

RADDOPPIO DECIMOMANNU - VILLAMASSARGIA

**Lotto 2 di sviluppo 5,5 km circa tra la località di servizio Villaspeciosa - Uta (e)
e la località di servizio Siliqua (e).**

(CUP J74E21000940009)

Progetto di fattibilità tecnico economica

Richiesta di integrazione/chiarimenti del
Comitato Speciale del
Consiglio Superiore Lavori Pubblici

Rif. Nota n. 9721 datata 03.08.2023
(Registro ufficiale n.0009721)

ANNESSO TECNICO 02
RISCONTRO ALLA TEMATICA
Aspetti Idrologici e Idraulici

Nota di riscontro al punto 1

1. Premessa

La presente nota, a corredo della documentazione trasmessa ed acquisita al protocollo del Consiglio superiore dei ll.pp. al n. 8934 del 19/07/2023 (NPP 0394 Raddoppio Decimomannu - Villamassargia. Lotto 2 - CUP: J74E21000940009), descrive e analizza le condizioni di pericolosità idraulica esistenti, nonché i risultati ottenuti negli studi idraulici di dettaglio sviluppati, lungo l'intera tratta ferroviaria Decimomannu-Villamassargia, con particolare riferimento ai lotti denominati "Tratta 1 – Raddoppio Decimomannu – Villaspeciosa"; "Tratta 3 – Raddoppio Siliqua (stazione inclusa) – Punto intermedio (Nuovo P.C.)"; "Tratta 4 – Raddoppio Punto Intermedio (Nuovo P.C.) – Villamassargia", unitamente alle relative soluzioni progettuali scelte ai fini dell'intervento di raddoppio ferroviario, ad integrazione di quanto richiesto dal Comitato Speciale del CSLLPP, con nota *M_INF.CSLP.REGISTRO UFFICIALE.U.0009721.03-08-2023*, al punto 1) relativo agli aspetti idrologici e idraulici:

"1) Poiché il progetto presentato è un lotto non funzionale dell'intera tratta ferroviaria Decimomannu-Villamassargia, e gli altri tre lotti presentano problematiche idrauliche significative, è necessario integrare e trasmettere a questo Comitato la documentazione con lo studio idraulico dell'intera tratta e delle relative soluzioni, al fine di assicurare la fattibilità e funzionalità dell'intera opera."

2. Descrizione generale dell'intervento

L'intervento in progetto si sviluppa lungo la linea ferroviaria esistente tra Decimomannu e Villamassargia, per una estensione di circa 30 km e prevede la realizzazione del raddoppio di binario tra le due località di servizio, e la soppressione degli attuali passaggi a livello.

L'intervento è suddiviso in n°4 tratte funzionali, ove ogni singola tratta migliorerà la sicurezza della linea e produrrà un recupero dei tempi di percorrenza propedeutico alla finalizzazione del raddoppio completo, raggiunto il quale sarà possibile creare le condizioni per un incremento dell'offerta con un cadenzamento a 15' dei collegamenti Villamassargia – Cagliari.



Figura 1: Raddoppio Decimomannu – Villamassargia – Suddivisione in tratte.

Di seguito si riporta l'elenco delle tratte ferroviarie di progetto:

- *Tratta 1 – Raddoppio Decimomannu – Villaspeciosa*
- *Tratta 2 – Raddoppio Villaspeciosa – abitato di Siliqua (stazione esclusa)*
- *Tratta 3 – Raddoppio Siliqua (stazione inclusa) – Punto intermedio (Nuovo P.C.)*
- *Tratta 4 – Raddoppio Punto Intermedio (Nuovo P.C.) – Villamassargia*

La tratta 2 rientra tra le opere finanziate con i fondi del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza ed è attualmente al vaglio del *Comitato Speciale* del CSLLPP.

Con riferimento alle altre tre tratte, al fine di assicurare la fattibilità e la funzionalità dell'intero intervento di raddoppio ferroviario, nei capitoli seguenti si procederà dapprima ad una dettagliata rassegna delle condizioni di pericolosità idraulica esistenti; successivamente saranno descritti gli studi idraulici di approfondimento sviluppati e, in dipendenza dei relativi risultati, le soluzioni di “nuovo” tracciato a doppio binario individuate, per ognuna di tali tratte.

3. Pericolosità idraulica nell'area di intervento

Dal punto di vista idrologico-idraulico, la tratta ferroviaria in progetto si sviluppa interamente in affiancamento al Riu *Cixerri*, per attraversare poi il *Flumini Mannu* all'arrivo/ingresso a Decimomannu. Lungo il suo sviluppo, sono inoltre attraversati numerosi corsi d'acqua minori/secondati, tributari del *Riu Cixerri* stesso, e il *Riu Spinosu* (tributario in destra idraulica del *Flumini Mannu*), in prossimità di Villaspeciosa.

Il quadro conoscitivo di riferimento per la caratterizzazione idraulica dell'area di intervento, e la definizione delle relative aree di pericolosità/rischio, è attualmente riportata nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna (II ciclo di pianificazione, ultimo aggiornamento dicembre 2021).

In particolare, sono individuate **4 classi di pericolosità idraulica** (*Hi4 – probabilità molto alta, Hi3 – probabilità alta, Hi2 – probabilità moderata, Hi1 – probabilità bassa*).

Con riferimento quindi alle mappe di pericolosità idraulica definite nell'ambito del P.G.R.A., si riporta di seguito una disamina delle principali criticità.

Tratta 1 – Raddoppio Decimomannu – Villaspeciosa

In corrispondenza di Decimomannu, la principale interferenza idraulica è rappresentata dal corso d'acqua denominato *Flumini Mannu*, attraversato dalla linea ferroviaria esistente all'uscita dalla stazione di Decimomannu, in un tratto fluviale caratterizzato da aree a pericolosità idraulica molto elevata (*Hi4*).

Nello specifico, la linea ferroviaria è interessata da aree a pericolosità idraulica molto elevata per un tratto di circa 3 km, tra Decimomannu e Villaspeciosa. La stazione di Decimomannu e la fermata di Villaspeciosa ricadono entrambe in aree a pericolosità idraulica bassa (*Hi1*).

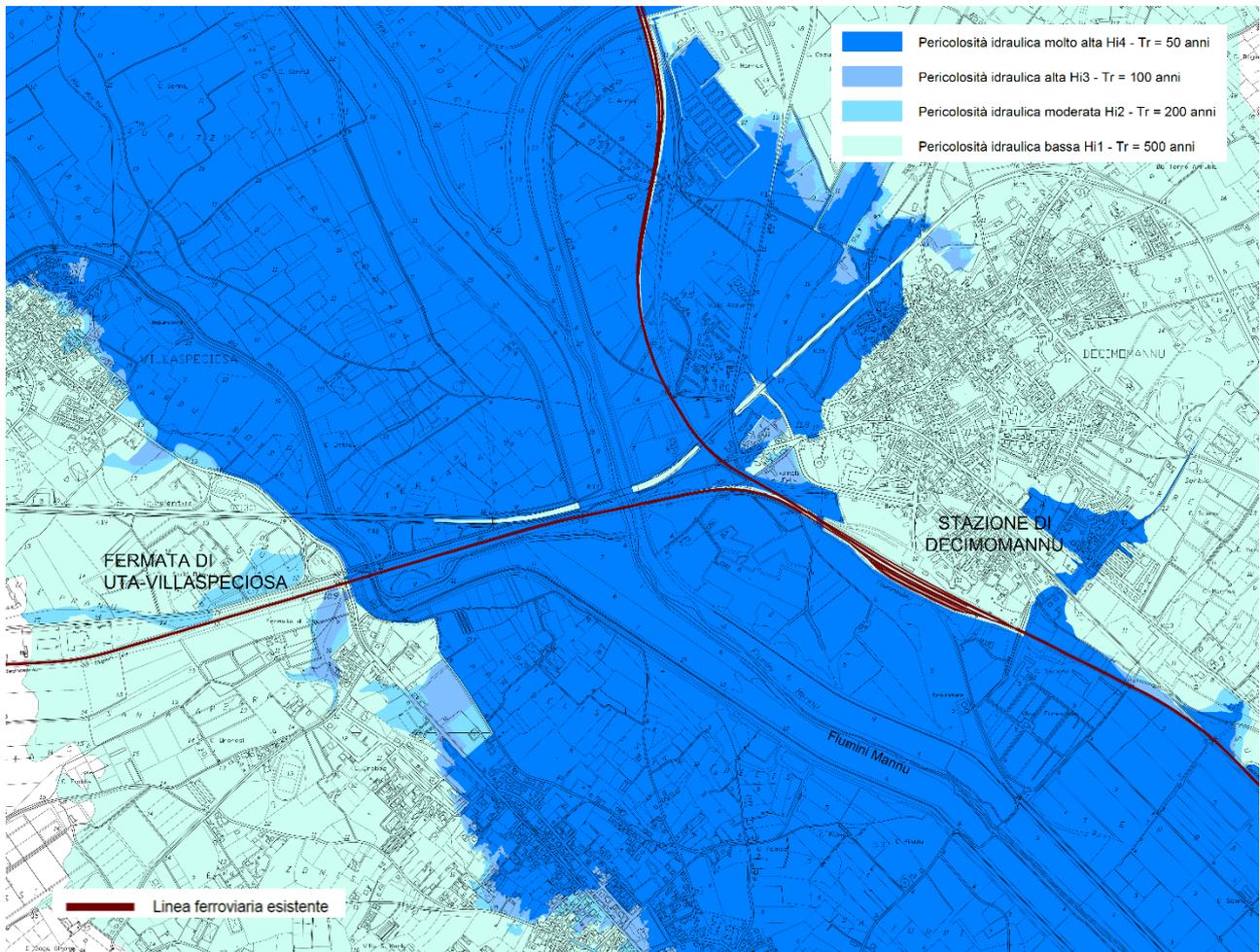


Figura 2: Pericolosità idraulica nell'area di intervento – Tratta 1, Decimomannu - Villaspeciosa.

Tratta 3 – Raddoppio Siliqua (stazione inclusa) – Punto intermedio (Nuovo P.C.)

Nel tratto tra Siliqua e Punto Intermedio (Nuovo P.C.), la linea ferroviaria esistente risulta completamente interessata da aree a pericolosità idraulica molto elevata (*Hi4*), elevata (*Hi3*) e moderata (*Hi2*), associate all'esondazione delle piene del *Riu Cixerri* e dei suoi principali affluenti in sinistra idraulica.

La stazione di Siliqua, come quella di Decimomannu e Villaspeciosa, ricade in aree a pericolosità idraulica bassa (*Hi1*).

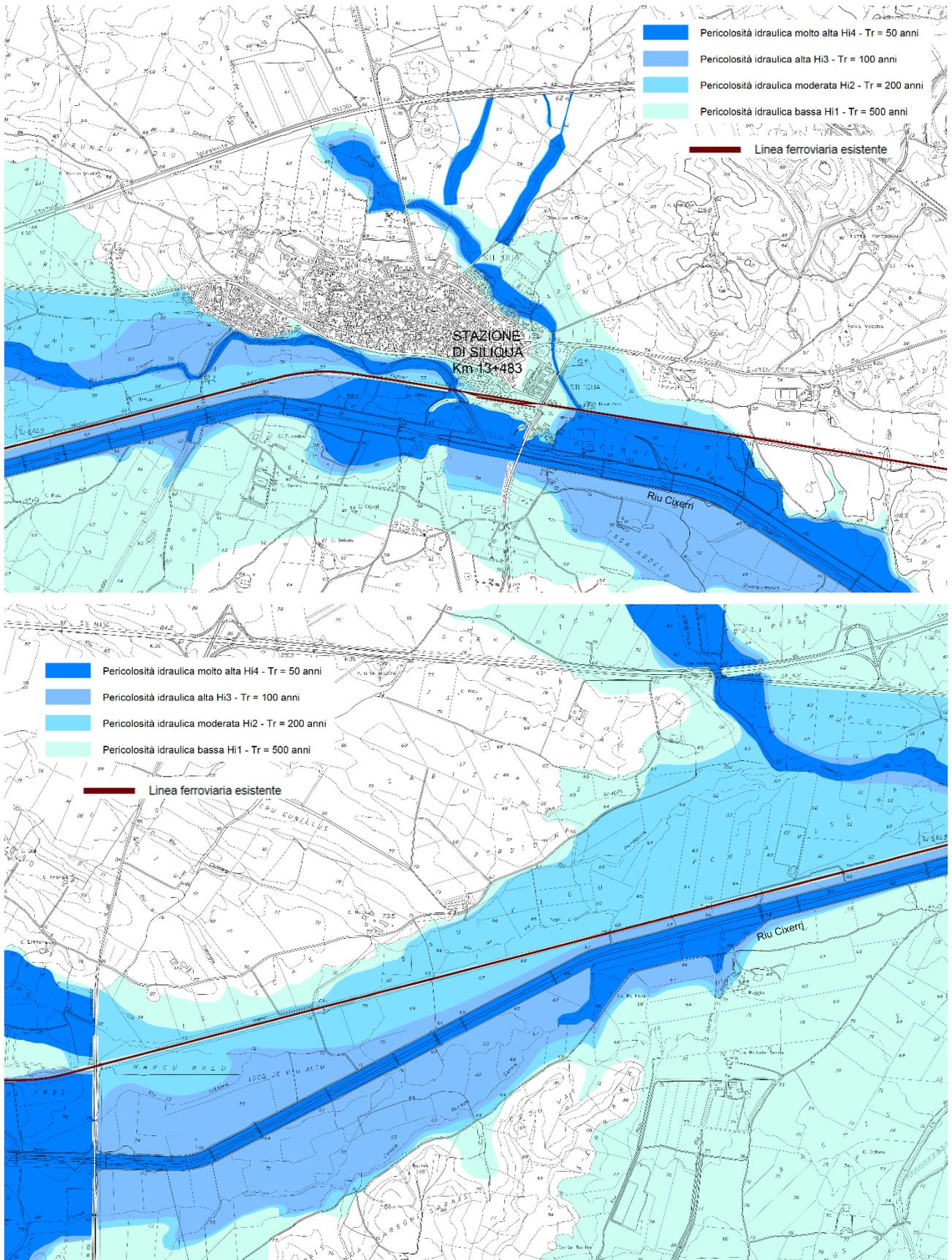


Figura 3: Pericolosità idraulica nell'area di intervento – Tratta 3, Siliqua (stazione inclusa) – Punto intermedio (Nuovo P.C.).

Tratta 4 – Raddoppio Punto Intermedio (Nuovo P.C.) – Villamassargia

Anche nel tratto tra Punto Intermedio (Nuovo P.C.) e Villamassargia, la linea ferroviaria esistente risulta completamente interessata da aree a pericolosità idraulica molto elevata (*Hi4*), elevata (*Hi3*), moderata (*Hi2*) e bassa (*Hi1*), associate all'esonazione delle piene del *Riu Cixerri* e dei suoi principali affluenti in sinistra idraulica.

La stazione di Villamassargia, come quella di Decimomannu, Villaspeciosa e Siliqua, ricade in aree a pericolosità idraulica bassa (*Hi1*).

