraverso il parametro del CN. Il calcolo di  $S$  è stato eseguito utilizzando la formula di seguito riportata:



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

$$I_a = 0,2 S$$

L'indice CN, adimensionale, è un fattore decrescente della permeabilità compreso tra 0 e 100 ed è espresso in funzione di tre aspetti:

- Natura del suolo;
- Tipo di copertura vegetale;
- Condizioni di umidità al suolo antecedenti le precipitazioni (AMC).

I valori di CN corrispondenti alle categorie AMC I e AMC III sono stati ricavati dal valore del CN II, corrispondente alla categoria AMC II, che rappresenta una condizione media. Ai fini prudenziali si è scelto di ricalibrare il CN II, portandolo a CN III, che è quello che implica le condizioni di umidità del suolo più elevate, e conseguentemente maggiore impermeabilità.

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

I valori di CN ottenuti dalla carta dell'uso del suolo per ogni bacino analizzato sono stati riportati nella **CARTA DEL CURVE NUMBER PER CIASCUN BACINO ANALIZZATO** (elaborato **1024-CCN-10-0-IDRO**). Considerando lo stato vegetativo e l'utilizzo del suolo attuali, desumibili dalle ortofoto RAS 2019, dalle acquisizioni satellitari più recenti di Google e dalle osservazioni derivanti da sopralluoghi diretti, è stata presa la decisione di ricalibrare i valori di CN ottenuti dalla carta dell'uso del suolo.

Questa decisione ha implicato l'adozione di valori CN più elevati, e dunque più conservativi.

ID BACINO	CURVE NUMBER (CN III)
RIU BOELIS_1	91
095016_FIUME_71760	95
095016_FIUME_82731	92
RIU BOELIS_3	96
RIU BOELIS_2	94
REV_EL_IDR_095064_0001	92
RIU PALAI	94

**Tabella 2 – Valori del Curve Number utilizzato per calcoli effettuati sui bacini in studio.**

#### DETERMINAZIONE DELLA PIOGGIA INDICE GIORNALIERA

Per la definizione delle precipitazioni sono state prese in considerazione le curve segnalatrici di possibilità pluviometrica proposte da Deidda e Piga (1998), ricavate con la distribuzione TCEV e tarate per lo studio di eventi estremi di precipitazioni brevi ed intense in Sardegna.

I bacini idrografici relativi all'area oggetto di studio ricadono nella **sottozona omogenea n. 1**, per quanto riguarda il valore di pioggia indice giornaliera, per i bacini studiati sono stati adottati i valori pari a  $\mu_g = 51$  mm per il bacino n.1,  $\mu_g = 53$  mm per il bacino n.4, e  $\mu_g = 52$  mm per i bacini n. 2, 3, 5, 6, 7.

#### CALCOLO DELLE PORTATE AL COLMO

Come descritto in precedenza, per il calcolo delle portate di colmo  $Q_c$  dei bacini in analisi, si è fatto ricorso al metodo probabilistico indiretto, valutato come il più funzionale per il contesto in analisi. In Tabella 3 si riportano in i valori di portata al colmo misurati alla sezione di chiusura, ottenuti per i periodi di ritorno  $T$  pari a 50, 100, 200 e 500 anni.

SEZIONE DI CHIUSURA	TEMPO DI RITORNO ( $T_R$ ) (ANNI)	PORTATA AL COLMO ( $Q_c$ ) (m <sup>3</sup> /s)
SC_01	50	2,401
	100	2,739
	200	3,102
	500	3,660
SC_02	50	15,680
	100	18,136
	200	20,614
	500	23,991
SC_03	50	8,983
	100	10,504
	200	12,069
	500	14,278
SC_04	50	29,785
	100	34,547
	200	39,330
	500	45,750
SC_05	50	11,778
	100	13,561
	200	15,378
	500	17,912
SC_06	50	7,951
	100	9,288
	200	10,665
	500	12,611
SC_07	50	54,566
	100	64,705
	200	74,962
	500	88,728

**Tabella 3 – Portate al colmo relative ai tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni.**

#### 4.1.2 ANALISI IDRAULICA

Nell'ambito dell'analisi idraulica, sono state adottate opportune schematizzazioni e semplificazioni al fine di sviluppare un modello del fenomeno idoneo per la procedura di calcolo. La trasposizione dell'evento meteorico e, di conseguenza, della piena sul territorio, è stata descritta tramite la modellazione della propagazione della piena all'interno del reticolo idrografico.

Durante questa fase, sono state considerate diverse semplificazioni, principalmente di natura modellistica. Inizialmente, si è presupposta la validità delle ipotesi di base dell'equazione di Saint Venant, assumendo che l'alveo fosse un cilindroide, che il moto fosse gradualmente variato e che durante l'evento di piena la sezione si mantenesse immutata come forma e caratteristiche di scabrezza. Inoltre, si è considerato il fluido trasportato come un fluido newtoniano.

Il codice di calcolo utilizzato ha introdotto dei parametri correttivi per tener conto delle semplificazioni adottate nella fase di calcolo dei livelli idrici durante lo sviluppo longitudinale dell'asta.

Il modello idraulico è stato realizzato utilizzando le informazioni ricavate dal Modello Digitale del Terreno (DTM), integrate da ulteriori indagini in situ. La simulazione del deflusso idraulico sul modello generato dalle informazioni cartografiche ha definito un profilo di corrente per ogni portata di calcolo.

L'area di allagamento è stata definita come la regione in cui i punti in ogni sezione si trovano al di sotto dell'altezza idrica calcolata. Durante la modellazione, è stato valutato l'andamento dei profili idrici su più sezioni attigue mediante una media mobile, eliminando i valori decisamente anomali. Inoltre, è stato analizzato se le aree allagate potessero rientrare in alveo: in caso contrario, l'area è stata confermata come zona di esondazione, anche se la sezione sembrava idonea.

Infine, si è cercato di fornire una giustificazione complessiva per le aree soggette ad allagamenti, valutando il comportamento delle portate di piena durante eventi significativi sulla base delle informazioni locali. Questo approccio ha consentito di calibrare con precisione i modelli idraulici prodotti.

#### METODOLOGIA UTILIZZATA

La valutazione delle aree di esondazione è stata effettuata seguendo la metodologia qui di seguito descritta:

1. Modello Idraulico del Terreno: Inizialmente, è stato creato un modello idraulico del terreno, definendo l'andamento planoaltimetrico del fiume oggetto di analisi e, di conseguenza, le sue caratteristiche geometriche.
2. Attribuzione del Coefficiente di Scabrezza: Successivamente, sulla base della presenza di vegetazione e delle caratteristiche del materiale presente in alveo, è stato attribuito il coefficiente di scabrezza.



L'analisi in condizioni di moto permanente ha richiesto la definizione delle condizioni al contorno sia a monte che a valle. Considerando i risultati di un'analisi di sensitività che ha mostrato variazioni non significative nei livelli idrici anche a breve distanza, è stata adottata l'ipotesi di altezza di moto uniforme per entrambe le condizioni.

#### IL MODELLO DI CALCOLO

La simulazione idraulica è stata condotta utilizzando il software di analisi monodimensionale HEC-RAS, sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers, una piattaforma ampiamente riconosciuta e utilizzata nel settore. Si è scelto di adottare l'ipotesi semplificativa del moto permanente, ritenuta adeguata per descrivere i fenomeni idraulici oggetto di studio. Il software offre la capacità di analizzare e risolvere i calcoli relativi al tracciamento del profilo idrico di un corso d'acqua sia in regime di moto permanente che in regime di moto variabile, oltre a gestire le problematiche legate al trasporto solido. In ciascuna di queste tre tipologie di studio, il programma è in grado di sfruttare sia le proprietà intrinseche del terreno, in particolare in termini di coefficiente di scabrezza di Manning, sia le proprietà geometriche della sezione del corso d'acqua. Questo consente una modellazione dettagliata e accurata, tenendo conto delle condizioni specifiche del sito e garantendo risultati affidabili per la valutazione degli effetti idraulici.

