

**Studio di compatibilità idraulica**


**Realizzazione nuovi elettrodotti a 150 kV “Santa Teresa – Tempio” e “Tempio – Buddusò”, nuove Stazioni Elettriche a 150 kV di “Tempio” e “Buddusò” e relativi raccordi linee**

**Studio di compatibilità idraulica**



**Storia delle revisioni**


Rev.	Data	Descrizione
00	20/10/2018	Prima emissione.

Redatto	Verificato	Approvato
 <p><b>GEOTECH S.r.l.</b> SOCIETA' DI INGEGNERIA Via Nani, 7 Morbegno (SO) Tel: 0342610774 Fax: 03421971501 E-mail: info@geotech-srl.it sito: www.geotech-srl.it</p>	<p>V. Pedacchioni ING-PRE-IAM</p>	<p>N. Rivabene ING-PRE-IAM</p>

## Studio di compatibilità idraulica

### SOMMARIO

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>SINTESI GENERALE DELLO STUDIO DI COMPATIBILITA' IDRAULICA.....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO.....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>METODOLOGIE DI CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA.....</b>	<b>8</b>
5.1	METODI DIRETTI .....	9
5.2	METODI INDIRETTI.....	10
5.2.1	ANALISI PLUVIOMETRICA .....	10
5.3	COEFFICIENTE DI DEFLUSSO .....	14
5.4	TEMPO DI CORRIVAZIONE DEL BACINO .....	15
5.5	STIMA DELLA PORTATA DI PICCO – METODO RAZIONALE .....	16
<b>6</b>	<b>MODELLO IDRAULICO.....</b>	<b>18</b>
6.1	MODELLO DEL CORSO D'ACQUA NEL TRATTO IN ESAME.....	20
6.1.1	GEOMETRIA .....	20
6.1.2	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA .....	21
6.1.3	PORTATA.....	22
6.1.4	VALORI DI SCABREZZA .....	22
6.1.5	CONDIZIONI AL CONTORNO .....	23
6.2	RISULTATI .....	24
6.3	CONCLUSIONI .....	25
	ALLEGATI - .....	28
	SEZIONI HEC - RAS.....	28


	<b>Realizzazione nuovi elettrodotti a 150 kV “Santa Teresa-Tempio” e “Tempio – Buddusò”, nuove Stazioni Elettriche a 150 kV di “Tempio” e “Buddusò” e relativi raccordi linee</b>  <b>Studio di compatibilità idraulica</b>	Codifica <b>REHX08010BIAM02728</b>	
		Rev . N° 00	Pag. <b>3</b> di 30

## 1 PREMESSA

Il presente lavoro, redatto dalla Società di Ingegneria GEOTECH S.r.l., con sede in via Nani, 7 a Morbegno (SO) costituisce lo **Studio di compatibilità idraulica** a supporto del progetto denominato **“Realizzazione nuovi elettrodotti a 150 kV “Santa Teresa – Tempio” e “Tempio – Buddusò”, nuove Stazioni Elettriche a 150 kV di “Tempio” e “Buddusò” e relativi raccordi linee”**.

Il presente studio è stato redatto ai sensi dell’art. 24 delle Norme di Attuazione del Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Autonoma della Sardegna (Aggiornamento 2018) e secondo i criteri illustrati nell’Allegato E alle suddette norme.


La presente relazione interessa in particolare l’area di futura localizzazione del sostegno n. 99 in Comune di Calangianus (SS) dell’Elettrodotto 150 kV Santa Teresa di Gallura – Tempio il quale ricade all’interno di un area esondabile a pericolosità idraulica molto alta (Hi4), ossia aree inondabili da piene con portate al colmo caratterizzate da tempi di ritorno minori o uguali a 50 anni.

	<b>Realizzazione nuovi elettrodotti a 150 kV “Santa Teresa-Tempio” e “Tempio – Buddusò”, nuove Stazioni Elettriche a 150 kV di “Tempio” e “Buddusò” e relativi raccordi linee</b>  <b>Studio di compatibilità idraulica</b>	Codifica <b>REHX08010BIAM02728</b>	
		Rev . N° 00	Pag. <b>4</b> di 30

## 2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Per quanto inerente un inquadramento geologico, idrologico, meteo climatico ed idrogeologico dell'area vasta si faccia riferimento ai seguenti elaborati:

- Studio di Impatto Ambientale (codice elaborato REHX08010BIAM02718)
- Carta geologica-litologica del SIA (codice elaborato DEHX08010BIAM02719\_11)
- Carta della dinamica geomorfologica (PAI) del SIA (codice elaborato DEHX08010BIAM02719\_12).