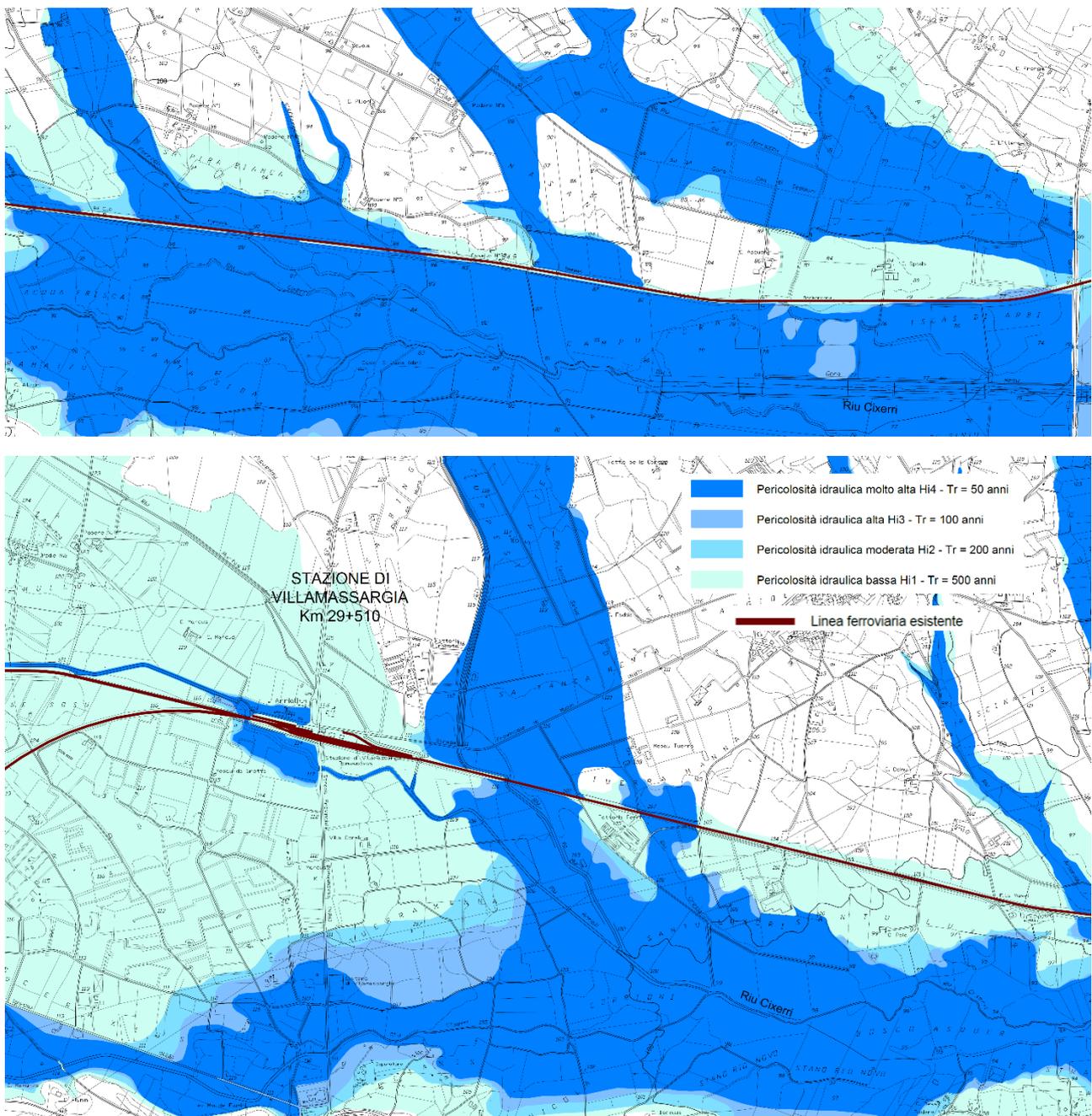


Figura 4: Pericolosità idraulica nell'area di intervento – Tratta 4, Punto intermedio (Nuovo P.C.) - Villamassargia.

Stante lo scenario di pericolosità idraulica esistente sopra illustrato e descritto, si è reso necessario uno studio idrologico-idraulico di dettaglio, atto a verificare/confermare quanto definito nell'ambito della pianificazione di bacino vigente (P.G.R.A. – II ciclo, 2021).

Nello specifico, lungo l'intera tratta ferroviaria Decimomannu-Villamassargia sono stati sviluppati studi idraulici secondo modello numerico bidimensionale (2D), in regime di moto vario, dei corsi d'acqua interferenti ai fini della determinazione delle aree potenzialmente inondabili e dei corrispondenti livelli idrici e velocità della corrente, da prendere come riferimento nella progettazione dell'intervento di raddoppio ferroviario.

Nel capitolo successivo sono quindi descritte le analisi idrologiche e idrauliche eseguite:

- per il **Flumini Mannu** e i suoi affluenti principali (*Tratta 1*).
- per il **Riu Cixerri** e i suoi affluenti principali (*Tratte 3 e 4*).

4. Studi idrologici e idraulici

4.1. Analisi idrologiche: metodologie e criteri per la stima delle portate al colmo di progetto

In generale, è stato dapprima condotto lo studio idrologico dei bacini “interferiti” ai fini della determinazione delle portate di progetto di riferimento. Sono stati delimitati i sottobacini di interesse e presi in considerazione e analizzati i dati di pioggia registrati presso le stazioni pluviometriche di interesse, nonché le risultanze della procedura di regionalizzazione VA.P.I. di riferimento (“*Valutazione delle Piene in Sardegna*” [e.g. Cao et al., 1991; Deidda et al., 1993; Deidda e Piga, 1996; Deidda et al., 1997]).

Di seguito, si riporta la delimitazione dei bacini e/o sottobacini oggetto di studio, unitamente alle loro caratteristiche morfometriche.

Bacino del Flumini Mannu (Tratta 1)

Il *Flumini Mannu* è il quarto fiume della Sardegna per ampiezza di bacino e presenta una lunghezza complessiva di circa 105 km, di cui circa 96 km classificati come asta principale.

Nell'ambito del presente studio, è stato delimitato il bacino di interesse del *Flumini Mannu*, compresi i sottobacini dei due affluenti, *Riu Spinosu* e *Riu Mannu di San Sperate*.

Il *Riu Mannu di San Sperate* confluisce nel *Flumini Mannu* circa 700 metri a monte dell'attraversamento ferroviario esistente (del *Flumini Mannu* stesso); mentre il *Riu Spinosu*, confluisce nel *Flumini Mannu* circa 100 metri a valle dell'attraversamento ferroviario.

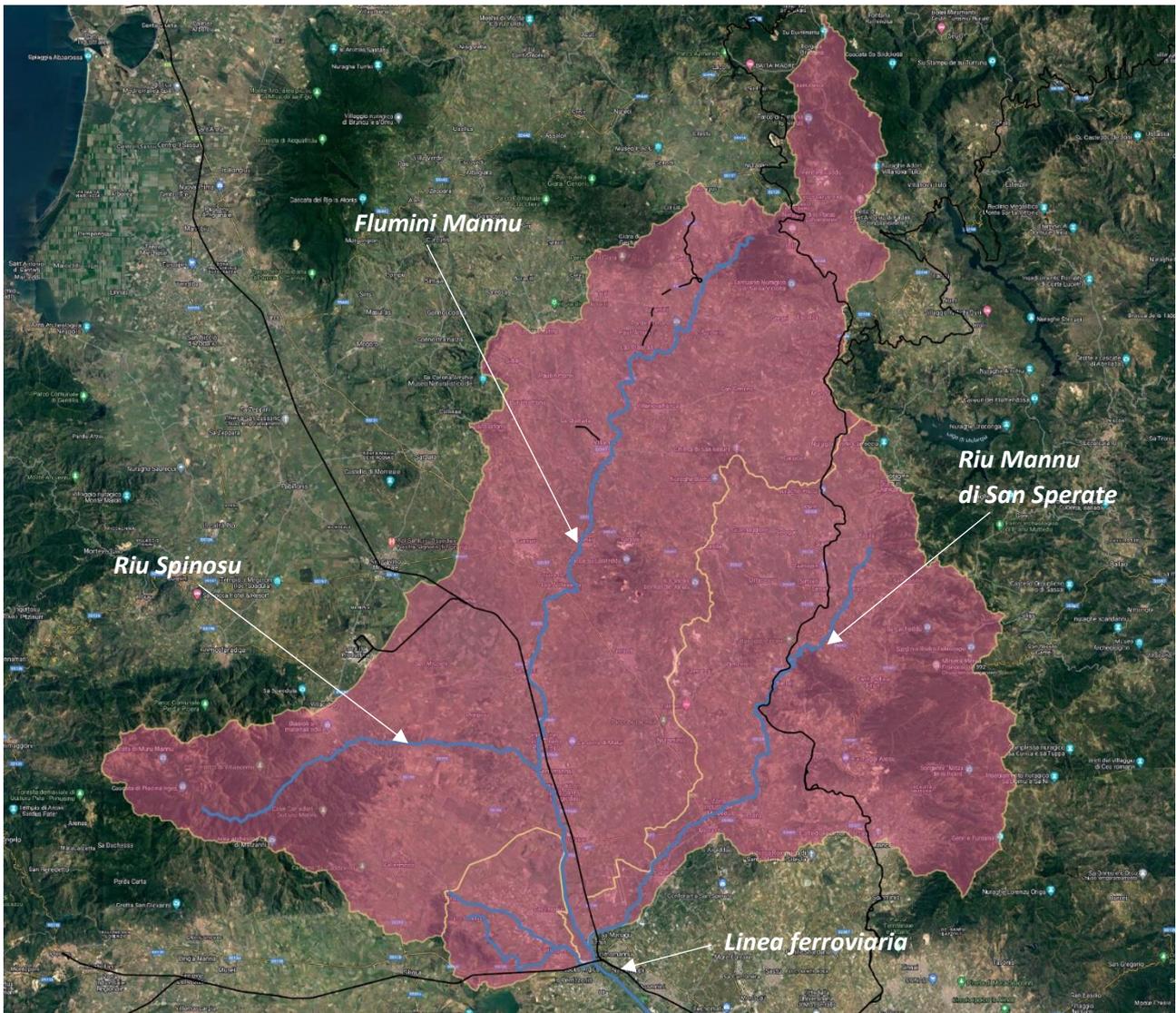


Figura 5: Flumini Mannu, sottobacini di riferimento.

Sottobacino	A (km ²)	L (km)	H _{max} (m slm)	H _{min} (m slm)	H _{med} (m slm)	i _{asta} (m/m)	i _{bac} (m/m)
Flumini Mannu (monte)	1122.13	67.88	1233.51	4.38	241.49	0.005	0.140
Riu Mannu di San Sperate	514.97	42.43	959.06	6.46	279.95	0.005	0.170
Riu Spinosu	70.22	13.33	252.06	4.45	33.78	0.003	0.045

Tabella 1 – Flumini Mannu, sottobacini di riferimento: parametri morfometrici.

Bacino del Riu Cixerri (Tratte 3 e 4)

Il Riu Cixerri è un fiume a carattere torrentizio che scorre in Sardegna meridionale, attraversando la provincia del Sud Sardegna e la città metropolitana di Cagliari, e presenta una lunghezza complessiva di circa 40 km.

Poco a valle di Siliqua lo sbarramento della diga di Genna is Abis ha creato un bacino per la regolamentazione delle acque e l'approvvigionamento per usi agricoli, civili e industriali.

In seguito ad importanti e complessi lavori di bonifica le acque del Riu Cixerri si versano direttamente nello stagno di Cagliari, mentre in precedenza era un affluente di destra del Flumini Mannu.

La linea ferroviaria oggetto di intervento di raddoppio non attraversa direttamente il *Riu Cixerri*, ma si sviluppa parallelamente ad esso, in alcuni tratti anche in stretto affiancamento; interferisce invece direttamente con i suoi principali affluenti in sinistra idraulica.

Ai fini dello sviluppo dello studio idraulico complessivo sono state delimitati anche i sottobacini degli affluenti del *Riu Cixerri* in destra idraulica, come mostrato nella figura seguente. La sezione di chiusura finale del bacino “complessivo” di interesse del *Riu Cixerri* corrisponde all’immissione nell’invaso artificiale generato dallo sbarramento della diga di Genna is Abis.

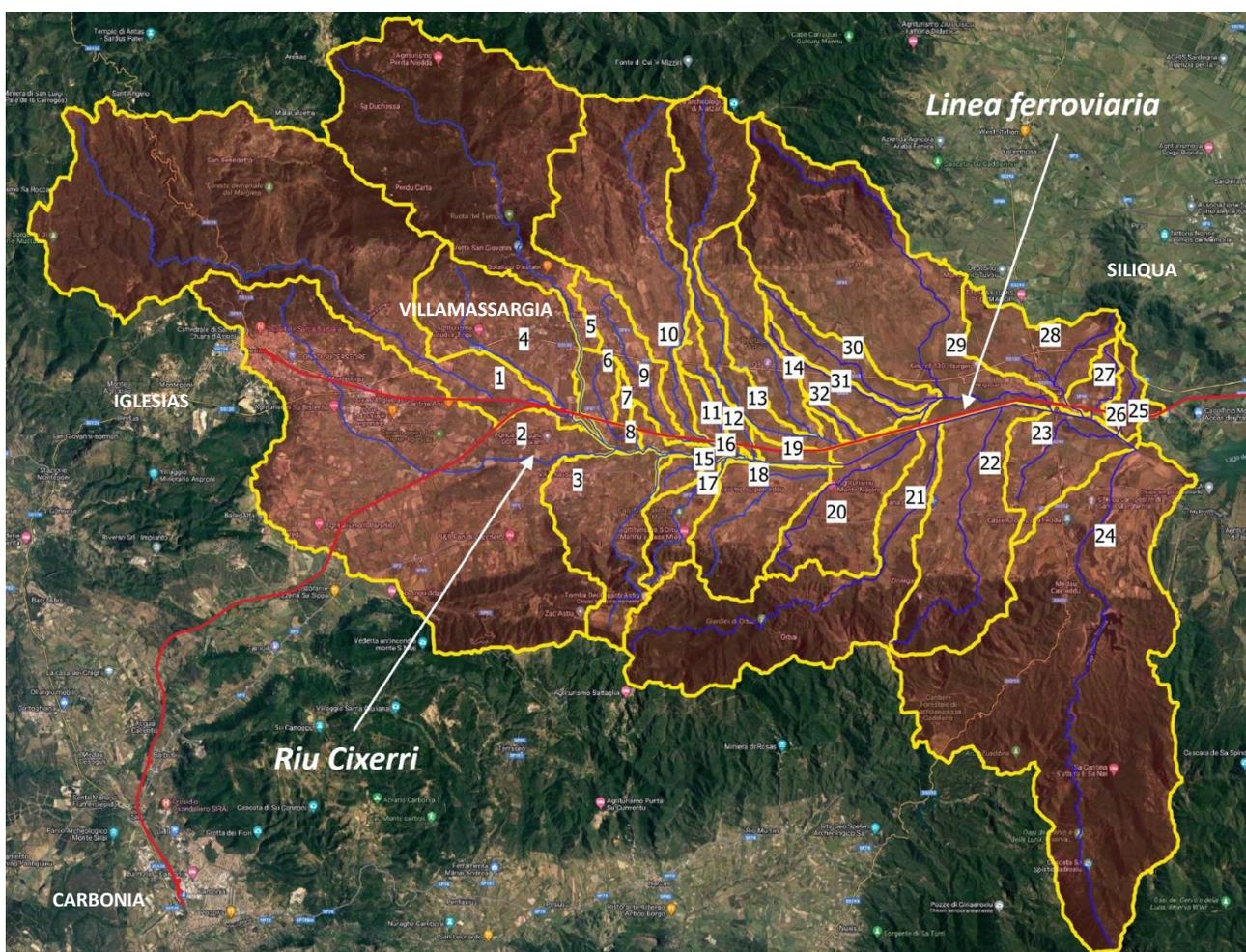


Figura 6: Riu Cixerri, sottobacini di riferimento.