#### IL MOTO PERMANENTE

Per l'analisi in moto permanente, HEC-RAS determina il profilo del pelo libero tra una sezione e la successiva mediante la procedura iterativa nota come standard step, risolvendo l'equazione del bilancio energetico:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - h_e \quad (1)$$

dove:

- **Y1** e **Y2** sono le altezze d'acqua riferite al fondo dell'alveo;
- **Z1** e **Z2** sono le altezze del fondo rispetto ad una quota di riferimento;
- **V1** e **V2** sono le velocità medie della corrente nelle due sezioni estreme del tronco fluviale considerato;
- **$\alpha_1$**  e  **$\alpha_2$**  sono coefficienti di ragguaglio delle potenze cinetiche;
- **he** è la perdita di carico tra le due sezioni considerate.

Il termine "**he**" dipende sia dalle perdite per attrito che da quelle per contrazione ed espansione. Si può valutare mediante la seguente relazione:

$$h_e = L \cdot \overline{S_f} + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

Dove:

- **L** è la lunghezza del tronco considerato;
- $\overline{S_f}$  è la cadente media tra le due sezioni;
- **C** è il coefficiente di perdita di carico per contrazione o espansione.

Il primo termine dell'equazione **1** rappresenta la perdita totale per attrito, ottenuta moltiplicando la distanza tra le due sezioni per la cadente media. Il programma offre diverse opzioni per il calcolo della cadente, determinata presupponendo una suddivisione della sezione d'alveo in sottosezioni, dove la velocità può essere approssimata con buona precisione costante. Il secondo termine dell'equazione per il calcolo delle perdite di carico rappresenta il contributo dovuto alla contrazione ed espansione dell'area bagnata. Queste perdite si verificano quando c'è un allargamento o un restringimento della sezione che provoca una situazione di corrente non lineare. Il coefficiente "C" varia in un intervallo compreso tra 0.1 e 1 per correnti subcritiche, mentre in caso di correnti veloci generalmente si assumono valori inferiori. L'altezza del pelo libero, facendo riferimento a una sezione specifica, viene determinata attraverso una risoluzione iterativa delle equazioni **1** e **2**. Il modello fornisce inoltre i valori dell'altezza critica nelle diverse sezioni fluviali.

Nel caso di transizioni da corrente lenta a veloce o viceversa in determinati segmenti del fiume, l'equazione del bilancio energetico viene sostituita dall'equazione globale di equilibrio dinamico. Il modello HEC-RAS consente di modellare l'effetto sulla corrente derivante dalla presenza di attraversamenti fluviali, sia quando il deflusso attraverso il ponte avviene a pelo libero che in pressione. La perdita di energia causata dal ponte è suddivisa in tre parti: in primo luogo, si considerano le perdite che si verificano nella zona immediatamente a valle del ponte, dove di solito si verifica un'espansione della corrente. Successivamente, vengono considerate le perdite di energia durante l'attraversamento del ponte e infine le perdite che si verificano immediatamente a monte, dove la corrente subisce una contrazione.

Per lo studio del deflusso attraverso un ponte, HEC-RAS fa riferimento a quattro sezioni fluviali trasversali: la sezione a monte del ponte, la sezione di ingresso al ponte, la sezione in uscita dal ponte e la sezione a valle del ponte. Il calcolo può essere effettuato utilizzando diverse soluzioni. Il metodo del bilancio energetico (metodo standard step) tratta la sezione in cui è presente il ponte esattamente come le altre, con l'eccezione che l'area occupata dalla struttura viene sottratta dall'area totale e il perimetro bagnato viene aumentato a causa del contributo del ponte stesso. Poiché le perdite totali dipendono dalle perdite per attrito e dalle perdite per contrazione ed espansione, è necessario definire in questa fase i coefficienti

necessari per il calcolo. In particolare, dato che possono verificarsi variazioni significative della velocità, il coefficiente di espansione, in particolare, risulterà sensibilmente più elevato rispetto ai valori tipici dei tronchi fluviali. Il metodo del bilancio della quantità di moto si basa sull'applicazione dell'omonima equazione tra le quattro sezioni fluviali descritte in precedenza. Il modello permette all'utente di utilizzare, per lo studio di ogni ponte, ciascuno dei metodi sopra citati o entrambi; il software restituisce il profilo che prospetta la situazione caratterizzata da maggior criticità.

#### **APPLICAZIONE DEL MODELLO**

L'analisi idraulica è stata condotta modellando due corsi d'acqua, identificati rispettivamente come "Riu Palai" (12 sezioni idrauliche) e "Fiume 095064" (13 sezioni idrauliche), oltre a un comparto ottenuto raggruppando diversi impluvi, i cui corsi d'acqua principali sono "Riu Boelis" (29 sezioni idrauliche) e "Fiume 71760" (4 sezioni idrauliche). La lunghezza dei transetti individuati varia approssimativamente da circa 50 m a 260 m. Per una maggiore chiarezza e praticità, i fiumi "REV\_EL\_IDR\_095064\_0001" e "095016\_FIUME\_71760" saranno denominati rispettivamente Fiume 095064 e Fiume 71760.

Nel modello idraulico per il Lago Omodeo è stato definito un livello di base di 118 m s.l.m.. Tale quota corrisponde a quella di massimo invaso garantito dalla diga di Santa Chiara, la quale delimita l'invaso artificiale a valle. Il livello di base è stato scelto in considerazione della sua importanza ai fini della sicurezza delle aree circostanti il lago. Essendo la quota massima dell'invaso determinata dalla diga di Santa Chiara, è cruciale utilizzarla come riferimento per definire il livello di base nel modello idraulico. La predisposizione del modello idraulico ha avuto l'obiettivo di mettere in luce le criticità presenti sul territorio, focalizzandosi principalmente sulle intersezioni dei corsi d'acqua con la viabilità locale. Inoltre, è stata volta a identificare i punti di insufficienza idraulica della sezione trasversale dell'alveo, evidenziando le aree dove il flusso d'acqua potrebbe superare la capacità di drenaggio naturale del corso d'acqua, potenzialmente causando allagamenti o altri problemi idraulici.

Sono di seguito riportate le risultanze delle aree allagabili studiate.



**SISTEMA RIU BOELIS E FIUME 71760**

Le verifiche idrauliche sono state condotte sul Riu Boelis e sul Fiume 71760, unico affluente presente all'interno di Tadasuni. Il Riu Boelis ha origine in località Su Crau nel vicino comune di Boroneddu, e si estende per circa 3,47 km prima di raggiungere il Lago Omodeo.

Ai fini dell'analisi idraulica il Riu Boelis è stato suddiviso in 3 sottobacini (denominati Riu Boelis 1, 2 e 3), le cui sezioni di chiusura coincidono con la confluenza del Fiume 82731 e del Fiume 71760. Nel complesso il sistema del Riu Boelis e del Fiume 71760 è definito da un totale di 5 bacini per una superficie scolata totale di 5,45 km<sup>2</sup>.

Le caratteristiche morfometriche del reticolo idrografico studiato sono riportate in Tabella 4.

NOME FIUME	NOME BACINO	SUPERFICIE DEL BACINO (km <sup>2</sup> )	LUNGHEZZA ASTA (km)	ALTITUDINE MEDIA DEL BACINO (m s.l.m.)	ALTITUDINE MINIMA DEL BACINO (m s.l.m.)	PENDENZA MEDIA DELL'ASTA (%)
Riu Boelis	RIU BOELIS_1	0,20	0,53	150,1	101,7	3,43
Fiume 71760	095016_FIUME_71760	1,24	2,20	245,4	122,3	6,85
Fiume 82731	095016_FIUME_82731	0,74	1,40	263,4	197,2	5,38
Riu Boelis	RIU BOELIS_3	2,48	3,25	275,9	197,7	2,96
Riu Boelis	RIU BOELIS_2	0,79	1,43	206,9	120,8	5,31

**Tabella 4 – Caratteristiche morfometriche dei principali fiumi in studio e dei relativi bacini.**

Nel settore posto a monte dell'attraversamento sulla Strada Provinciale 74, il reticolo idrografico in studio interferisce esclusivamente con terreni a destinazione agricola. Come evidenziato dalle risultanze dello studio idraulico, la morfologia incassata dell'alveo è in grado di contenere le piene definite per i vari tempi di ritorno, all'interno dell'area golenale. Solo nel settore che si trova a valle dell'attraversamento si osserva una maggiore estensione laterale delle aree di allagamento. L'estensione delle aree di esondazione è legata esclusivamente alla confluenza del Riu Boelis nel Lago Omodeo, e alla quota di 118 m s.l.m. (massimo invaso della diga di Santa Chiara), assunta come livello di base per il modello idraulico.