	<b>Realizzazione nuovi elettrodotti a 150 kV “Santa Teresa-Tempio” e “Tempio – Buddusò”, nuove Stazioni Elettriche a 150 kV di “Tempio” e “Buddusò” e relativi raccordi linee</b>  <b>Studio di compatibilità idraulica</b>	Codifica <b>REHX08010BIAM02728</b>	
		Rev . N° 00	Pag. <b>5</b> di 30

### 3 SINTESI GENERALE DELLO STUDIO DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

Il presente studio è finalizzato alla verifica della compatibilità idraulica e idrologica, secondo quanto previsto dalle Norme di Attuazione del PAI della Regione Autonoma della Sardegna, degli elettrodotti a 150 kV, di cui in premessa, da raccordare alla nuova Stazione Elettrica di Tempio e alla nuova Stazione Elettrica di Buddusò, entrambe nella Provincia di Sassari – Zona omogenea di Olbia - Tempio, e al posizionamento dei relativi sostegni dei tracciati degli elettrodotti per un totale di 265 con altezza compresa tra 21 m e 46,2 m.

Sono previste le seguenti opere principali:

- Nuovo elettrodotto a 150 kV “Santa Teresa – Tempio”, in parte in cavo interrato, per una lunghezza di circa 5 Km e in parte in aereo, per una lunghezza di circa 33 Km;
- Nuovo elettrodotto a 150 kV “Tempio – Buddusò” in aereo, per una lunghezza di circa 47 km;
- Nuova Stazione Elettrica di Tempio, localizzata in destra idrografica del Riu San Paolo nel territorio del Comune di Calangianus, sul confine amministrativo con il Comune di Tempio Pausania. Sono previsti dei nuovi raccordi alla stessa S.E.;
- Nuova Stazione Elettrica di Buddusò a 150 kV, localizzata nel Comune di Buddusò a circa 2,7 km dall'abitato, in direzione sud-est; sono previsti dei nuovi raccordi alla stessa S.E..

In particolare tale studio verifica la sussistenza delle condizioni di sicurezza idraulica del posizionamento dei sostegni degli elettrodotti in progetto e delle infrastrutture relative alle nuove stazioni elettriche, in funzione dei reticoli idrografici superficiali ufficiali, così come mostrato nella cartografia ufficiale I.G.M. in scala 1:25.000, come previsto dalle NTA del PAI, redatte dalla Regione Autonoma della Sardegna per l'intero territorio regionale, al fine dell'ottenimento del relativo parere di competenza.

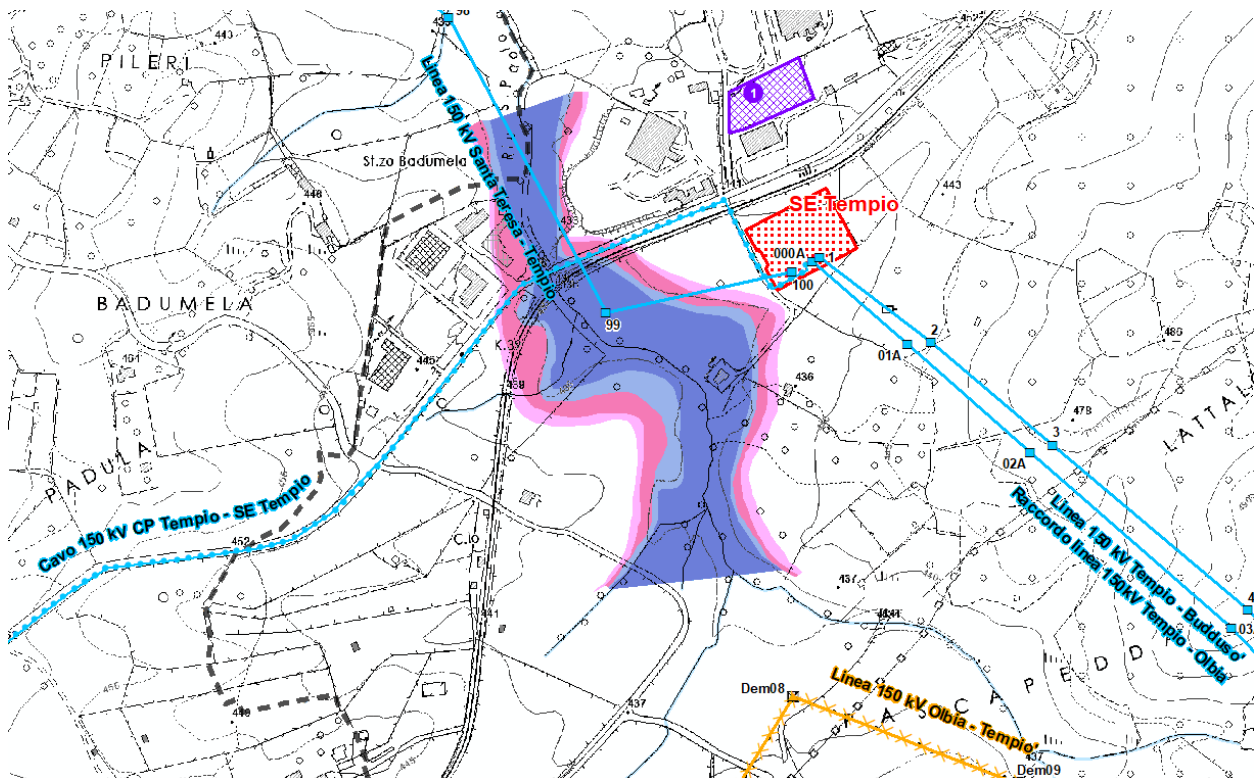
Le analisi effettuate nel presente documento hanno consentito di definire le condizioni di compatibilità idraulica delle opere in progetto, nel rispetto delle NTA del PAI Sardegna.