ID	Sottobacino	A (kmq)	L (km)	H _{max} (m slm)	H _{min} (m slm)	H _{med} (m slm)	i _{asta} (m/m)
1	Riu Arriali	60.81	23.28	904.5	99.37	428.19	0.022
2	Riu Cixerri	69.74	14.45	615.2	96.92	189.18	0.016
3	Riu Aconi	12.83	7.66	583.4	90.44	215.44	0.048
4	Riu Murtas	13.53	6.65	904.4	106.66	189.1	0.074
5	Riu Sa Mura	40.18	17.12	934.33	100.2	491.98	0.028
6	Riu Tanca Seius	2.18	3.54	131.06	102.55	115.07	0.008
7	Riu Tanca Seius (tributario)	0.63	0.39	128.87	99.98	109.82	0.010
8	Interbacino Riu Cixerri	0.97	1.18	108.93	94.06	100.25	0.006
9	Riu Arixeddu	5.24	6.53	190.24	90.23	122.67	0.009
10	Riu Forresu	24.30	14.19	704.4	82.92	262.2	0.038
11	Gora S'Affangadroxia	1.47	2.20	117.54	83.8	98.32	0.010
	Senza Denominazione						
12	(21616)	2.55	3.54	136.45	78.65	102.26	0.008
13	Sa Gora Cea Seddori	14.80	14.20	914.02	69.5	289.8	0.046
14	Riu Predi	8.29	8.79	437.17	74.96	139.85	0.014
	Senza Denominazione						
15	(23335)	1.26	2.21	118.4	84.98	96.7	0.009
16	Interbacino Riu Cixerri	2.09	3.90	111.95	80.18	92.59	0.004
17	Riu Santa Luxia	4.23	5.82	412.2	81.06	185.11	0.049
18	Riu De Foras	10.11	6.61	413.03	69.92	141.07	0.045
19	Interbacino Riu Cixerri	1.56	3.39	89.53	68.6	78.7	0.004
20	Canale Narboa Sarais	10.64	7.70	237.30	61.8	96.6	0.012
21	Riu San Giacomo	26.80	16.25	722.20	60.6	303	0.027
22	Riu Piringinus	18.60	11.10	725.10	48.5	173	0.052
23	Interbacino 23	7.96	5.00	113.30	42	66.1	0.008
24	Interbacino 24	67.50	19.00	1114.10	34.2	292.5	0.046
25	Sa Gora Giga Mazzani	2.24	2.30	206.20	43	65.5	0.012
26	Senza denominazione	0.24	1.00	55.90	45	49.2	0.002
27	Senza denominazione	2.10	3.50	116.80	44	68.9	0.013
28	Riu Forrus	8.70	4.70	231.90	46.7	74.4	0.032
29	Riu S'Ollistincu	33.50	18.90	725.30	48.5	190.1	0.030
30	Riu Giba Acuzza	5.33	7.20	170.60	59	92.9	0.012
31	Riu Acqua Dolce	3.75	6.20	135.90	60.4	85.9	0.010
32	Riu Tidongia	1.20	4.80	96.90	60.2	76.3	0.005

Tabella 2 - Riu Cixerri, sottobacini di riferimento: parametri morfometrici.

Relativamente alla caratterizzazione delle precipitazioni, con particolare riferimento alle registrazioni pluviometriche disponibili, si rimanda a quanto precisato già nello studio idrologico a corredo del PFTE *Raddoppio Decimomannu-Villamassargia, Tratta 2 – Raddoppio Villaspeciosa – abitato di Siliqua (stazione esclusa)*, attualmente al vaglio del Comitato Speciale del CSLLPP.

Nello specifico, in ragione dell'inconsistenza e della scarsità dei dati di pioggia disponibili, per la stima delle portate al colmo di progetto per i corsi d'acqua interferiti, si è ritenuto ragionevole fare riferimento alle metodologie di regionalizzazione disponibili per il territorio in esame, di seguito descritte, ormai consolidate e applicate nella Regione Sardegna, anche a livello di pianificazione di bacino (i.e. P.A.I./P.G.R.A.).

In particolare, si è fatto riferimento a:

- *procedura di regionalizzazione V.A.P.I. della Regione Sardegna*, che per la stima della pioggia indice $m[h(d)]$ e del coefficiente di crescita K_T ricorre alle seguenti formulazioni

$$m[h(d)] = a_0 d^{n_0}$$

$$a_0 = m[h_g] / (0.886 24^{n_0})$$

$$n_0 = -0.493 + 0.476 \text{ Log } m[h_g]$$

per $Tr \leq 10$ anni

$$K_T = a_1 d^{n_1}$$

$$1^\circ \text{ SZO } a_1 = 0.66105 + 0.85994 \text{ Log } T ; \quad n_1 = -0.13558 \cdot 10^{-3} - 0.13660 \cdot 10^{-1} \text{ Log } T$$

$$2^\circ \text{ SZO } a_1 = 0.64767 + 0.89360 \text{ Log } T ; \quad n_1 = -0.60189 \cdot 10^{-2} + 0.32950 \cdot 10^{-3} \text{ Log } T$$

$$3^\circ \text{ SZO } a_1 = 0.62408 + 0.95234 \text{ Log } T ; \quad n_1 = -0.25392 \cdot 10^{-1} + 0.47188 \cdot 10^{-1} \text{ Log } T$$

per $Tr > 10$ anni

$$K_T = a_2' d^{n_2'} \quad \text{per } d \leq 1 \text{ ora}$$

$$K_T = a_2'' d^{n_2''} \quad \text{per } d \geq 1 \text{ ora}$$

1° SZO

$$a_2' = a_2'' = 0.46378 + 1.0386 \text{ Log } T;$$

$$n_2' = -0.18449 + 0.23032 \text{ Log } T - 0.33330 \cdot 10^{-1} (\text{Log } T)^2;$$

$$n_2'' = -0.10563 \cdot 10^{-1} - 0.79034 \cdot 10^{-2} \text{ Log } T;$$

2° SZO

$$a_2' = a_2'' = 0.44182 + 1.0817 \text{ Log } T;$$

$$n_2' = -0.18676 + 0.24310 \text{ Log } T - 0.35453 \cdot 10^{-1} (\text{Log } T)^2;$$

$$n_2'' = -0.56593 \cdot 10^{-2} - 0.40872 \cdot 10^{-2} \text{ Log } T;$$

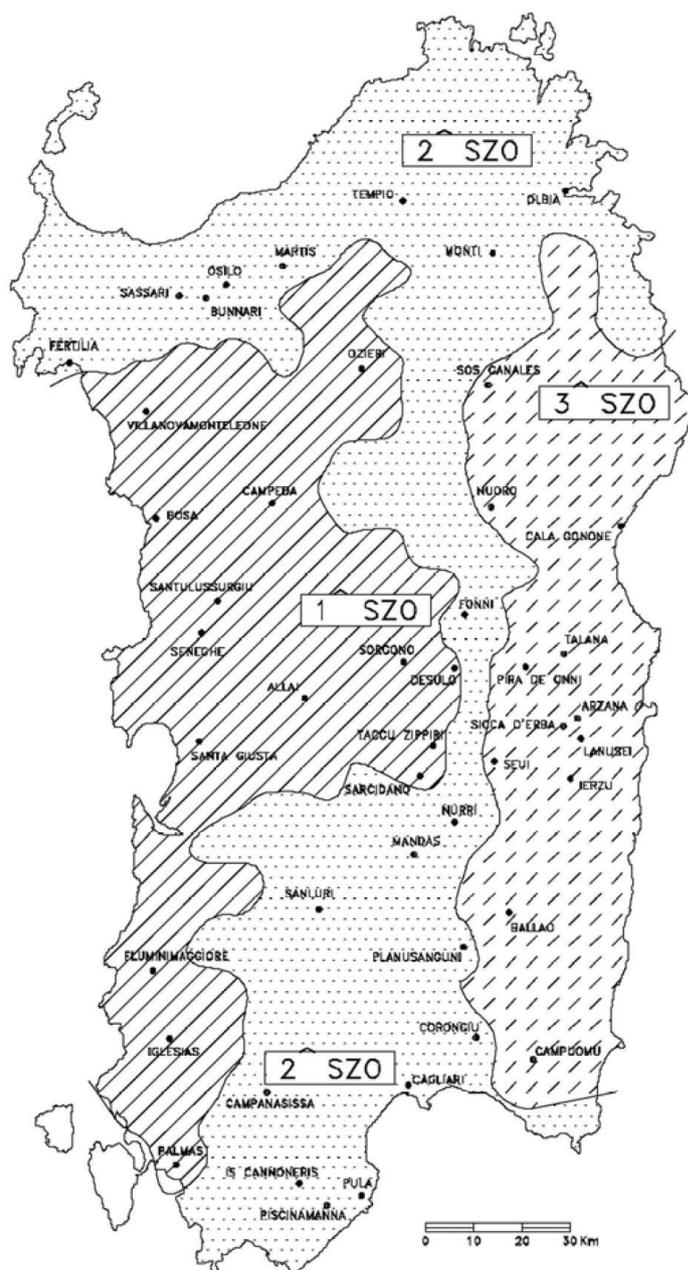
3° SZO

$$a_2' = a_2'' = 0.41273 + 1.1370 \text{ Log } T;$$

$$n_2' = -0.19055 + 0.25937 \text{ Log } T - 0.38160 \cdot 10^{-1} (\text{Log } T)^2;$$

$$n_2'' = 0.15878 \cdot 10^{-1} + 0.76250 \cdot 10^{-2} \text{ Log } T;$$

con $m[h_g]$ = parametro dipendente dalla sottozona pluviometrica omogenea.



Di seguito, i valori dei parametri di tale metodologia per i sottobacini di interesse (e per un tempo di ritorno di 200 anni, di riferimento/progetto, in accordo alle NTC2018 e alle NTA del P.A.I.).

Bacino del Flumini Mannu (Tratta 1)

Sottobacino	$m[h_g]$ (mm)	K_T	a_0	n_0	a_T
<i>Flumini Mannu (monte)</i>	50.1	2.83	20.71	0.32	58.70
<i>Riu Mannu di San Sperate</i>	52.4	2.86	21.03	0.33	60.09
<i>Riu Spinosu</i>	51.2	2.87	20.86	0.32	59.94

Tabella 3 - Flumini Mannu, sottobacini di riferimento: parametri della curva di possibilità pluviometrica per $Tr = 200$ anni, secondo metodologia VAPI.

Bacino del Riu Cixerri (Tratte 3 e 4)

ID	Sottobacino	$m[h_g]$ (mm)	K_T	a_0	n_0	a_T
1	Riu Arriali	53.3	2.78	21.14	0.33	58.75
2	Riu Cixerri	53.6	2.77	21.18	0.33	58.69
3	Riu Aconi	55.1	2.82	21.39	0.34	60.43
4	Riu Murtas	54.9	2.83	21.37	0.34	60.47
5	Riu Sa Mura	58.5	2.78	21.83	0.35	60.80
6	Riu Tanca Seius	55.0	2.85	21.38	0.34	60.83
7	Riu Tanca Seius (tributario)	55.0	1.96	21.38	0.34	41.90
8	Interbacino Riu Cixerri	55.0	2.36	21.38	0.34	50.53
9	Riu Arixeddu	55.0	2.81	21.38	0.34	59.97
10	Riu Forresu	59.1	2.81	21.91	0.35	61.59
11	Gora S'Affangadroxia	55.1	2.63	21.39	0.34	56.17
12	Senza Denominazione (21616)	55.3	2.85	21.42	0.34	60.95
13	Sa Gora Cea Seddori	61.1	2.81	22.16	0.36	62.27
14	Riu Predi	57.6	2.80	21.72	0.34	60.73
15	Senza Denominazione (23335)	55.0	2.63	21.38	0.34	56.18
16	Interbacino Riu Cixerri	55.2	2.85	21.41	0.34	60.94
17	Riu Santa Luxia	55.5	2.84	21.45	0.34	60.90
18	Riu De Foras	58.1	2.81	21.78	0.35	61.30
19	Interbacino Riu Cixerri	57.6	2.82	21.72	0.34	61.36
20	Canale Narboa Sarais	60.6	2.91	22.10	0.36	64.21
21	Riu San Giacomo	61.2	2.90	22.18	0.36	64.31
22	Riu Piringinus	63.2	2.90	22.42	0.36	65.10
23	Interbacino 23	60.2	2.92	22.05	0.35	64.31
24	Interbacino 24	66.2	2.90	22.78	0.37	66.11
25	Sa Gora Giga Mazzani	57.0	2.70	21.64	0.34	58.37
26	Senza denominazione	58.1	2.31	21.78	0.35	50.38
27	Senza denominazione	57.5	2.86	21.71	0.34	62.11
28	Riu Forrus	57.4	2.92	21.69	0.34	63.33
29	Riu S'Ollistincu	60.0	2.88	22.03	0.35	63.54
30	Riu Giba Acuzza	59.6	2.90	21.98	0.35	63.74
31	Riu Acqua Dolce	59.5	2.91	21.96	0.35	63.85
32	Riu Tidongia	59.4	2.92	21.95	0.35	64.06

Tabella 4 - Riu Cixerri, sottobacini di riferimento: parametri della curva di possibilità pluviometrica per $Tr = 200$ anni, secondo metodologia VAPI.