Il Riu Boelis attraversa la Strada Provinciale 74 tramite un manufatto a campata singola. Le risultanze della modellazione idraulica evidenziano, come l'opera idraulica è in grado di garantire il transito delle portate di piena per tutti i tempi di ritorno verificati, come confermato dalle sezioni idrauliche n. **400, 380, e 375** riportate nell'elaborato 1024-RMI-05-0-IDRO. Tuttavia, viene meno il rispetto del franco idraulico come definito dalla vigente normativa. Il mancato rispetto del franco idraulico è legato in parte al livello di base definito per il Lago Omodeo (fissato a 118 m s.l.m.), corrispondente alla massima capacità di invaso della diga di Santa Chiara e utilizzato come dato per la modellazione idraulica.

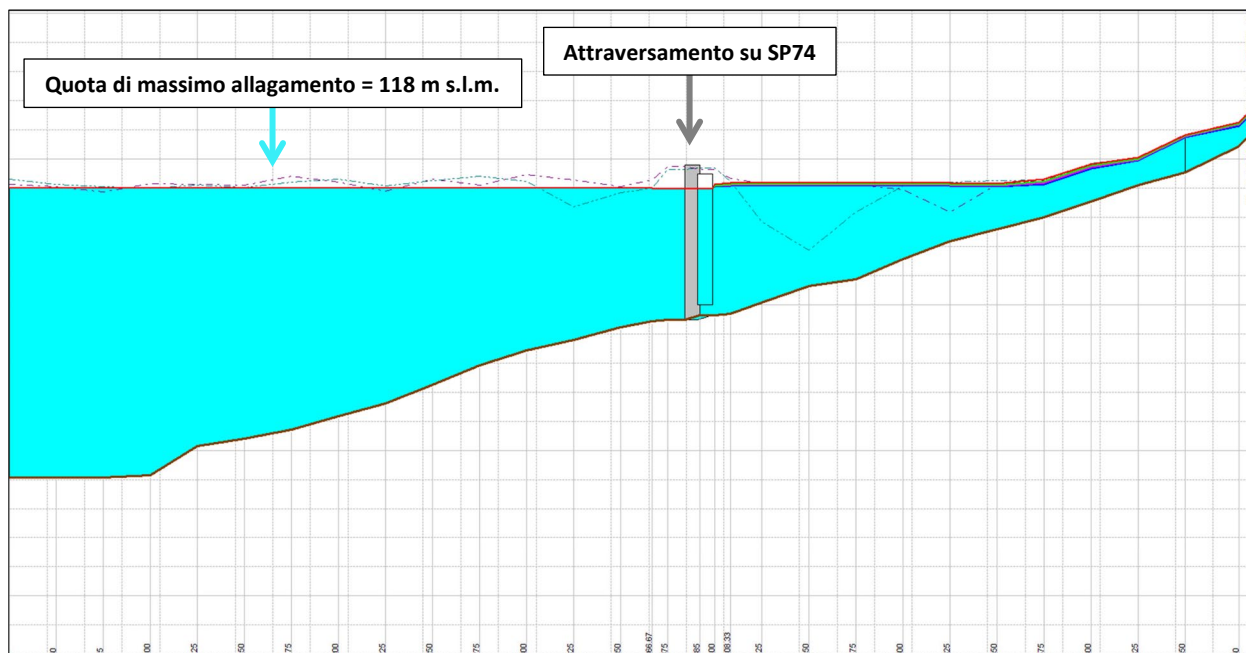


Figura 7 - Profilo di corrente del Riu Boelis.

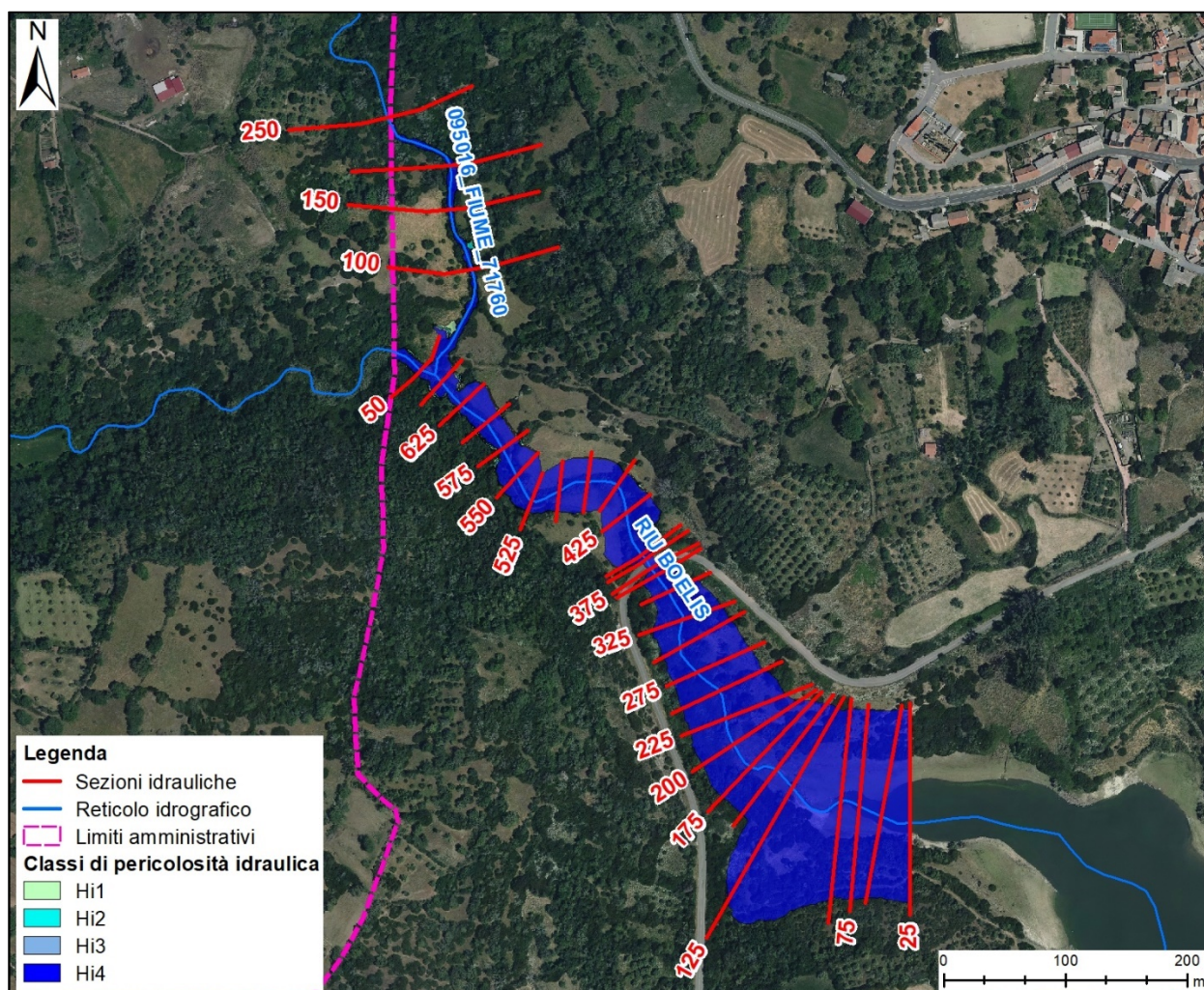


Figura 8 - Modellazione idraulica del Riu Boelis e del Fiume 71760.