## Studio di compatibilità idraulica

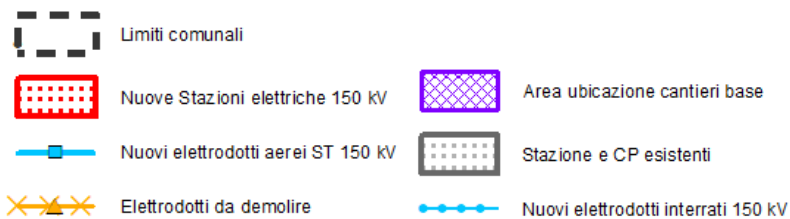
### 4 INQUADRAMENTO DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO

La presente relazione ha come oggetto il sostegno n. 99 in Comune di Calangianus (SS) dell'Elettrodotto 150 kV Santa Teresa di Gallura – Tempio, la cui ubicazione è visibile nella sottostante.

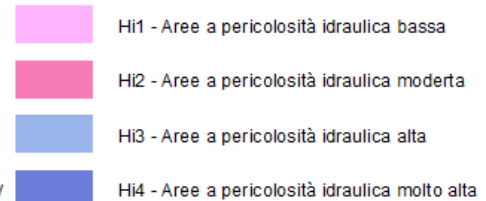
Dall'analisi della cartografia PAI della Regione Autonoma della Sardegna, è emerso che il suddetto sostegno ricade all'interno delle aree esondabili a pericolosità idraulica molto alta (Hi4), ossia aree inondabili da piene con portate al colmo caratterizzate da tempi di ritorno minori o uguali a 50 anni.




#### Legenda



#### Pericolosità idraulica



Ubicazione del sostegno n. 99 ricadente all'interno dell'area a pericolosità idraulica molto alta (Hi4) cartografata dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Regione Autonoma della Sardegna.


	<b>Realizzazione nuovi elettrodotti a 150 kV “Santa Teresa-Tempio” e “Tempio – Buddusò”, nuove Stazioni Elettriche a 150 kV di “Tempio” e “Buddusò” e relativi raccordi linee</b>  <b>Studio di compatibilità idraulica</b>	Codifica <b>REHX08010BIAM02728</b>	
		Rev . N° 00	Pag. <b>7</b> di 30

La pericolosità idraulica è legata alla presenza del corso d’acqua più significativo presente nell’area, il Riu San Paolo, il quale è un affluente minore del Fiume Liscia. Il tracciato del nuovo elettrodotto a 150 kV “S. Teresa – Tempio”, in particolare il sostegno n. 99, intercetta l’area a rischio idraulico del Riu San Paolo, nei pressi della S.S. 127 che collega i paesi di Calangianus a Tempio Pausania.

Dalla consultazione del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF), nello specifico nella “Relazione monografica di bacino idrografico – Sub Bacino 04 Liscia”, emerge che il Rio San Paolo è stato incluso nelle aree a vincolo idrogeologico perimetrato come fascia C, o fascia di deflusso di piena con tempo di ritorno di 500 anni.

A seguito di quanto emerso dalla consultazione della cartografia PAI e PSFF, le opere in progetto, nello specifico il sostegno n. 99 dell’elettrodotto a 150 kV “S. Teresa – Tempio”, necessitano di una verifica di fattibilità rispetto alle NTA del PAI, in modo da valutare per tali aree la sussistenza delle condizioni di compatibilità idraulica.

Nei capitoli seguenti verranno esposti i risultati dello studio idraulico eseguito sul Riu San Paolo, che ha permesso di verificare la fattibilità delle opere.