- Metodologia Deidda 2016, che per la stima dell'altezza di pioggia di progetto/riferimento $h_T(t)$ ricorre invece alle seguenti formulazioni

$$h_T(\tau) = m(\tau) * y_T(\tau) = \begin{cases} a_1 \tau^{n_1} & \tau \leq 1 \text{ ora} \\ a_2 \tau^{n_2} & \tau \geq 1 \text{ ora} \end{cases}$$

$$m(\tau) = \begin{cases} a_{1m} \tau^{n_{1m}} & \tau \leq 1 \text{ ora} \\ a_{2m} \tau^{n_{2m}} & \tau \geq 1 \text{ ora} \end{cases}$$

$$y_T(\tau) = \begin{cases} a_{1y} \tau^{n_{1y}} & \tau \leq 1 \text{ ora} \\ a_{2y} \tau^{n_{2y}} & \tau \geq 1 \text{ ora} \end{cases}$$

$$a_1 = a_{1m} * a_{1y}$$

$$a_2 = a_{2m} * a_{2y}$$

$$n_1 = n_{1m} + n_{1y}$$

$$n_2 = n_{2m} + n_{2y}$$

$$n_{1m} = -0.20 + 0.33 \log_{10} m_D$$

$$n_{2m} = -0.60 + 0.52 \log_{10} m_D$$

$$a_{1m} = a_{2m} = \frac{-10 + 1.25 m_D}{24^{n_{2m}}}$$

$$n_{1y} = n_{1y_p} + n_{1y_q} \log_{10} T$$

$$n_{2y} = n_{2y_p} + n_{2y_q} \log_{10} T$$

$$a_{1y} = a_{2y} = 10^{a_{1y_p} + a_{1y_q} \log_{10} T + a_{1y_r} (\log_{10} T)^2}$$

$$n_{1y_p} = -0.08441 - 0.09092 \kappa_D + 0.07846 \sigma_D^* + 0.32383 \kappa_D^2 + 0.00793 \kappa_D \sigma_D^* + 0.01891 \sigma_D^{*2}$$

$$n_{1y_q} = +0.02720 + 0.13097 \kappa_D + 0.18360 \sigma_D^* - 0.37370 \kappa_D^2 - 0.07701 \kappa_D \sigma_D^* - 0.07303 \sigma_D^{*2}$$

$$n_{2y_p} = +0.01206 - 0.17695 \kappa_D + 0.01612 \sigma_D^* - 0.67415 \kappa_D^2 - 0.05609 \kappa_D \sigma_D^* + 0.13555 \sigma_D^{*2}$$

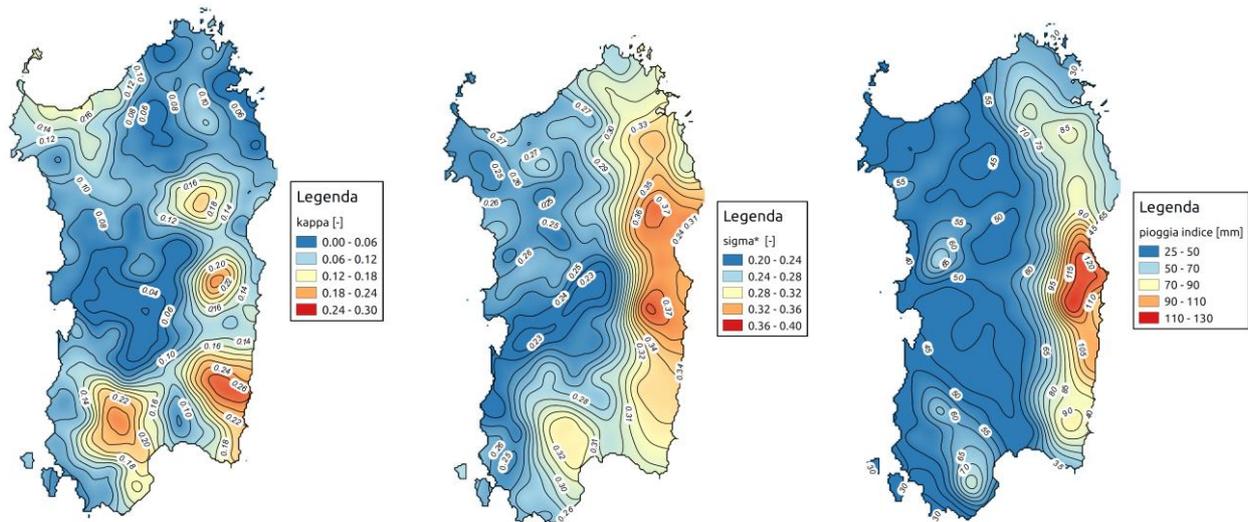
$$n_{2y_q} = -0.10358 + 0.17971 \kappa_D + 0.29584 \sigma_D^* + 0.74819 \kappa_D^2 + 0.36062 \kappa_D \sigma_D^* - 0.34968 \sigma_D^{*2}$$

$$a_{1y_p} = -0.06465 - 0.04403 \kappa_D - 0.08110 \sigma_D^* + 0.08870 \kappa_D^2 + 0.06253 \kappa_D \sigma_D^* + 0.05123 \sigma_D^{*2}$$

$$a_{1y_q} = +0.20019 + 0.06131 \kappa_D + 0.38674 \sigma_D^* - 0.09988 \kappa_D^2 - 0.10208 \kappa_D \sigma_D^* - 0.10724 \sigma_D^{*2}$$

$$a_{1y_r} = -0.01193 - 0.00329 \kappa_D - 0.05745 \sigma_D^* - 0.01044 \kappa_D^2 + 0.01938 \kappa_D \sigma_D^* + 0.01084 \sigma_D^{*2}$$

con k_D , s^*_D e m_D , parametri i cui valori sono stati “spazializzati” sull’intera Regione Sardegna.



Di seguito, i valori dei parametri di tale metodologia per i sottobacini di interesse (e per un tempo di ritorno di 200 anni, di riferimento/progetto, in accordo alle NTC2018 e alle NTA del P.A.I.).

Bacino del Flumini Mannu (Tratta 1)

Sottobacino	m_D	k_D	σ^*_D	a_1	a_2	n_1	n_2
Flumini Mannu (monte)	49.51	0.125	0.279	62.26	62.26	0.478	0.270
Riu Mannu	49.19	0.13	0.288	62.61	62.61	0.480	0.276
Riu Spinosu	57.98	0.233	0.32	69.37	69.37	0.512	0.415

Tabella 5 – Flumini Mannu, sottobacini di riferimento: parametri della curva di possibilità pluviometrica per $Tr = 200$ anni, secondo metodologia Deidda 2016.

Bacino del Riu Cixerri (Tratte 3 e 4)

ID	m_D	k_D	σ^*_D	a_1	a_2	n_1	n_2
1	50.6	0.11	0.25	61.12	61.12	0.468	0.252
2	52.1	0.15	0.25	62.02	62.02	0.474	0.287
3	54.1	0.19	0.26	63.69	63.69	0.483	0.332
4	53.9	0.14	0.25	62.99	62.99	0.479	0.287
5	55.4	0.12	0.25	63.75	63.75	0.482	0.279
6	55	0.17	0.25	63.58	63.58	0.482	0.314
7	54.8	0.18	0.26	64.08	64.08	0.485	0.327
8	54.6	0.19	0.26	63.96	63.96	0.484	0.334
9	55	0.17	0.26	64.20	64.20	0.485	0.319
10	57.2	0.16	0.26	65.34	65.34	0.491	0.320
11	55	0.2	0.27	64.77	64.77	0.488	0.349
12	55.3	0.2	0.27	64.93	64.93	0.489	0.350

<i>ID</i>	<i>m_D</i>	<i>k_D</i>	<i>σ*_D</i>	<i>a₁</i>	<i>a₂</i>	<i>n₁</i>	<i>n₂</i>
13	59.1	0.19	0.27	66.90	66.90	0.499	0.357
14	57	0.21	0.275	66.10	66.10	0.495	0.368
15	54.9	0.2	0.27	64.72	64.72	0.488	0.349
16	55	0.2	0.265	64.46	64.46	0.486	0.347
17	54.8	0.21	0.266	64.39	64.39	0.486	0.355
18	56.3	0.21	0.275	65.74	65.74	0.493	0.366
19	56.9	0.218	0.28	66.33	66.33	0.496	0.378
20	58.8	0.225	0.288	67.79	67.79	0.503	0.395
21	57.5	0.215	0.278	66.53	66.53	0.497	0.376
22	61.3	0.232	0.301	69.84	69.84	0.513	0.418
23	61.6	0.239	0.311	70.60	70.60	0.517	0.430
24	64.4	0.219	0.307	71.80	71.80	0.524	0.419
25	61.4	0.24	0.32	71.09	71.09	0.520	0.435
26	61.6	0.24	0.318	71.06	71.06	0.520	0.434
27	60.96	0.24	0.317	70.67	70.67	0.518	0.432
28a	60	0.24	0.31	69.73	69.73	0.513	0.425
28b	60	0.24	0.316	70.12	70.12	0.515	0.428
28c	60.4	0.24	0.317	70.39	70.39	0.516	0.430
29	59.7	0.228	0.292	68.48	68.48	0.507	0.404
29b	59.7	0.227	0.292	68.49	68.49	0.507	0.403
30	58.5	0.225	0.288	67.64	67.64	0.502	0.394
31	58.4	0.224	0.287	67.53	67.53	0.502	0.392
32	58.7	0.226	0.289	67.80	67.80	0.503	0.396

Tabella 6 - Riu Cixerri, sottobacini di riferimento: parametri della curva di possibilità pluviometrica per $Tr = 200$ anni, secondo metodologia Deidda 2016.

Determinate le curve di possibilità pluviometrica, si è proceduto alla stima della portata al colmo di piena di progetto (per il tempo di ritorno di 200 anni); nello specifico, in ragione della complessità idrografica dei bacini di interesse (soprattutto del bacino del *Riu Cixerri*), è stato applicato il metodo SCS implementato nel software HECHMS.

In generale, per il calcolo delle perdite ovvero del coefficiente di deflusso si è fatto riferimento al metodo SCS-CN, consultando la carta del CN costruita sulla base delle informazioni sull'uso del suolo, la litologia e la permeabilità, messa a disposizione dalla Regione Sardegna, già applicata anche a livello di pianificazione di bacino (P.A.I./P.G.R.A.). Nello specifico, i valori rappresentati in tale carta si riferiscono ad una condizione AMC (Antecedent soil moisture classes) pari a II. Tali valori, ricavati poi per i bacini oggetto di studio, sono stati successivamente modificati secondo la seguente relazione assimilandoli cautelativamente alla condizione III delle AMC:

$$CN(III) = \frac{CN(II)}{0.43 + 0.0057 \times CN(II)}$$

Per la determinazione del tempo di corrivazione τ_c (ovvero del cosiddetto *tempo di ritardo* (SCS Lag), $t_{lag} = 0.6 \cdot \tau_c$), sono state applicate alcune classiche formule empiriche di uso comune; in particolare, per i sottobacini oggetto di studio possono essere applicate le seguenti formulazioni:

– *Giandotti*

$$\tau_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - h}}$$

– *Ventura*

$$\tau_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{i_m}}$$

– *Pasini*

$$\tau_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{L \cdot A}}{\sqrt{i_m}}$$

– *Pezzoli*

$$\tau_c = 0,055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i_m}}$$

– *Viparelli*

$$L/v$$

– *SCS*

$$\tau_c = 1.67 * \frac{100L^{0.8} \cdot [(1000/CN) - 9]^{0.7}}{1900 \cdot i^{0.5}} \quad [minuti]$$

– *VAPI Sardegna*

$$\tau_c = 0.212 \cdot A^{0.231} \cdot \left(\frac{H_m}{i_m} \right)^{0.289}$$

– *Kirpich*

$$t_c = 0.000325 \cdot [(L/1000)^{0.77}] / (i^{0.385})$$

con A = area (km²), i_m = pendenza media dell'asta (m/m); i = pendenza media del bacino (m/m); H_m = quota media (m slm); h = quota della sezione di chiusura (m slm); L = lunghezza dell'asta fluviale (km); v = velocità media della corrente (1-1.5 m/s).

In tal caso, il tempo di corrvazione di riferimento è valutato come il valore minimo ottenuto dall'applicazione delle differenti formulazioni sopra introdotte.

Bacino del Flumini Mannu (Tratta 1)

Sottobacino	τ_c (ore) progetto	CN II	CN III
<i>Flumini Mannu (monte)</i>	9.22	70.1	84.5
<i>Riu Mannu di San Sperate</i>	5.35	73.4	86.5
<i>Riu Spinosu</i>	3.70	67.0	82.5

Bacino del Riu Cixerri (Tratte 3 e 4)

ID Sottobacino	τ_c (ore) progetto	CN II	CN III
1	2.530	66.6	82.3
2	2.803	67.0	82.5
3	1.423	68.1	83.3
4	1.347	61.3	78.7
5	2.336	56.2	74.9
6	0.983	62.9	79.8
7	0.108	64.2	80.7
8	0.328	61.6	78.9
9	1.814	67.1	82.6
10	1.691	74.6	87.2
11	0.611	62.5	79.5
12	0.983	62.1	79.2
13	1.723	74.6	87.2
14	2.030	69.0	83.8
15	0.614	63.0	79.8
16	1.083	56.5	75.1
17	1.185	62.5	79.5
18	1.626	63.9	80.4
19	0.942	60.7	78.2
20	1.789	71	85.1
21	2.016	67	82.5
22	1.864	70	84.4
23	1.389	64	80.5
24	1.944	74	86.9
25	0.639	66	81.9
26	0.278	66	81.9
27	0.878	76	88.0

ID Sottobacino	τ_c (ore) progetto	CN II	CN III
28a	0.750	65	81.1
28b	0.472	65	80.9
28c	1.161	73	86.2
29	2.611	72	85.7
29b	1.222	71	85.2
30	2.000	65	81.2
31	1.722	64	80.5
32	1.333	66	81.9

Sono stati determinati quindi i corrispondenti idrogrammi di piena, essendo stati sviluppati modelli numerici bidimensionali in regime di moto vario ai fini della simulazione della propagazione delle onde di piena stesse.

Il calcolo delle portate e degli idrogrammi è stato eseguito secondo le curve di possibilità pluviometrica derivanti da entrambe le metodologie di regionalizzazione sopra descritte, scegliendo e adottando poi quelle che massimizzano i valori di portata al colmo.

Con riferimento ai sottobacini del *Flumini Mannu* e del *Riu Cixerri*, come anticipato, è stato sviluppato uno specifico modello idrologico mediante il software HEC HMS (versione 4.9), sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineers.

Ogni sottobacino è schematizzato attraverso l'opzione "*sub basin creation tool*" all'interno del quale sono inseriti i dati relativi a: estensione del bacino, metodo di trasformazione afflussi-deflussi, metodo per il calcolo della pioggia efficace. I nodi idrologici (ovvero le confluenze) sono schematizzati attraverso l'opzione "*junction creation tool*".

I tratti fluviali, che uniscono i vari nodi idrologici, sono schematizzati attraverso l'opzione "*reach creation tool*", all'interno del quale deve essere definito il metodo di propagazione della piena (routing method).

Nelle figure seguenti si riportano i modelli idrologici così costruiti per i due "macro" bacini oggetto di studio.