**Fiume 095064**

Il Fiume 095064 ha origine in località Perdeddu, nel vicino comune di Boroneddu, e si estende per circa 1,35 km prima di raggiungere il Lago Omodeo.

Al fine dell'analisi idraulica, per il Fiume 095064 è stato delineato un bacino avente una superficie scolante di circa 0,65 km<sup>2</sup> (denominato REV\_EL\_IDR\_095064\_0001), la cui sezione di chiusura coincide con la confluenza nel Lago Omodeo.

Le caratteristiche morfometriche del Fiume 095064 sono sintetizzate in Tabella 5.

NOME FIUME	NOME BACINO	SUPERFICIE DEL BACINO (km <sup>2</sup> )	LUNGHEZZA ASTA (km)	ALTITUDINE MEDIA DEL BACINO (m s.l.m.)	ALTITUDINE MINIMA DEL BACINO (m s.l.m.)	PENDENZA MEDIA DELL'ASTA (%)
Fiume 095064	REV_EL_IDR_095064_0001	0,65	1,35	249,0	105,4	9,12

**Tabella 5 - Caratteristiche morfometriche del Fiume 095064 e del relativo bacino.**

Nel settore posto a monte dell'attraversamento sulla SP 74, il Fiume 095064 interferisce esclusivamente con terreni a destinazione agricola. Come evidenziato dalle risultanze dello studio idraulico, la morfologia incassata dell'alveo è in grado di contenere le piene definite per i vari tempi di ritorno, all'interno dell'area golenale. Solo nel settore che si trova a valle dell'attraversamento si osserva una maggiore estensione laterale delle aree di allagamento.

L'estensione delle aree di esondazione è legata esclusivamente alla confluenza del Fiume 095064 nel Lago Omodeo, e alla quota di 118 m s.l.m. (massimo invaso della diga di Santa Chiara), assunta come livello di base per il modello idraulico.

Il Fiume 095064 attraversa la Strada Provinciale 74 tramite un manufatto a campata singola. Le risultanze della modellazione idraulica evidenziano come l'opera idraulica è in grado di garantire il transito delle portate di piena per tutti i tempi di ritorno verificati, come confermato dalle sezioni idrauliche n. **375**, **350** e **325** riportate nell'elaborato 1024-RMI-05-0-IDRO.

Tuttavia, viene meno il rispetto del franco idraulico come definito dalla vigente normativa. Il mancato rispetto del franco idraulico è legato in parte al livello di base definito per il Lago Omodeo (fissato a 118 m s.l.m.), corrispondente alla massima capacità di invaso della diga di Santa Chiara e utilizzato come dato per la modellazione idraulica.



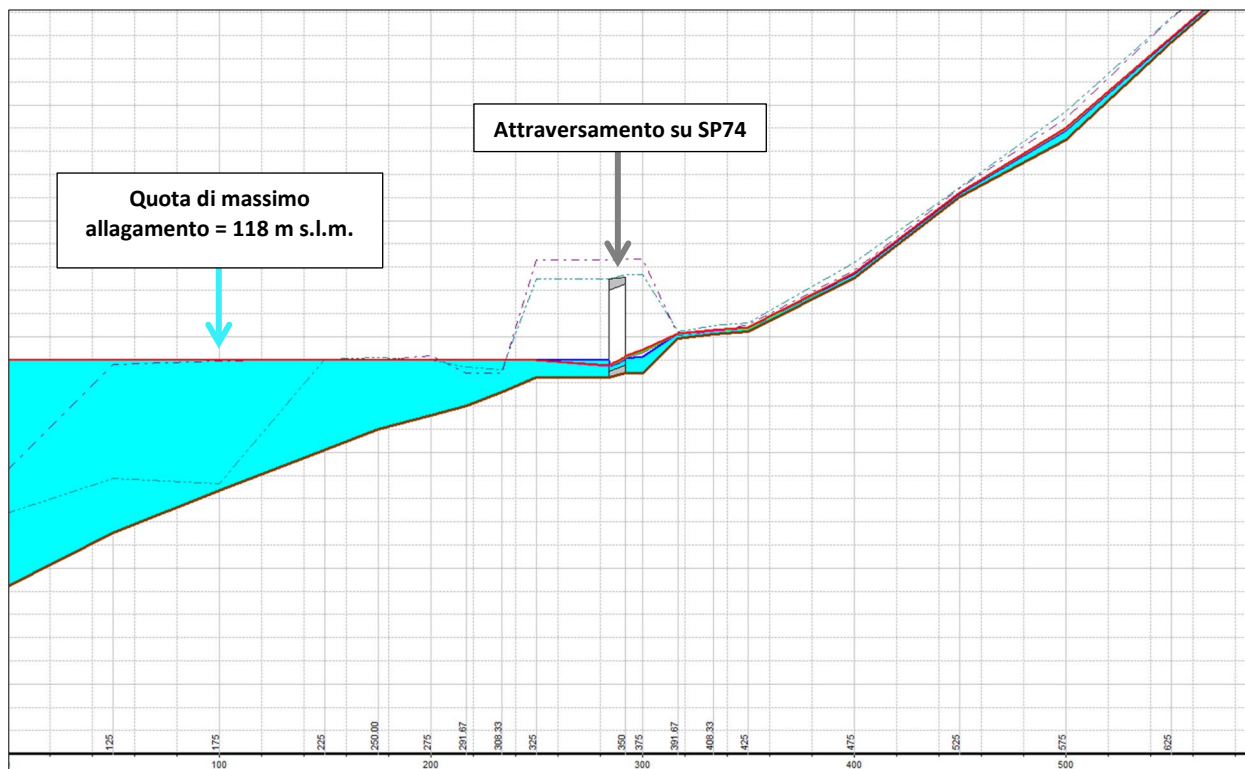


Figura 9 - Profilo di corrente del Fiume 095064.

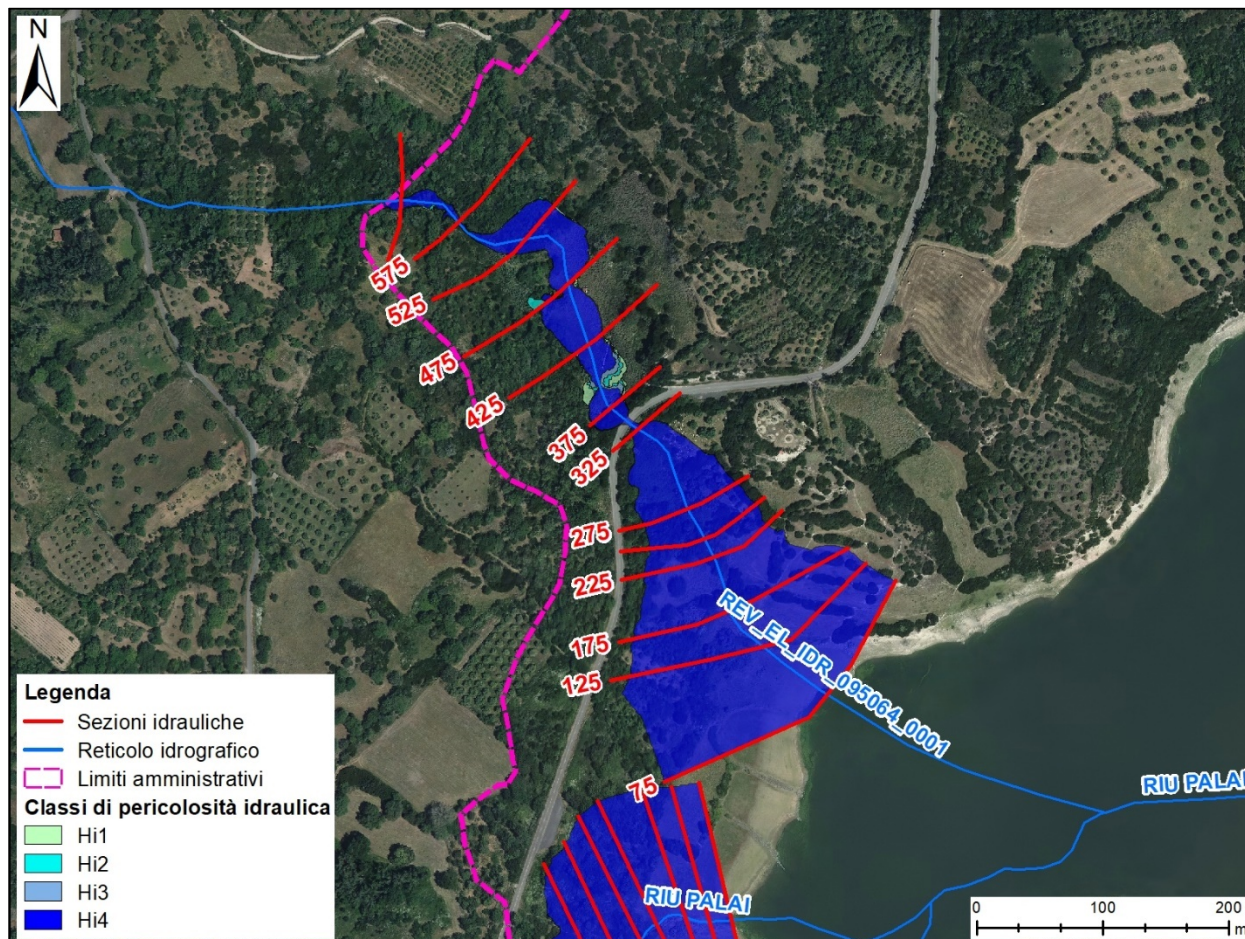


Figura 10 - Modellazione idraulica del Fiume 095064.

**RIU PALAI**

Il Riu Palai ha origine nella località Meddaris, nel vicino comune di Ghilarza, e si estende per circa 4,20 km prima di intercettare il Lago Omodeo. Al fine dell'analisi idraulica, per il Riu Palai è stato delineato un bacino avente una superficie scolante di circa 5,91 km<sup>2</sup>, la cui sezione di chiusura coincide con la confluenza nel Lago Omodeo.

Le caratteristiche morfometriche del Riu Palai sono riportate in Tabella 6.

NOME FIUME	NOME BACINO	SUPERFICIE DEL BACINO (km <sup>2</sup> )	LUNGHEZZA ASTA (km)	ALTITUDINE MEDIA DEL BACINO (m s.l.m.)	ALTITUDINE MINIMA DEL BACINO (m s.l.m.)	PENDENZA MEDIA DELL'ASTA (%)
Riu Palai	RIU PALAI	5,91	4,20	249,0	99,5	4,3

**Tabella 6 - Caratteristiche morfometriche del Riu Palai e del relativo bacino.**

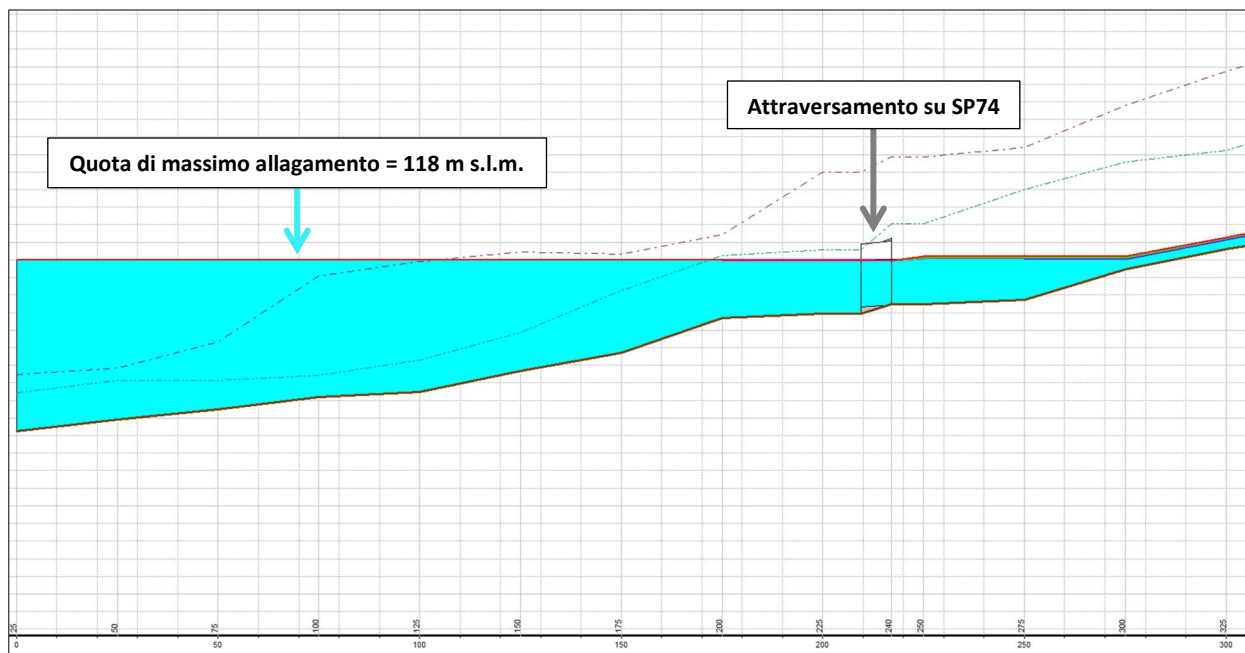
Nel settore posto a monte dell'attraversamento sulla strada provinciale 74, il Riu Palai attraversa esclusivamente terreni a destinazione agricola. Come evidenziato dalle risultanze dello studio idraulico, la morfologia incassata dell'alveo è in grado di contenere le piene definite per i vari tempi di ritorno, all'interno dell'area golenale. Solo nel settore che si trova a valle dell'attraversamento si osserva una maggiore estensione areale laterale delle aree di allagamento.

L'estensione delle aree di esondazione è legata esclusivamente alla confluenza del Riu Palai nel Lago Omodeo, e dalla quota di 118 m s.l.m. (massimo invaso della diga di Santa Chiara), assunta come livello di base per il modello idraulico.