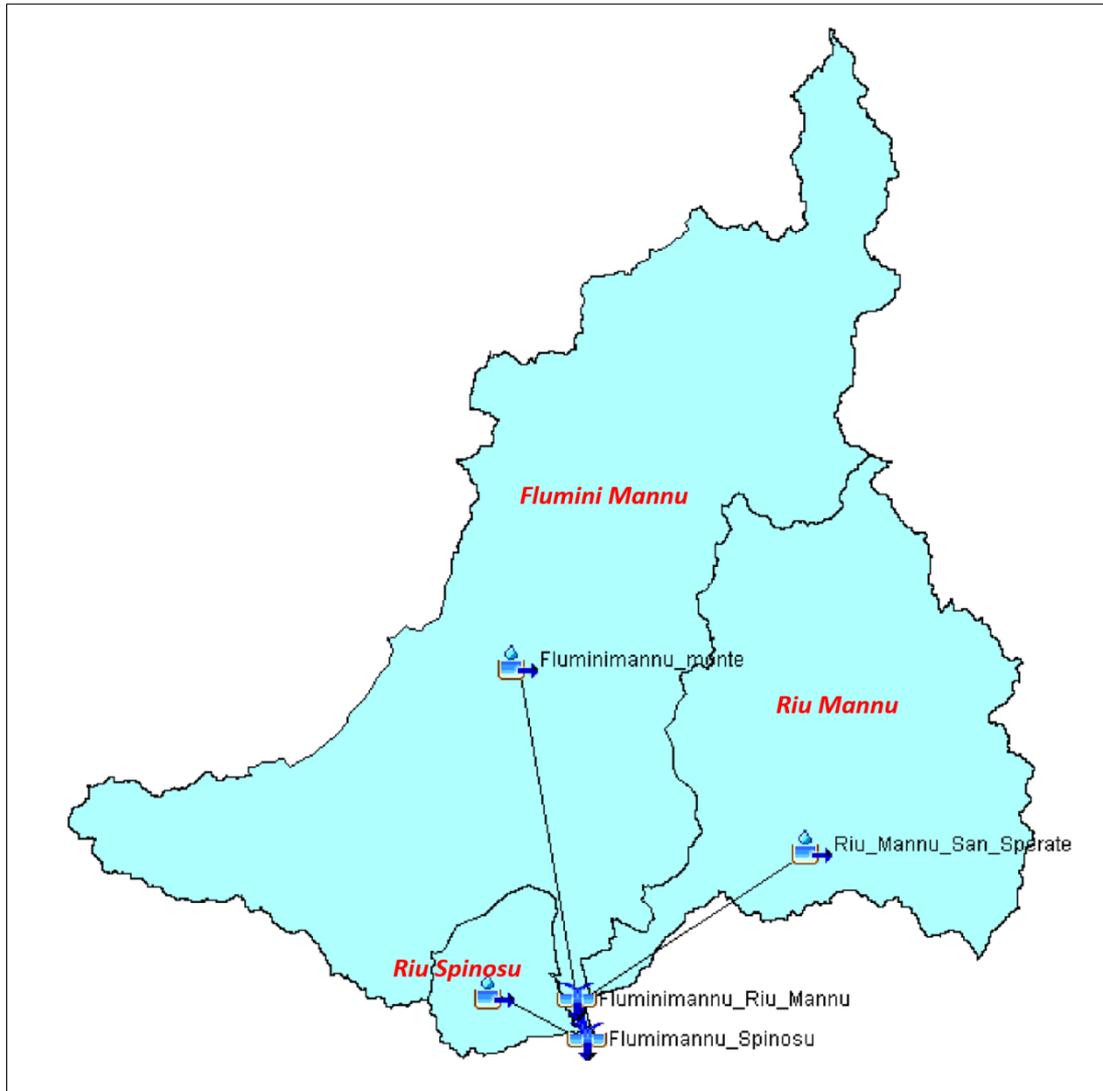


Figura 7: Flumini Mannu, modello idrologico in ambiente Hec HMS.

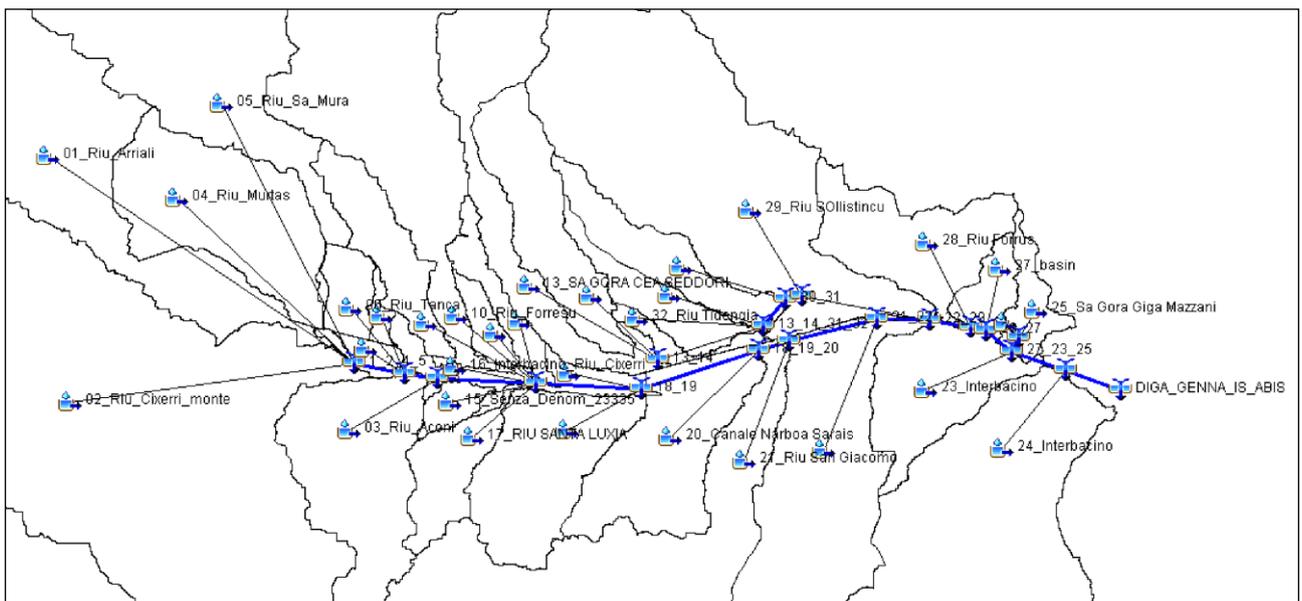


Figura 8: Riu Cixerri, modello idrologico in ambiente Hec HMS.

Di seguito, gli idrogrammi di piena derivanti da tali modelli idrologici. I valori di portata al colmo ottenuti sono conformi a quelli riportati nella pianificazione di bacino vigente.

Bacino del Flumini Mannu (Tratta 1)

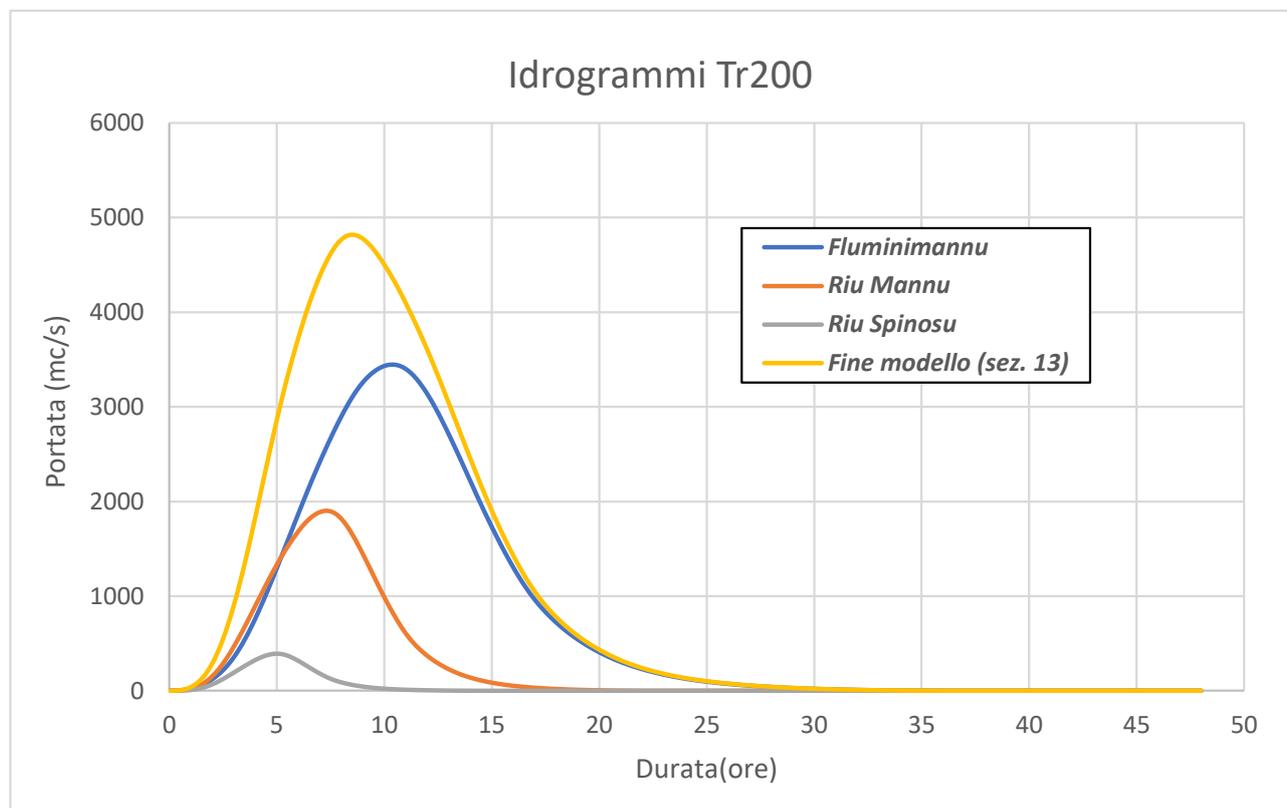


Figura 9: Flumini Mannu, idrogrammi di piena $Tr = 200$ anni per i sottobacini di riferimento.

Tr	Q (mc/s)			
	Flumini Mannu	Riu Mannu	Riu Spinosu	Chiusura modello idrologico (bacino complessivo)
200	3446.1	1902.7	392.8	4816.8

Tabella 7 – Flumini Mannu, modello idrologico HECHMS: valori di portata al colmo ($Tr200$) per i sottobacini di interesse.

Sezione	Tempo di ritorno	200
N33 (a monte confluenza del Riu Mannu)	Q (mc/s)	3410
N13 (a valle confluenza del Riu Spinosu)	Q (mc/s)	4780

Tabella 8 – Flumini Mannu: valori di portata al colmo ($Tr200$) per i sottobacini di interesse, riportati nel P.G.R.A..

Bacino del Riu Cixerri (Tratte 3 e 4)

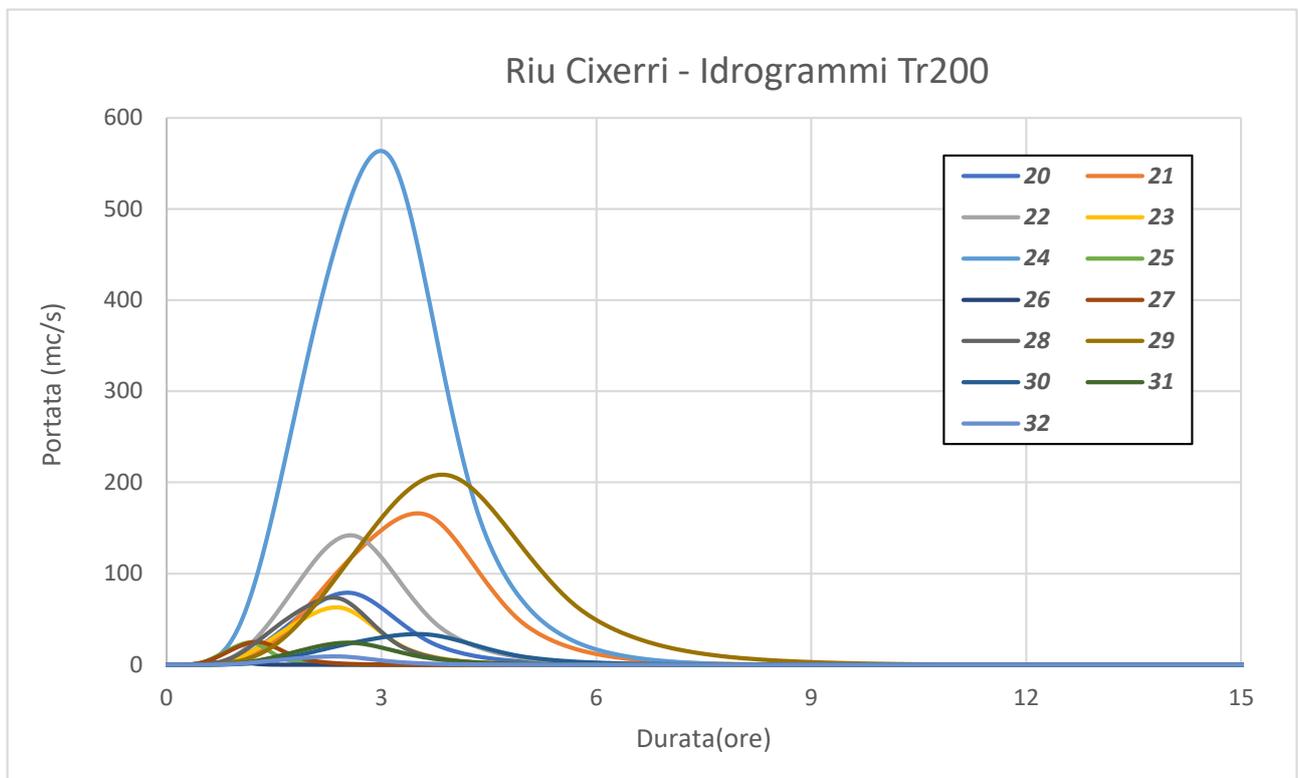
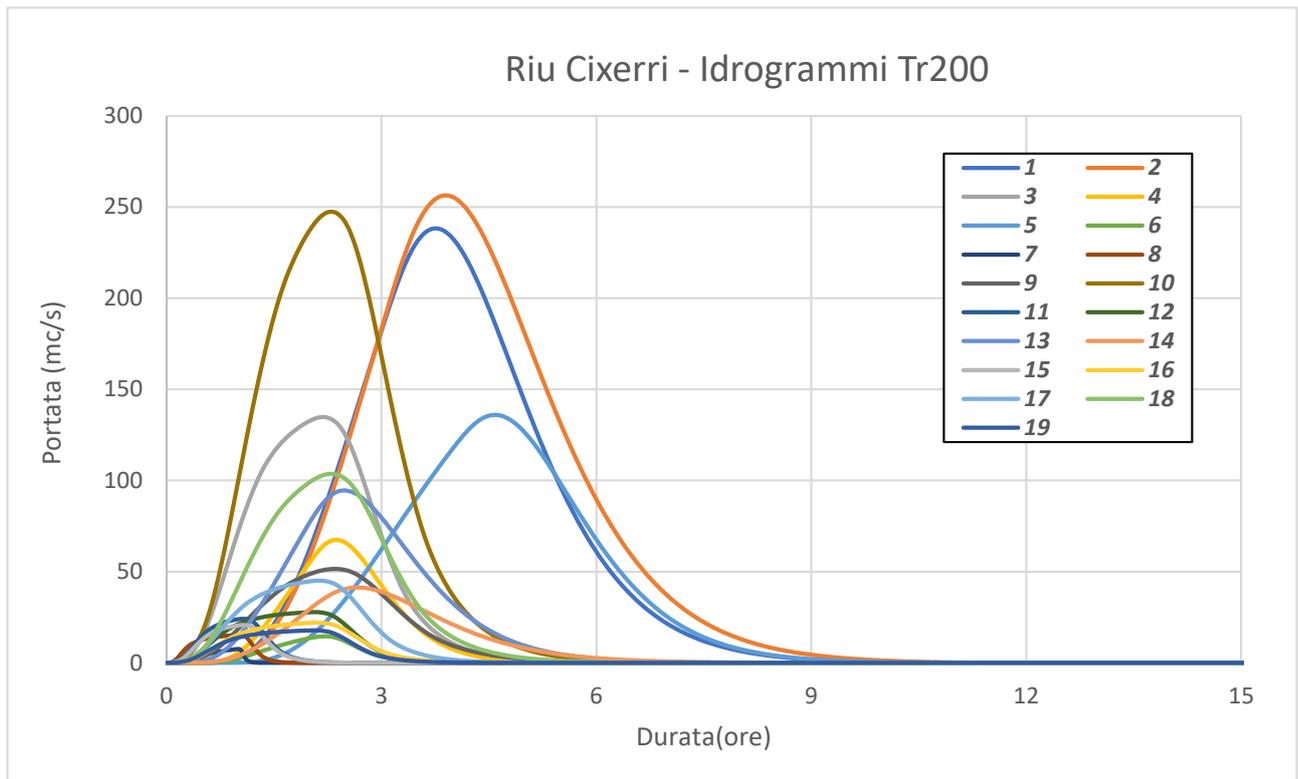


Figura 10: Riu Cixerri, idrogrammi di piena $Tr = 200$ anni per i sottobacini di riferimento.

Modello Hec HMS		P.G.R.A.	
Nodo	Q ₂₀₀ (mc/s)	sezione	Q ₂₀₀ (mc/s)
6_7_8	614,3	E	555
18_19	776,3	F	786
20_21	948,4	H	928
22_29	1186,7	L	1143
<i>Fine modello</i>	1393,2	M	1367

Tabella 9 – Riu Cixerri: valori di portata al colmo (Tr200) per i sottobacini di interesse, riportati nel P.G.R.A. e ottenuti dal modello idrologico HECHMS.

4.2. Analisi idrauliche

Determinati gli idrogrammi di piena di progetto, per i corsi d'acqua dei due “macro” bacini oggetto di studio si è proceduto all'implementazione di un modello numerico bidimensionale in regime di moto vario finalizzato alla determinazione *i)* delle aree potenzialmente inondabili e *ii)* dei livelli idrici in corrispondenza delle aree di intervento. Il codice di calcolo utilizzato è *InfoWorks ICM 9.0*, sviluppato dalla software house Innovyze con sede a Wallingford nel Regno Unito (UK).

La geometria dei modelli numerici è stata implementata utilizzando i dati LIDAR disponibili per l'area in esame e da rilievo topografico. In particolare:

- per la modellazione dell'alveo inciso si è fatto riferimento alle sezioni di rilievo topografico;
- le caratteristiche topografiche della rete di calcolo 2D sono state desunte dal modello digitale del terreno ricostruito sulla base del Lidar a maglia 1m x 1m fornito dal Ministero dell'Ambiente e dalla Regione Sardegna, nonché di quello eseguito da *Italferr* (2022), verificando la congruenza tra i rilievi celerimetrici disponibili ed il DTM medesimo.

La rete di calcolo bidimensionale interessa sia l'alveo inciso sia le aree golenali di espansione esterne; questa è stata definita utilizzando le opzioni di discretizzazione automatica del dominio di calcolo presenti in *InfoWorks ICM*, definendo opportune aree di infittimento della maglia in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d'acqua, rilevati, etc.

I coefficienti di scabrezza n di Manning sono stati fissati tramite calibrazione idraulica dei modelli stessi partendo da valori di letteratura. In particolare, in accordo anche alle analisi effettuate nell'ambito della pianificazione di bacino per l'alveo e le golene è stato assunto $n = 0.035$ (s/ m^{1/3}); il coefficiente di scabrezza per le aree esterne, potenzialmente inondabili, è stato assegnato pari a $n = 0.06$ (s/ m^{1/3}).

Per quanto riguarda le condizioni al contorno applicate ai modelli 2D, in testa sono stati applicati gli idrogrammi di piena precedentemente definiti. Per quanto riguarda la condizione al contorno di valle, è stato imposto un livello idrico noto (“*Known Depth*”); nello specifico, nel caso del *Flumini Mannu*, il livello idrico

del mare (+0.8 m slm, come da PGRA); per il *Riu Cixerri*, la quota di massimo invaso del serbatoio artificiale di Genna Is Abis, come mostrato nelle figure seguenti.

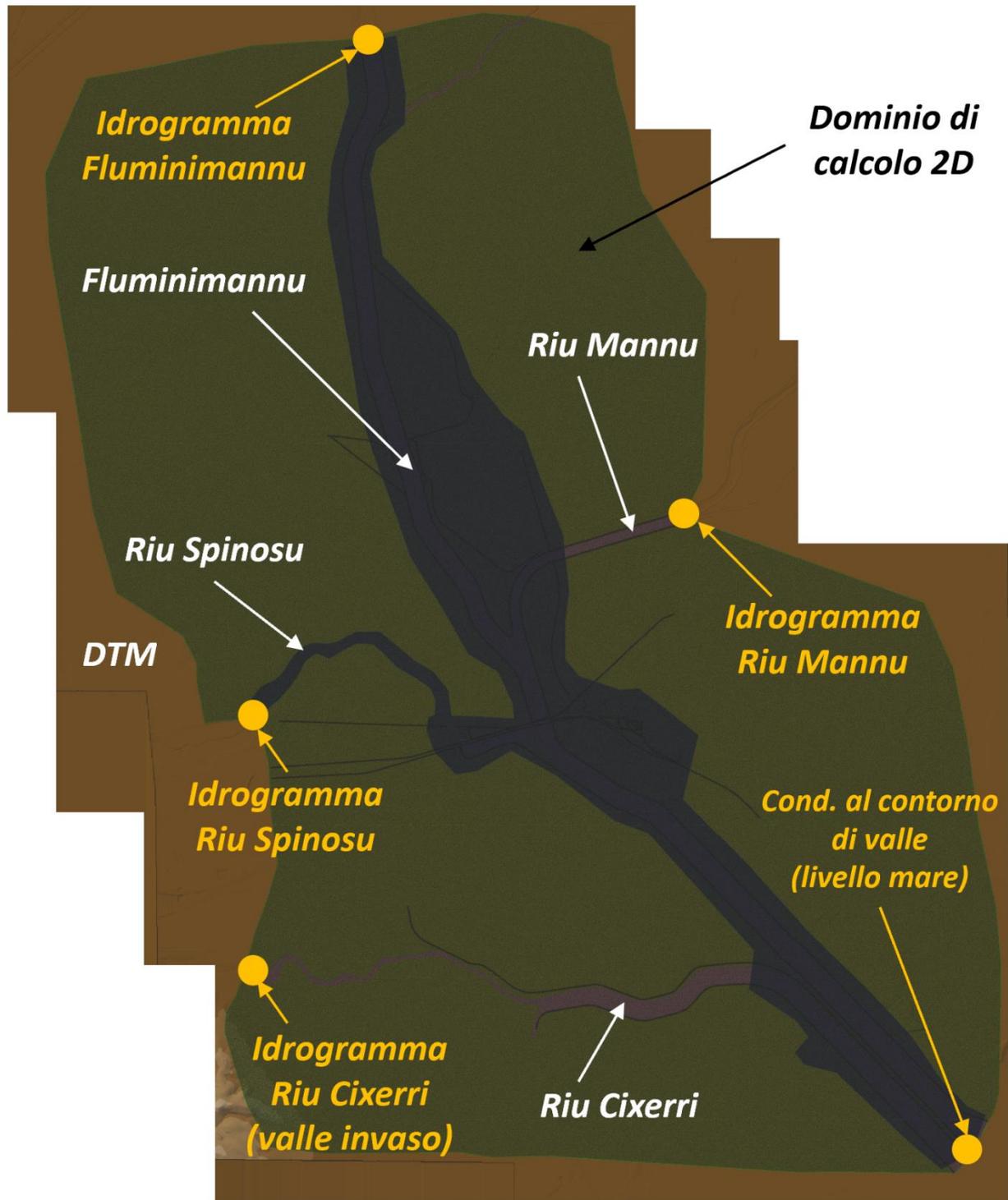


Figura 11: Modello numerico 2D del Flumini Mannu: estensione del dominio di calcolo e condizioni al contorno.



Figura 12: Modello numerico 2D del Riu Cixerri: estensione del dominio di calcolo e condizioni al contorno.

Di seguito, si riportano quindi i risultati ottenuti per il *Flumini Mannu* e il *Riu Cixerri*, in termini di aree potenzialmente inondabili (*Tr200*), lungo l'intera tratta Decimomannu-Villamassargia, in particolare lungo i lotti 1, 3, 4.

Riu Flumini Mannu

Nella figura seguente sono riportati i risultati in termini di aree potenzialmente inondabili della simulazione numerica dell'onda di piena del *Flumini Mannu* (e affluenti), per un tempo di ritorno di 200 anni, nello scenario ante operam (stato attuale), unitamente alle aree di pericolosità idraulica *Hi2* indicate nei documenti del P.G.R.A. (ultimo aggiornamento 2021).

In linea generale, i risultanti della modellazione numerica 2D riproducono abbastanza bene l'estensione delle aree di pericolosità *Hi2*.

Le principali differenze rispetto al PGRA, di interesse per l'intervento in progetto, si riscontrano in corrispondenza della stazione di Decimomannu e della fermata di Villaspeciosa, come mostrato nei dettagli delle figure di seguito riportate.

In particolare, il modello 2D evidenzia maggiori esondazioni con conseguente possibilità di sormonto, già nello "stato attuale", della linea ferroviaria esistente in corrispondenza della stazione e della fermata suddette.

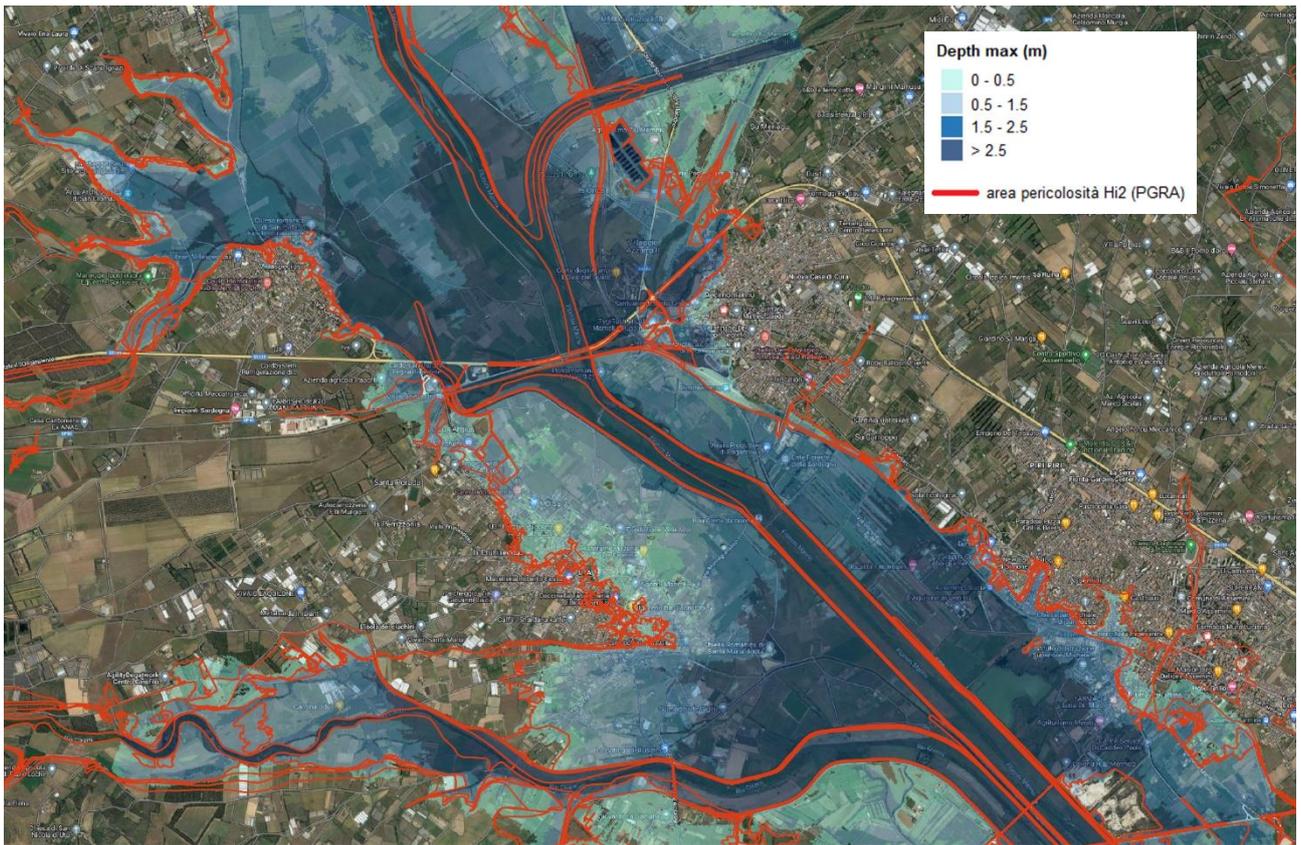


Figura 13: Modello numerico 2D del Flumini Mannu - aree potenzialmente inondabili, $Tr = 200$ anni, ante operam, e confronto con aree di pericolosità idraulica Hi2 da P.G.R.A. (2021), in quel di Decimomannu.



Figura 14: Modello numerico 2D del Flumini Mannu - aree potenzialmente inondabili, $Tr = 200$ anni, ante operam, in corrispondenza della stazione di Decimomannu.



Figura 15: Modello numerico 2D del Flumini Mannu - aree potenzialmente inondabili, $Tr = 200$ anni, ante operam, in corrispondenza della fermata di Villaspeciosa.

Con particolare riferimento alla stazione di Decimomannu, di seguito si riportano alcuni estratti dalla simulazione numerica, in vari istanti temporali, che consentono di meglio comprendere l'evoluzione della propagazione delle piene.

In particolare, le esondazioni iniziano a manifestarsi dapprima in destra idraulica e poi in sinistra (con sormonto degli argini esistenti).

Le acque esondate in sinistra idraulica defluiscono lungo il rilevato della SS130 fino a raggiungere il cavalcavia ferroviario, dove iniziano a scorrere lungo i binari fino ad arrivare in stazione.