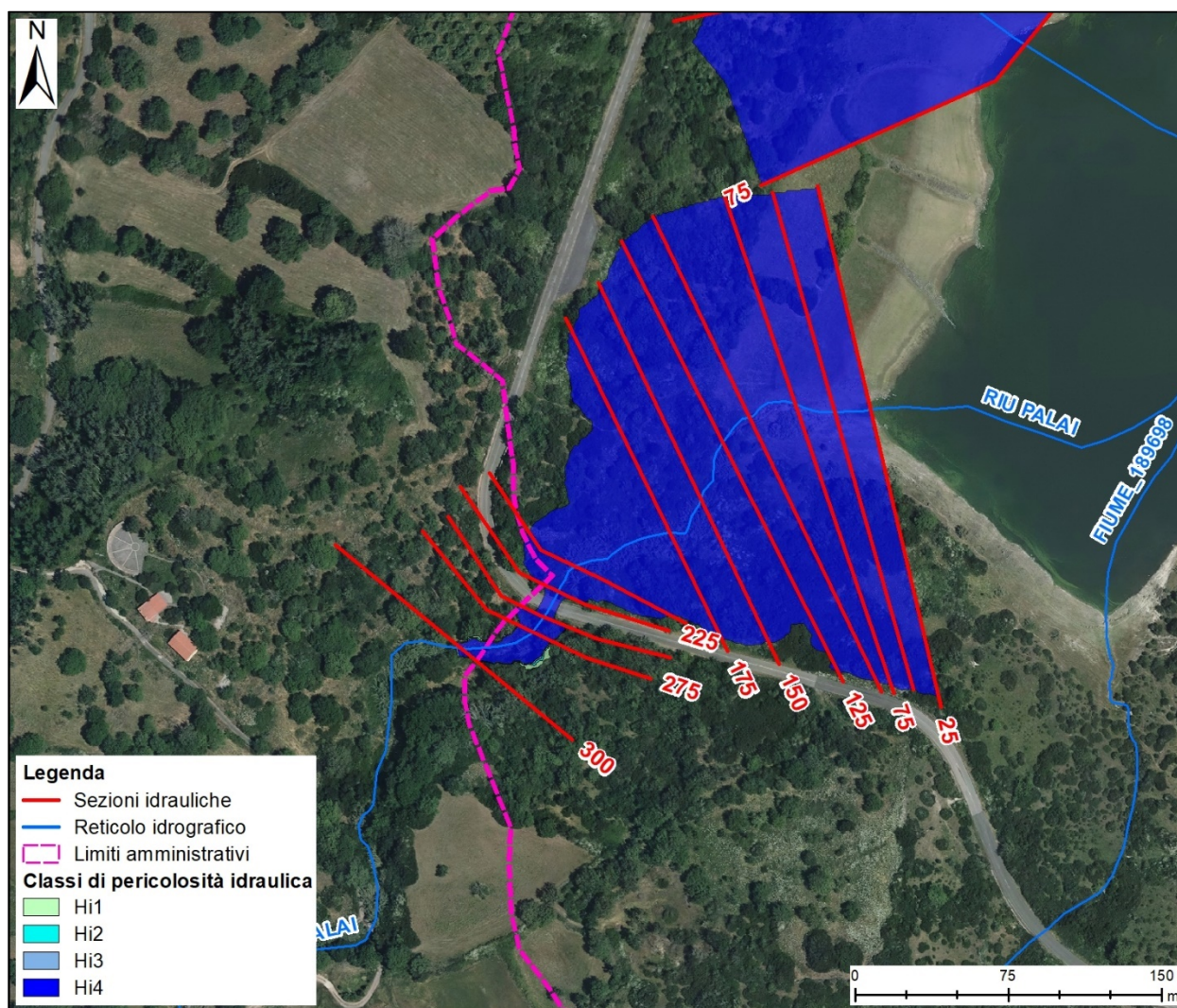
Il Riu Palai attraversa la SP 74 tramite un manufatto a campata singola. Le risultanze della modellazione idraulica evidenziano come l'opera idraulica è in grado di garantire il transito delle portate di piena per tutti i tempi di ritorno verificati, come confermato dalle sezioni idrauliche n. **250, 240, 225**, riportate nell'elaborato 1024-RMI-05-0-IDRO.

Tuttavia, viene meno il rispetto del franco idraulico come definito dalla vigente normativa. Il mancato rispetto del franco idraulico è legato in parte al livello di base definito per il Lago Omodeo, (fissato a 118 m s.l.m.), corrispondente alla massima capacità di invaso della diga di Santa Chiara e utilizzato come dato per la modellazione idraulica.





**Figura 11 – Profilo di corrente del Riu Palai.**



**Figura 12 – Modellazione idraulica del Riu Palai.**



## 5 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ

La pericolosità idraulica (*Natural Hazard*) ossia la probabilità di superamento della portata al colmo di piena; in accordo al DPCM 29/09/98 è ripartita in 4 livelli (Hi4, Hi3, Hi2, Hi1) che corrispondono ai periodi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni.

Vista l'adozione del PGRA da parte della Regione, è stato emanato al termine del 2015 il citato "Testo Coordinato" delle Norme Tecniche di Attuazione in cui al titolo V vengono individuate, in quanto rese applicative, le "Norme generali in materia di coordinamento tra PAI e PGRA". Conseguentemente l'aggiornamento introdotto prevede che per la determinazione del rischio in adeguamento alle modifiche introdotte dal PGRA, le aree di pericolosità vengano ricondotte da 4 a 3, di fatto con l'accorpamento delle zone intermedie Hi2 e Hi3, ovvero individuando le seguenti classi (art. 40 comma 2 delle NTA del PAI):

- **P3** - ovvero aree a pericolosità elevata, con elevata probabilità di accadimento, corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno minore o uguale a 50 anni;
- **P2** - ovvero aree a pericolosità media, con media probabilità di accadimento, corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 50 anni e minore o uguale a 200 anni;
- **P1** - ovvero aree a pericolosità bassa, con bassa probabilità di accadimento, corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 200 anni e minore o uguale a 500 anni.

Per quanto attiene le procedure e la vincolistica, l'equivalenza tra le zone P e le Hi è ribadita dall'art. 41 commi 1, 2 e 3 delle NTA del PAI. L'individuazione delle aree a rischio idraulico prevede, per ogni bacino idrografico, il calcolo delle portate di piena, per una o più sezioni idrografiche, per tempi ritorno, T, pari a T= 50 anni, T=100 anni, T=200 anni, T=500 anni.

All'interno del territorio comunale sono presenti corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico per i quali, data la loro scarsa estensione, non sono state determinate le aree di pericolosità idraulica. Pertanto, questi sono soggetti ad una misura di prima salvaguardia secondo l'articolo 30 ter delle NTA del PAI, secondo cui deve essere rispettata una fascia di rispetto su entrambi i lati a partire dall'asse del corso d'acqua. Tale fascia, di profondità L, risulta variabile in funzione dell'ordine gerarchico di ogni singolo tratto, definito secondo il numero di Horton – Strahler, come riportato in Tabella 7. Le aree così perimetrate sono soggette alla disciplina prevista dagli artt. 27 e 27 bis delle NTA del PAI.

ORDINE GERARCHICO (NUMERO DI HORTON - STRAHLER)	PROFONDITÀ L (m)
1	10
2	25
3	50
4	75
5	100

6	150
7	250
8	400

**Tabella 7 – Ordine gerarchico di Horton-Strahler e le corrispettive fasce di tutela.**

Le risultanze della perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica per tutto il territorio comunale, sono state cartografate nella **CARTA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA DERIVANTE DALLO STUDIO PROPOSTO CON FASCE DI PRIMA SALVAGUARDIA** in scala 1:10.000 (elaborato **1024-CPI-12-2-IDRO**).

Inoltre, l'aggiornamento della pianificazione di settore a scala di dettaglio sancisce che per le aree urbane venga predisposta la **CARTA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA DERIVANTE DALLO STUDIO PROPOSTO CON FASCE DI PRIMA SALVAGUARDIA – CENTRO ABITATO** (elaborato **1024-CPC-13-2-IDRO**), che definisce nel dettaglio le aree a pericolosità idraulica all'interno del centro urbano, riportando le varie perimetrazioni su base topografica di dettaglio su scala 1:2.000.

## 6 DEFINIZIONE DEL DANNO POTENZIALE

La **CARTA DEL DANNO POTENZIALE DERIVANTE DALLO STUDIO PROPOSTO** (elaborato **1024-CDP-14-2-IDRO**) definisce ai sensi del DPCM 29.09.1998 come elementi sensibili e quindi a rischio: *“l'incolumità delle persone, gli agglomerati urbani comprese le zone di espansione urbanistica, le aree su cui insistono insediamenti produttivi, impianti tecnologici di rilievo, le infrastrutture a rete e le vie di comunicazione di rilevanza strategica, il patrimonio ambientale e i beni culturali di interesse rilevante, le aree sede di servizi pubblici e privati, di impianti sportivi e ricreativi, strutture ricettive ed infrastrutture primarie”*.

Il Danno Potenziale è suddiviso in **quattro classi** omogenee che tengono conto per loro definizione in primo luogo del danno alle persone, in secondo luogo a quello al tessuto socioeconomico ed ai beni non monetizzabili.

Il Danno potenziale è ottenuto dal prodotto tra **Elementi a rischio** e **Vulnerabilità**. Ogni qualvolta si ritenga a rischio la vita umana, elementi a rischio delle classi **E4**, **E3** e in parte **E2**, la Vulnerabilità, viene assunta pari all'**unità**. Per quanto concerne gli elementi di altro tipo occorrerebbe provvedere ad effettuare analisi di dettaglio sui singoli cespiti ma esse esulano dai limiti delle attività previste dal dispositivo di legge e, pertanto, anche a tali elementi si attribuirà un valore di vulnerabilità ancora unitario.

Per tale ragione, le classi omogenee di danno potenziale sono di fatto sovrapponibili agli Elementi di Rischio (E4, E3, E2, E1) definiti ai sensi del DPCM 29.09.98.

Le Classi di Danno Potenziale possono così essere definite:

- **D4** (Danno potenziale molto elevato): aree in cui si può verificare la perdita di vite umane, ingenti danni ai beni economici, naturali storici e culturali di rilevante interesse, gravi disastri ecologico – ambientali;
- **D3** (Danno potenziale elevato): aree con problemi per l'incolumità delle persone e per la funzionalità del sistema economico, aree attraversate da linee di comunicazione e da servizi di rilevante interesse, le aree sedi di importanti attività produttive;
- **D2** (Danno potenziale medio): aree con limitati effetti sulle persone e sul tessuto socioeconomico. Aree attraversate da infrastrutture secondarie e attività produttive minori, destinate sostanzialmente ad attività agricole o a verde pubblico;
- **D1** (Danno potenziale moderato o nullo): comprende le aree libere da insediamenti urbani o produttivi dove risulta possibile il libero deflusso delle piene.

Per quanto concerne la definizione degli elementi a rischio, si è fatto riferimento agli elaborati del PGRA, che definiscono sei macrocategorie, ognuna delle quali è composta, a sua volta, da sottocategorie specifiche, che sono evidenziate nella Tabella 8.



Sulla base dello schema di legenda precedentemente illustrato, è stata avviata l'attività di predisposizione e aggiornamento della cartografia, in ambito locale, degli elementi a rischio. La base cartografica del PGRA è stata oggetto pertanto di un ulteriore aggiornamento e integrata con ulteriori informazioni territoriali quali viabilità, strutture strategiche, zone destinate ad uso agricolo, etc., che sono state desunte dalle più recenti foto satellitari disponibili e dai sopralluoghi condotti in situ. Le informazioni, al termine del processo di verifica e conformizzazione realizzato attraverso procedure di geoprocessing quali unione (*Union*), intersezione (*Intersect*) e sottrazione di aree (*Erase*), sono confluiti nella copertura principale, che costituisce l'elaborato finale **1024-CDP-14-2-IDRO**.

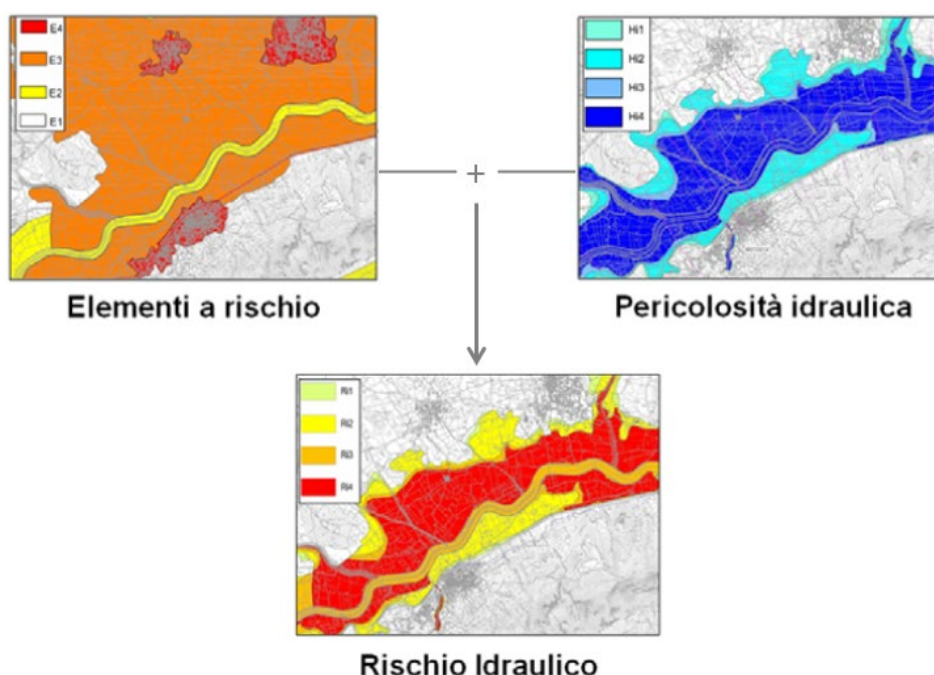
MACROCATEGORIA	DESCRIZIONE	ELEMENTO	CODICE	PESO	CLASSE
Zone urbanizzate	Agglomerati urbani, nuclei abitati con edificazione diffusa e sparsa, zone di espansione, aree commerciali e produttive, con indicazione sul numero di abitanti potenzialmente interessati da possibili eventi alluvionali – corrispondenza con la classe A del DPCM 29.09.98 e con quanto riportato alla lettera a, comm.5, art. 6 del D.Lgs. 49/2010)	Zone residenziali	1a	1	D4
		Zone industriali, commerciali ed insediamenti produttivi	1b	1	D4
		Aree verdi urbane	1c	0,5	D2
Strutture strategiche	Ospedali e centri di cura pubblici e privati, centri di attività collettive civili, sedi di centri civici, centri di attività collettive militari – corrispondenza con la classe E del DPCM 29.09.98 e con quanto riportato alla lettera b, comm.5, art. 6 del D.Lgs. 49/2010	Strutture ospedaliere, Sanitarie e scolastiche	2a	1	D4
		Edifici pubblici, anche al di fuori delle aree residenziali	2b	1	D4
		Aree ricreative e sportive	2c	1	D3
		Aree cimiteriali	2d	1	D3
Infrastrutture strategiche	Linee elettriche, metanodotti, oleodotti, gasdotti e acquedotti, vie di comunicazione di rilevanza strategica sia carrabili che ferrate, porti e aeroporti, invasi idroelettrici, grandi dighe. Per le strade carrabili andranno riportate almeno tre tipologie: autostrade, strade di grande comunicazione e le strade di interesse regionale, tralasciando i tronchi, anche asfaltati, di interesse locale – corrispondenza con la classe C del DPCM 29.09.98 e con quanto riportato alla lettera b, comm.5, art. 6 del D.Lgs. 49/2010	Reti di comunicazione e trasporto strategiche	3a	1	D4
		Reti di comunicazione e trasporto primarie	3b	1	D3
		Reti di comunicazione e trasporto secondarie	3c	0,5	D2
		Strutture ed impianti a supporto delle reti di comunicazione e trasporto non ricadenti in aree residenziali	3d	1	D4
		Reti tecnologiche e di servizio, strutture tecnologiche a supporto delle reti	3e	1	D3
		Fognature e impianti di depurazione	3f	1	D3
Beni ambientali, storici e culturali di rilevante interesse	Aree naturali, aree boscate, aree protette e vincolate, aree di vincolo paesaggistico, aree di interesse storico e culturale, zone archeologiche – corrispondenza con la classe D del DPCM 29.09.98 e con quanto riportato alla lettera c, comm.5, art. 6 del D.Lgs. 49/2010	Aree di rilievo storico-culturale e archeologico	4a	1	D4
		Aree protette	4b	0,5	D4
Zone interessate da attività economiche, industriali o impianti tecnologici, potenzialmente pericolosi dal punto di vista ambientale	Ai sensi di quanto individuato nell'allegato I del D.L. 59/2005), zone estrattive discariche, depuratori, inceneritori corrispondenza con la classe B del DPCM 29.09.98 e con quanto riportato alla lettera d, comm.5, art. 6 del D.Lgs. 49/2010	Aree estrattive	5a	0,75	D2
		Discariche	5b	0,75	D3
		Cantieri	5c	0,75	D3
		Impianti a rischio	5d	1	D4