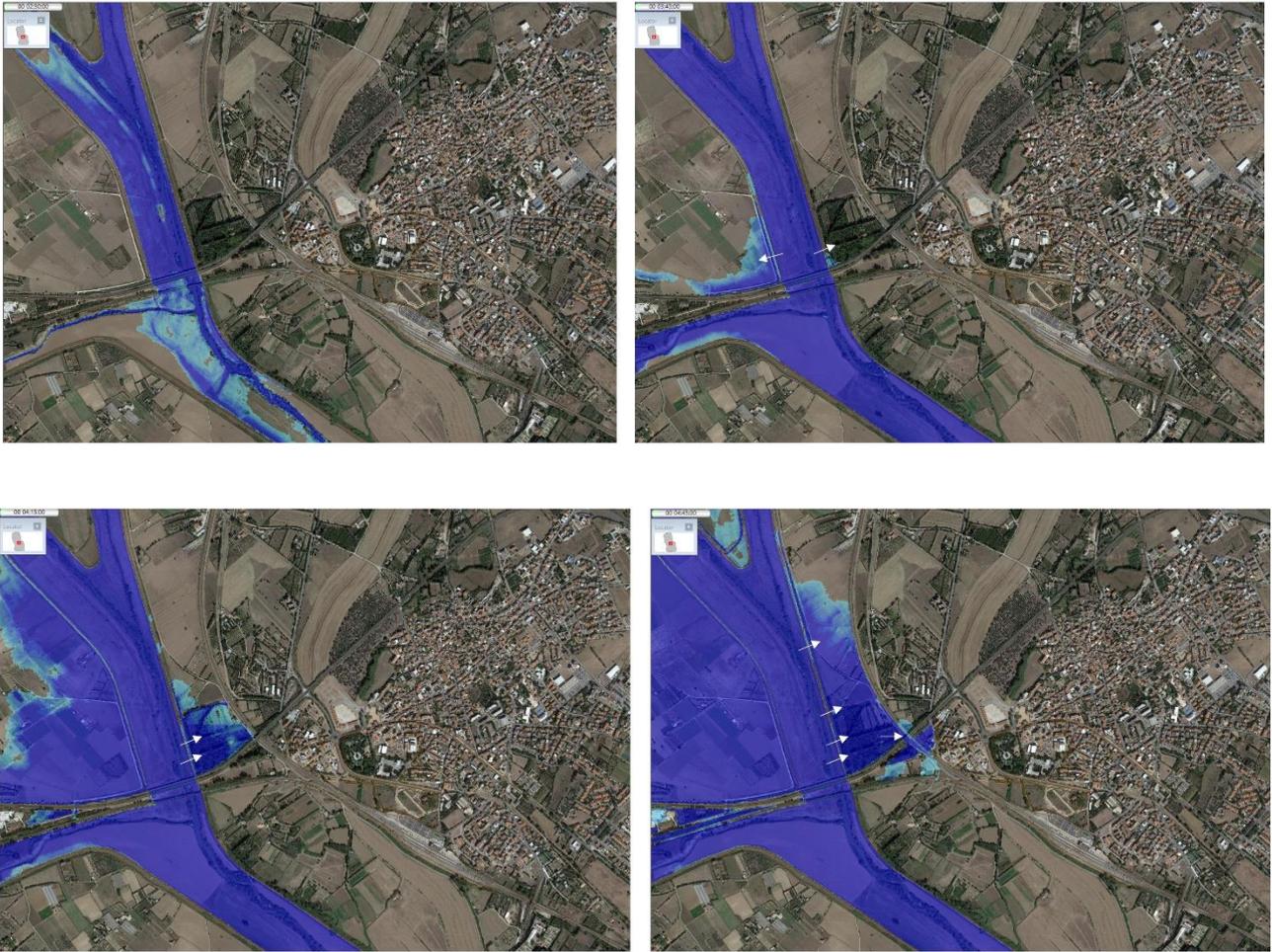


Figura 16: Modello numerico 2D del Flumini Mannu, ante operam - evoluzione della piena Tr200, da 0 a 5 ore circa.

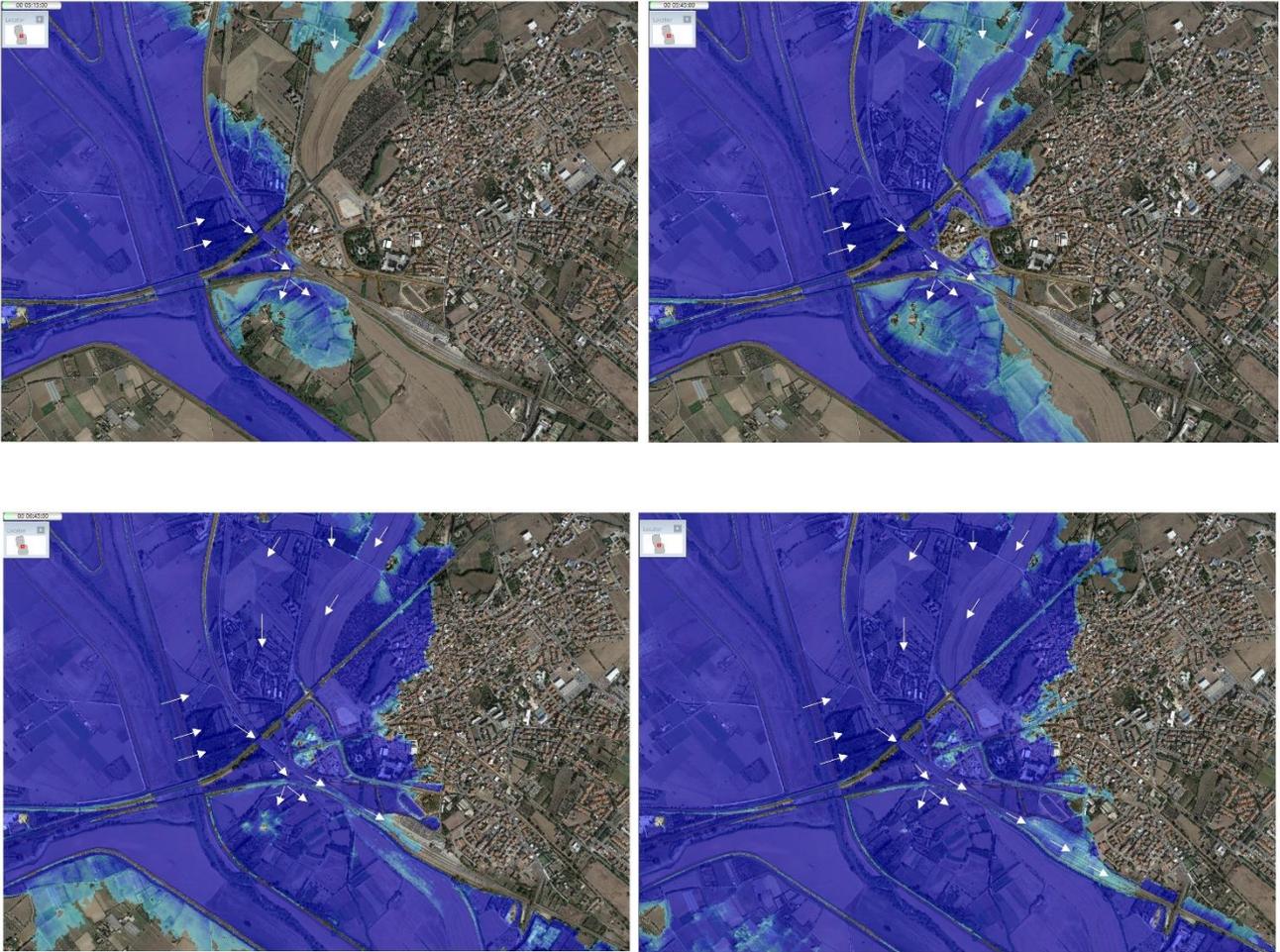


Figura 17: Modello numerico 2D del Flumini Mannu, ante operam - evoluzione della piena Tr200, fino a fine simulazione.

Nelle figure seguenti si riportano i livelli idrici Tr200 in corrispondenza dei due ponti, ferroviario e stradale (SS130), esistenti.

In particolare, per entrambe le due opere esistenti, il livello idrico Tr200 è superiore all'intradosso dell'impalcato; per il ponte della SS130 è superiore anche alla quota del piano stradale.

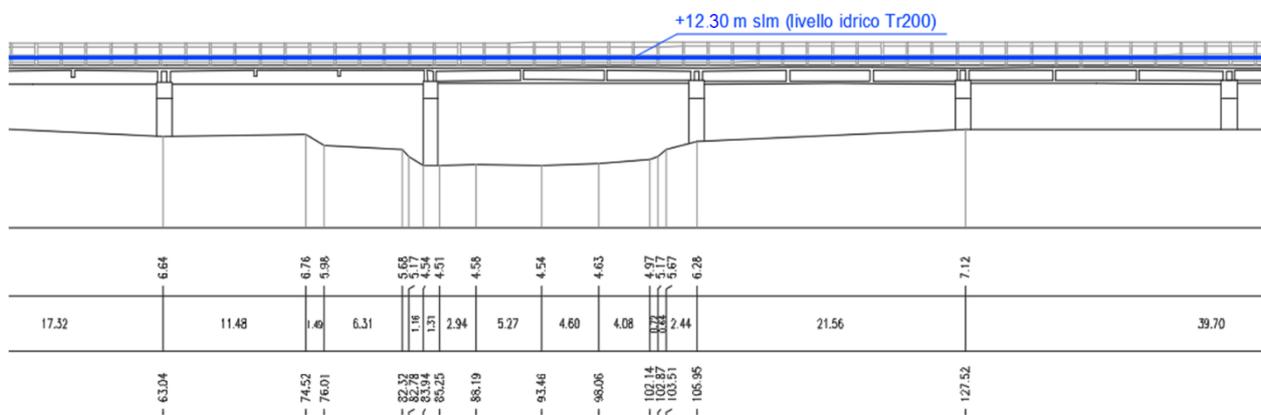


Figura 18: Modello numerico 2D del Flumini Mannu, ante operam - livello idrico Tr200 in corrispondenza del ponte stradale della SS130 esistente.

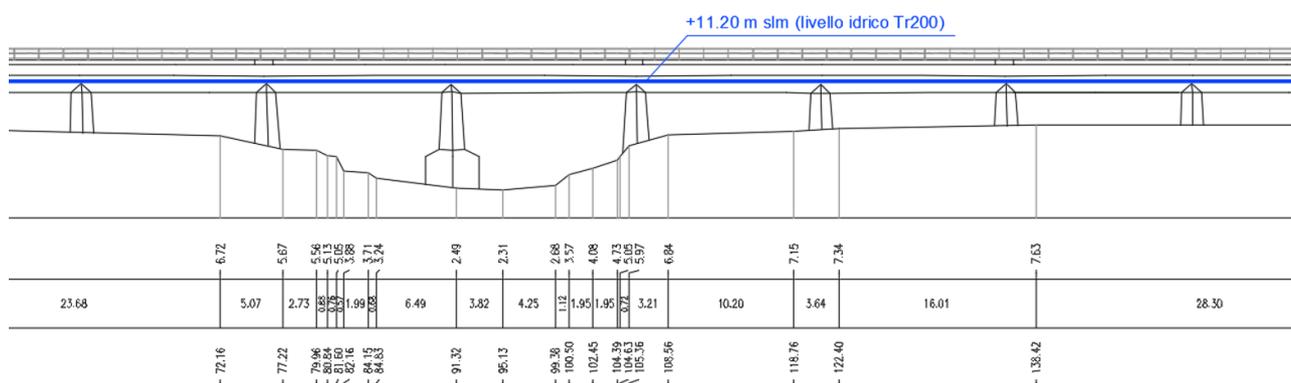


Figura 19: Modello numerico 2D del Flumini Mannu, ante operam - livello idrico Tr200 in corrispondenza del ponte ferroviario esistente.

Sebbene più cautelativi di quanto indicato nelle mappe del PGRA-Sardegna (2021), i risultati ottenuti nel presente studio idraulico bidimensionale sono confrontabili e simili a quelli ottenuti nelle analisi condotte dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura (DICAAR) dell'Università degli Studi di Cagliari, nell'ambito della Convenzione in data 20 aprile 2020: "Accordo di collaborazione tra Agenzia Regionale di Distretto Idrografico della Sardegna e DICAAR finalizzato a collaborazione tecnico-scientifica nell'ambito della Seconda Fase di Pianificazione del PGRA, ai sensi dell'art. 7 della Direttiva 2007/60/CE in data 23.10.2007 e dell'art. 7 del Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n. 49", di cui se ne riporta uno stralcio (in termini di aree potenzialmente inondabili per il tempo di ritorno di 200 anni) nella figura seguente.

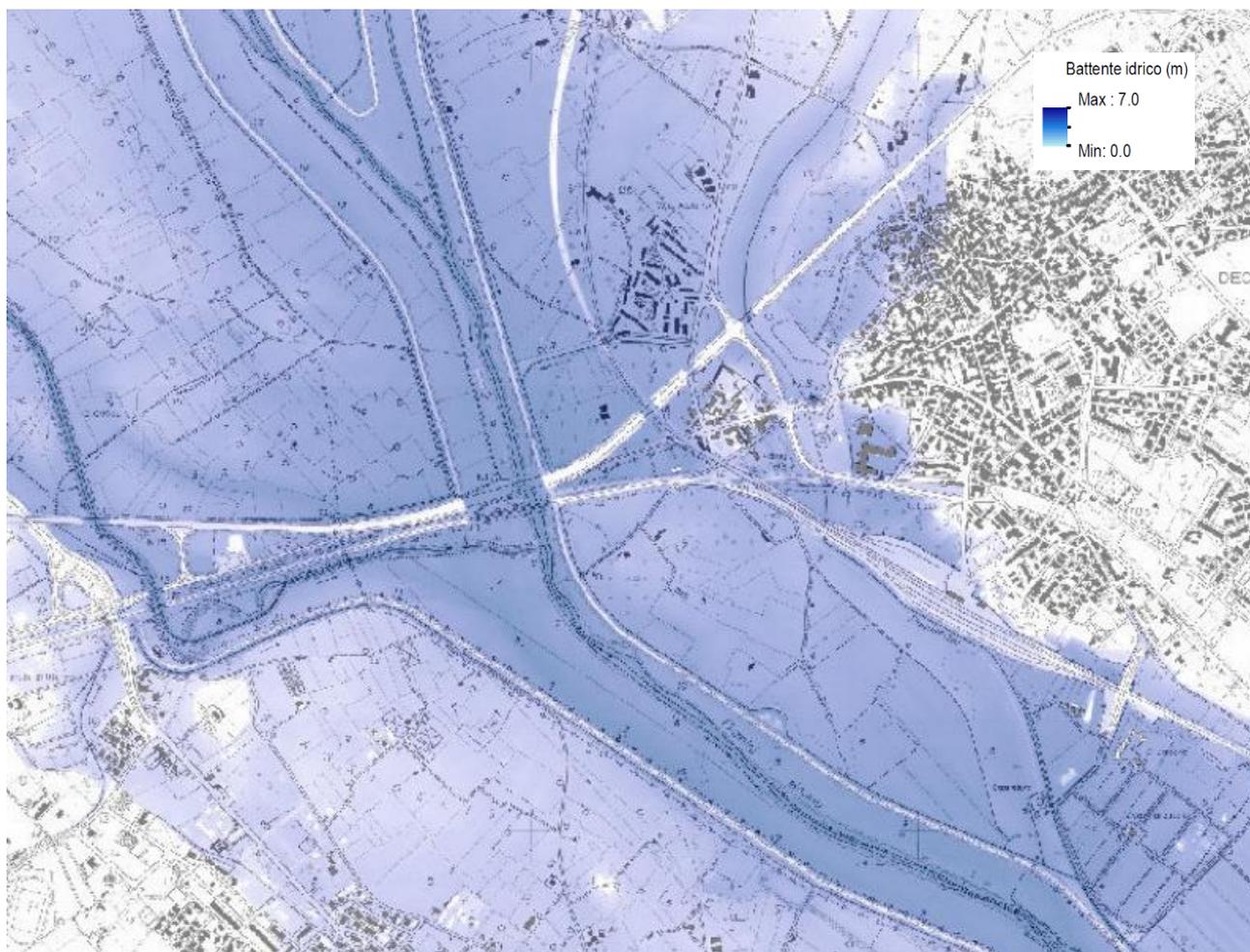


Figura 20: Aree di esondazione del Flumini Mannu per $Tr = 200$ anni (stralcio Tav7.4.FM.08.2), fonte: studio DICAAR-ADIS, 2020.

Riu Cixerri

In figura sono mostrate le aree potenzialmente inondabili del Riu Cixerri (Tr_{200} , “ante operam”) da modello numerico 2D (in alto) e le aree di pericolosità idraulica da PGRA (2021) (in basso), nel tratto tra Siliqua e Villamassargia (lotti 3 e 4 – progetto di raddoppio ferroviario).

Le principali differenze rispetto al PGRA, di interesse per l’intervento in progetto, si riscontrano nel tratto a monte del *Riu Cixerri* e in corrispondenza di alcuni tributari lungo i quali non sono state definite aree a pericolosità idraulica nella pianificazione di bacino.

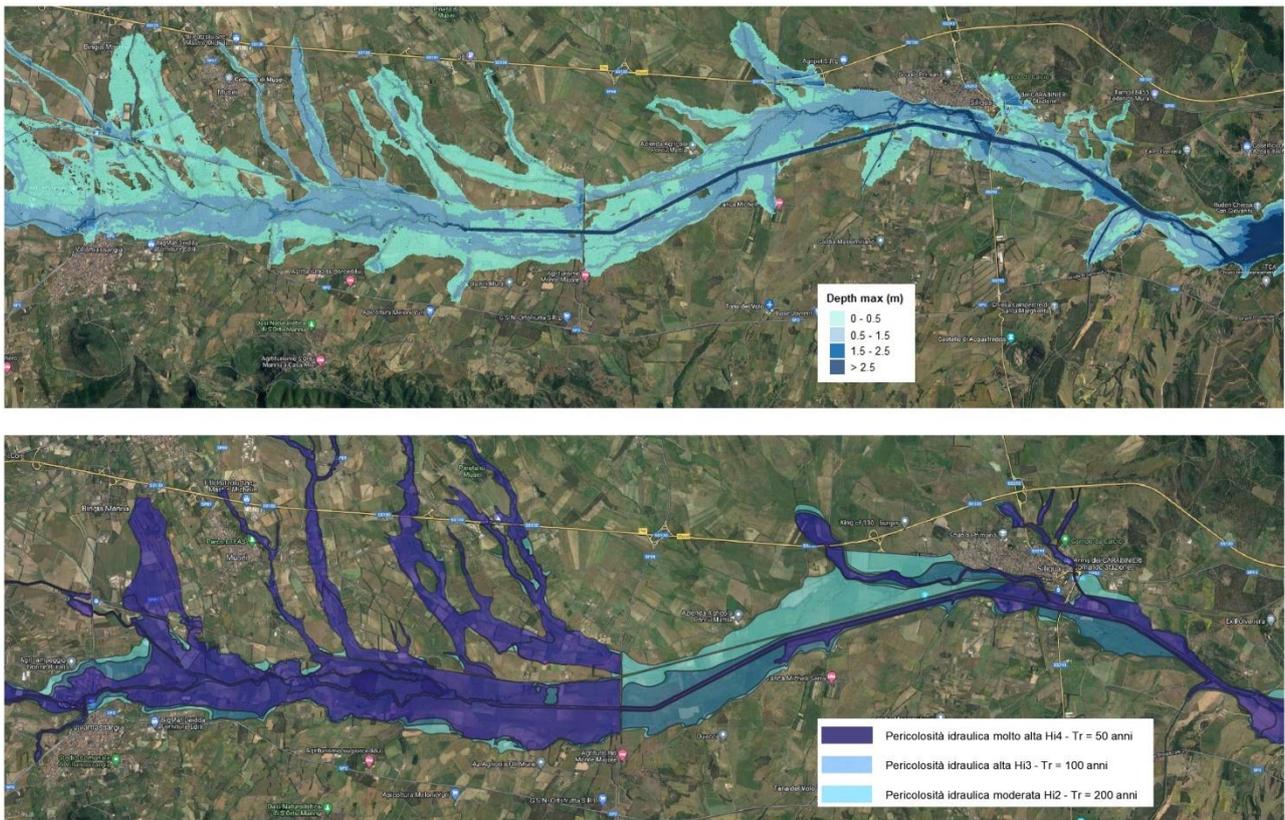


Figura 21: Modello numerico 2D del Riu Cixerri, ante operam, Tr200 - aree di esondazione dal modello numerico 2D (in alto) vs aree di pericolosità idraulica da PGRA (in basso).

Nelle figure seguenti, si riporta il dettaglio delle aree di esondazione, $Tr = 200$ anni, stato attuale, del Riu Cixerri lungo la tratta “Siliqua – Villamassargia” (lotti 3 e 4).



Figura 22: Modello numerico 2D del Riu Cixerri, ante operam, Tr200 – aree di esondazione – Tratta 3 “Siliqua (stazione inclusa) – Punto intermedio (Nuovo P.C.)”, in quel di Siliqua.

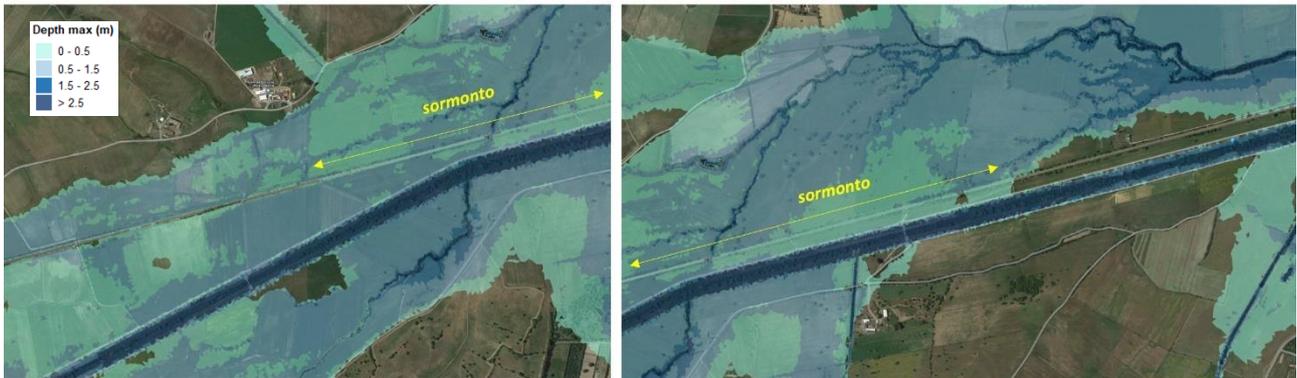


Figura 23: Modello numerico 2D del Riu Cixerri, ante operam, Tr200 – aree di esondazione – Tratta 3 “Siliqua (stazione inclusa) – Punto intermedio (Nuovo P.C.)”, tra Siliqua e Punto Intermedio.

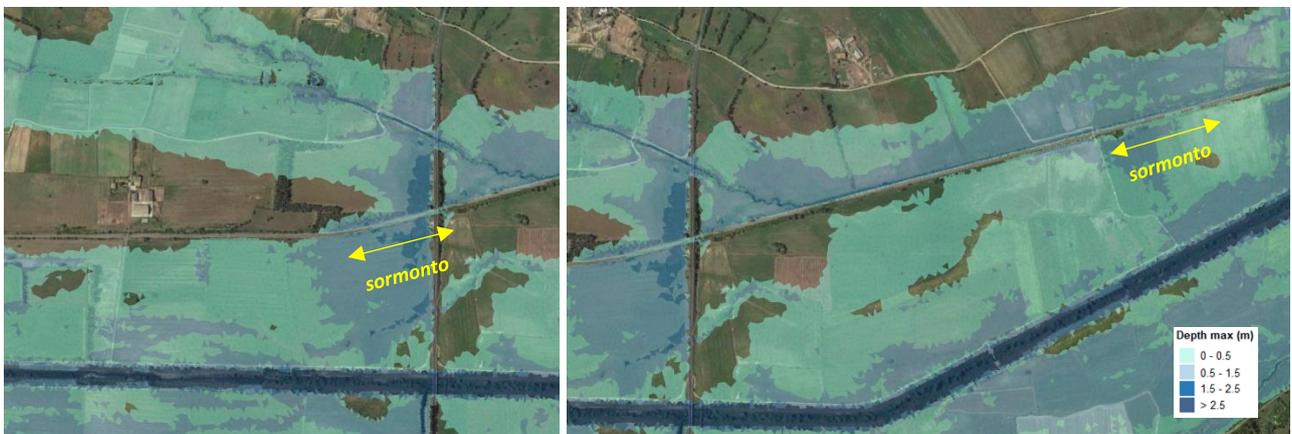


Figura 24: Modello numerico 2D del Riu Cixerri, ante operam, Tr200 – aree di esondazione – Tratta 3 “Siliqua (stazione inclusa) – Punto intermedio (Nuovo P.C.)”, in corrispondenza del Punto Intermedio.

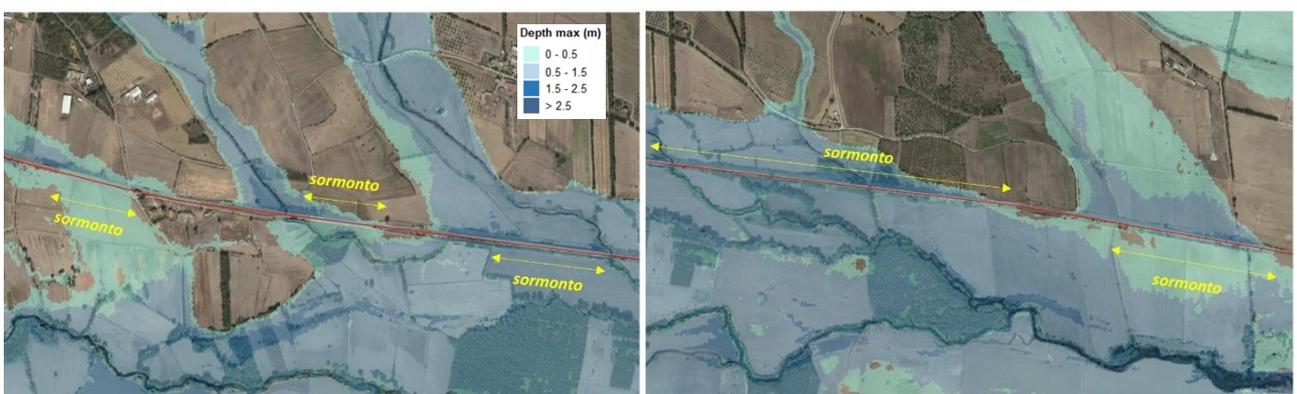


Figura 25: Modello numerico 2D del Riu Cixerri, ante operam, Tr200 – aree di esondazione – Tratta 4 “Punto intermedio (Nuovo P.C.) - Villamassargia”.



Figura 26: Modello numerico 2D del Riu Cixerri, ante operam, Tr200 – aree di esondazione – Tratta 4 “Punto intermedio (Nuovo P.C.) - Villamassargia”, in arrivo a Villamassargia.

In particolare, nei tratti lungo i quali la linea ferroviaria esistente è interessata dalle aree di pericolosità idraulica da PGRA, le simulazioni numeriche 2D hanno evidenziato la possibilità di sormonto della linea ferroviaria stessa. Anche le stazioni di Siliqua e Villamassargia, come quella di Decimomannu, sono potenzialmente interessate dalle esondazioni (Tr200) e da fenomeni di sormonto.

I risultati degli studi idraulici sviluppati sopra illustrati, relativi sia al *Flumini Mannu* sia al *Riu Cixerri*, sono stati già discussi e condivisi con l’Autorità di Bacino della Regione Sardegna.

Sulla base di tali risultati sono state quindi individuate le soluzioni di tracciato della “nuova” linea ferroviaria Decimomannu-Villamassargia, ai fini del relativo intervento di raddoppio, descritte nel dettaglio nel successivo capitolo.

5. Soluzioni progettuali di raddoppio ferroviario

Nel presente capitolo sono descritte le soluzioni progettuali di raddoppio ferroviario individuate per le tratte “Tratta 1 – Raddoppio Decimomannu – Villaspeciosa”; “Tratta 3 – Raddoppio Siliqua (stazione inclusa) – Punto intermedio (Nuovo P.C.)”; “Tratta 4 – Raddoppio Punto Intermedio (Nuovo P.C.) – Villamassargia”, in relazione ai risultati degli studi idraulici discussi e illustrati nel capitolo precedente.

Nello specifico, è stata svolta una *Analisi Multi-Criteria* (AMC) ai fini dell’individuazione delle migliori soluzioni progettuali di raddoppio ferroviario, dal punto di vista sia tecnico sia economico, tenendo conto delle criticità idrauliche sopra descritte.

Sostanzialmente, per tutti e tre i lotti (1, 3, 4), nell’ambito dell’AMC, sono state prese in considerazione due possibili alternative di tracciato:

- *in variante plano-altimetrica rispetto alla linea storica*, prevedendo tratti in viadotto ai fini dell’attraversamento, secondo le normative in materia di compatibilità idraulica vigenti, delle attuali aree potenzialmente inondabili ed eventualmente anche delocalizzando le attuali stazioni/fermate;

- *in affiancamento alla linea ferroviaria storica*, prevedendo comunque l'innalzamento della livelletta ferroviaria rispetto alle quote attuali al fine di garantire la compatibilità idraulica (secondo le normative di settore vigenti) della nuova infrastruttura a doppio binario, secondo una configurazione principalmente in rilevato, ad eccezione di alcune opere di scavalco/attraversamento puntuali sui corsi d'acqua interferenti nonché di opere di trasparenza idraulica (e.g. fornici/tombini), necessarie a mantenere invariate le condizioni “*ante-operam*” delle aree interessate dalle esondazioni (Tr200, come sopra determinate) in corrispondenza delle quali la linea ferroviaria storica è potenzialmente interessata da sormonto.

Nell'ambito del *lotto 1* (tratta *Decimomannu - Villaspeciosa*), l'intervento in progetto prevede il raddoppio della linea ferroviaria in completa variante plano-altimetrica rispetto alla linea storica (con attraversamento del *Flumini Mannu* a valle della stessa), con sviluppo di circa 3,4 km fino a poco dopo la fermata di Villaspeciosa, in direzione di Siliqua.

Si precisa che la progettazione (livello *PFTE*) di tale tratta è già in uno stato avanzato.

A differenza della “*Tratta 1, Decimomannu – Villaspeciosa*”, la progettazione dell'intervento di raddoppio ferroviario lungo le tratte “*3*” (*Siliqua (stazione inclusa) – Punto intermedio (Nuovo P.C.)*) e “*4*” (*Raddoppio Punto intermedio (Nuovo P.C.) - Villamassargia*) è in corso di sviluppo, compatibilmente con i risultati degli studi idraulici effettuati.