MACROCATEGORIA	DESCRIZIONE	ELEMENTO	CODICE	PESO	CLASSE
<b>Zone agricole, zone umide, corpi idrici</b>	Zone destinate ad uso agricolo o caratterizzate da elementi di naturalità	Superfici agricole seminate	6a	0,5	D2
		Superfici agricole permanenti ed eterogenee	6b	0,5	D2
		Aree boscate e prati	6c	0,2	D1
		Zone Umide	6d	0,2	D1
		Corpi idrici	6e	0,2	D1
		Superfici a vegetazione rada	6f	0,2	D1

**Tabella 8 - Classificazione degli elementi a rischio così come definita dal PGRA.**

## 7 DEFINIZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO

Sulla base delle considerazioni maturate durante le varie fasi in cui si è articolato il presente studio, viene elaborata la **CARTA DEL RISCHIO IDRAULICO DERIVANTE DALLO STUDIO PROPOSTO** (elaborato **1024-CRI-15-2-IDRO**), che descrive attraverso l'analisi della **CARTA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA DERIVANTE DALLO STUDIO PROPOSTO CON FASCE DI PRIMA SALVAGUARDIA** e della **CARTA DEL DANNO POTENZIALE DERIVANTE DALLO STUDIO PROPOSTO**, *"l'entità del danno atteso in una data area e in un certo intervallo di tempo in seguito al verificarsi di un particolare evento calamitoso"*.



**Figura 13 - Diagramma che indica i passaggi per la redazione della carta del rischio idraulico**

Secondo la notazione usuale il Rischio (**R**) è definito come il prodotto di tre fattori secondo l'espressione:

$$R = P \times E \times V = P \times D$$

dove:

- **R (rischio)**: numero atteso di vittime, persone ferite, danni a proprietà, beni culturali e ambientali, distruzione o interruzione di attività economiche, in conseguenza di un fenomeno naturale di assegnata intensità;
- **P (pericolosità)**: probabilità di accadimento, all'interno di una certa area e in un certo intervallo di tempo, di un fenomeno naturale di assegnata intensità;
- **E (elementi esposti)**: persone e/o beni (abitazioni, strutture, infrastrutture, ecc.) e/o attività (economiche, sociali, ecc.) esposte ad un evento naturale;
- **V (vulnerabilità)**: intesa come capacità a resistere alla sollecitazione indotte dall'evento e quindi dal grado di perdita degli elementi a rischio E in caso del manifestarsi del fenomeno.



- **D (danno potenziale):** grado di perdita prevedibile a seguito di un fenomeno naturale di data intensità, funzione sia del valore che della vulnerabilità dell'elemento esposto.

#### ANALISI DEL RISCHIO IDRAULICO

Il Rischio idraulico totale è quantificato secondo quattro livelli riportati in Tabella 10 (estratto Linee Guida PAI). Le mappe del rischio idraulico (**Ri**) rappresentano i livelli di rischio derivati dall'incrocio delle tre classi di pericolosità idraulica (**P**) con le quattro classi omogenee di danno potenziale (**D**), secondo la seguente matrice:

MATRICE DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO		CLASSI DI PERICOLOSITÀ			
		P3 (Hi4)	P2 (Hi2-Hi3)		P1 (Hi1)
		Tr. 500 anni	Tr. 200-100 anni		Tr. 50 anni
CLASSI DI DANNO POTENZIALE	D4	R4	R3	R3	R2
	D3	R4	R3	R3	R1
	D2	R3	R2	R2	R1
	D1	R1	R1	R1	R1

**Tabella 9 – Matrice di valutazione del rischio idraulico.**

Dall'intersezione delle aree inondabili con le mappe degli elementi a rischio, ovvero per equivalenza le classi di danno potenziale, secondo la matrice riportata in Tabella 9, è stata definita la **CARTA DEL RISCHIO IDRAULICO DERIVANTE DALLO STUDIO PROPOSTO** in scala 1:10.000 illustrata nell'elaborato **1024-CRI-15-2-IDRO** e la **CARTA DEL RISCHIO IDRAULICO DERIVANTE DALLO STUDIO PROPOSTO – CENTRO ABITATO** in scala 1:2.000 illustrata nell'elaborato **1024-CRC-16-2-IDRO**.

I colori riportati nei riquadri della matrice corrispondono a quelli impiegati nella composizione degli elaborati grafici, secondo le specifiche delle Linee Guida del PAI.

RISCHIO IDRAULICO TOTALE			DESCRIZIONE DEGLI EFFETTI
CLASSI	INTENSITÀ	VALORE	
Ri1	Moderato	≤ 0,002	Danni sociali, economici e al patrimonio ambientale marginali.
Ri2	Medio	≤ 0,005	Sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche.
Ri3	Elevato	≤ 0,01	Sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale.
Ri4	Molto elevato	≤ 0,02	Sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione delle attività socioeconomiche.

**Tabella 10 - Descrizione delle classi di rischio idraulico e la loro quantificazione, secondo le Linee Guida del PAI.**

## 8 INTEGRAZIONI

Come riportato nella richiesta di integrazioni, nota prot. n. 841 del 27/01/2025:

1. *Sono presenti alcuni errori topologici sulla copertura della pericolosità idraulica che questo Ufficio ha già provveduto a correggere (vedi la cartografia digitale allegata alla presente);*

È stata eseguita una verifica topologica sugli shapefile relativi alla pericolosità idraulica, al danno potenziale e al rischio idraulico, provvedendo all'eliminazione di eventuali errori riscontrati.

2. *Sono presenti errori di classificazione sulla copertura del rischio idraulico dovute probabilmente ad errata applicazione della matrice di cui all'art. 40 delle Norme di Attuazione del P.A.I.. Si richiede perciò di modificare i file allegati alla presente adeguando la copertura del rischio idraulico a quanto normato dall'art.40 delle suddette norme e come riportato al punto 5 delle "Specifiche tecniche per la predisposizione degli elaborati cartografici" approvato con Determinazione del Segretario Generale dell'Autorità di Bacino n. 142 del 30/09/2024;*

Lo shapefile relativo alla copertura del rischio idraulico è stato aggiornato, con verifica della correttezza della matrice di calcolo ed eliminazione degli elementi cartograficamente non significativi.

3. *La cartografia della pericolosità idraulica non risulta coordinata (raccordata) con le pericolosità ascrivibili alla presenza del Lago Omodeo (attualmente classificata a pericolosità idraulica molto elevata (Hi4), che invece non vengono rappresentate. È necessario raccordare, sempre nei file allegati alla presente, la pericolosità idraulica proveniente dallo studio con le pericolosità già presenti in relazione al lago, e rappresentarle entrambe congiuntamente;*

È stato aggiornato lo shapefile relativo alla pericolosità idraulica, raccordando la rappresentazione della pericolosità con quella vigente per il Lago Omodeo. Sebbene il lago non sia oggetto di modellazione idraulica specifica in questo studio, negli elaborati cartografici e digitali è stata integrata la pericolosità prodotta, garantendo la coerenza con quella già associata al lago.

4. *Nella copertura delle sezioni idrauliche (shapefile) viene rappresentata un'unica sezione in corrispondenza del Rio Boelis. Si chiede che vengano indicate tutte le sezioni idrauliche rilevate. Si ricorda che la tabella attributi associata alle sezioni idrauliche deve contenere i dati relativi alle portate, tiranti idrici, velocità etc. conformemente a quanto meglio definito al punto 4.1 delle già citate "Specifiche tecniche per la predisposizione degli elaborati cartografici".*

Lo shapefile delle sezioni idrauliche è stato completato integrando le sezioni mancanti. Inoltre, la tabella degli attributi è stata aggiornata in conformità alle indicazioni riportate nelle "Specifiche tecniche per la predisposizione degli elaborati cartografici".