	<b>Realizzazione nuovi elettrodotti a 150 kV “Santa Teresa-Tempio” e “Tempio – Buddusò”, nuove Stazioni Elettriche a 150 kV di “Tempio” e “Buddusò” e relativi raccordi linee</b>  <b>Studio di compatibilità idraulica</b>	<small>Codifica</small> <b>REHX08010BIAM02728</b>	
		Rev . N° 00	Pag. <b>8</b> di 30

## 5 METODOLOGIE DI CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA

La determinazione delle portate di massima piena in Sardegna, data la necessità di stimare i valori in sezioni non osservate e, come nel caso in esame, riferite al reticolo idrografico superficiale secondario, si deve basare sulla comparazione critica dei risultati ottenuti dalle diverse metodologie di calcolo (metodi diretti e indiretti).



	<b>Realizzazione nuovi elettrodotti a 150 kV “Santa Teresa-Tempio” e “Tempio – Buddusò”, nuove Stazioni Elettriche a 150 kV di “Tempio” e “Buddusò” e relativi raccordi linee</b>  <b>Studio di compatibilità idraulica</b>	Codifica <b>REHX08010BIAM02728</b>	
		Rev . N° 00	Pag. <b>9</b> di 30

## 5.1 METODI DIRETTI

Per metodi diretti si intendono quelli riportati nella pubblicazione “Valutazione delle piene in Sardegna” (Cao, Piga, Salis, Sechi, novembre 1991). Essi mirano a determinare la portata di piena di un bacino prescindendo dall’informazione pluviometrica della regione in cui il bacino è ubicato (nelle espressioni analitiche dei metodi non compare né l’altezza della precipitazione né la sua intensità) e determinando la distribuzione probabilistica della portata al colmo tramite l’elaborazione statistica dei dati idrometrici rilevati su bacini ritenuti morfometricamente omogenei.

Si riporta il metodo diretto che fa riferimento alla distribuzione TCEV esprimendo la probabilità di non superamento attraverso la somma di due distribuzioni esponenziali del tipo:

$$P(x \leq X) = \exp\left(-\lambda_1 e^{\frac{x}{\theta_1}} - \lambda_2 e^{\frac{-x}{\theta_2}}\right)$$

Caratterizzata dai quattro parametri  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ .

La prima distribuzione (parametri  $\lambda_1$ ,  $\theta_1$ ) caratterizza i valori più frequenti della portata di massima piena annuale mentre la seconda distribuzione (parametri  $\lambda_2$ ,  $\theta_2$ ) caratterizza la componente eccezionale della portata di massima piena annuale.

In base all’analisi regionale, l’intero territorio della Sardegna risulta suddiviso in due zone (bacini occidentali e orientali), idrologicamente omogenee.

Quest’ultima metodologia, deriva dall’analisi di serie storiche relative a stazioni che sottendono bacini di estensione superiore a circa 60 km<sup>2</sup>, di conseguenza essa fornisce risultati soddisfacenti se applicata a bacini di media e grande superficie.

Nel caso in questione si è escluso l’utilizzo dei metodi di stima regionali “diretti” in quanto non validati per bacini di piccola estensione.

	<b>Realizzazione nuovi elettrodotti a 150 kV “Santa Teresa-Tempio” e “Tempio – Buddusò”, nuove Stazioni Elettriche a 150 kV di “Tempio” e “Buddusò” e relativi raccordi linee</b>  <b>Studio di compatibilità idraulica</b>	Codifica <b>REHX08010BIAM02728</b>	
		Rev . N° 00	Pag. <b>10</b> di 30

## 5.2 METODI INDIRECTI

Si basano sulla stima della portata al colmo a partire dalle precipitazioni meteoriche.

L'altezza di pioggia in relazione alla durata è descritta dalle curve di possibilità pluviometrica. Tali curve possono essere determinate con riferimento a due distribuzioni probabilistiche distinte: distribuzione log-normale e distribuzione TCEV (Two Component Extreme Value).

### 5.2.1 ANALISI PLUVIOMETRICA

Per la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica, in questo studio di compatibilità, si è utilizzato il modello probabilistico TCEV, infatti nella pubblicazione “Analisi regionale di frequenza delle precipitazioni intense in Sardegna” (R. Deidda, E. Piga, G.M. Sechi, 2000) è mostrato come il modello probabilistico ben interpreta le caratteristiche di frequenza delle serie storiche.

L'altezza di pioggia giornaliera  $h_T$  con assegnato tempo di ritorno  $T$  in anni è data da :

$$\begin{aligned}
 \text{SZO 1} \quad h(T) &= \mu_g K_T = \mu_g [0.69319 + 0.72015 \text{Log}_{10}T + 3.1364 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10}T)^2] \\
 \text{SZO 2} \quad h(T) &= \mu_g K_T = \mu_g [0.60937 + 0.91699 \text{Log}_{10}T + 3.9932 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10}T)^2] \\
 \text{SZO 3} \quad h(T) &= \mu_g K_T = \mu_g [0.47839 + 1.22460 \text{Log}_{10}T + 5.3321 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10}T)^2]
 \end{aligned}$$

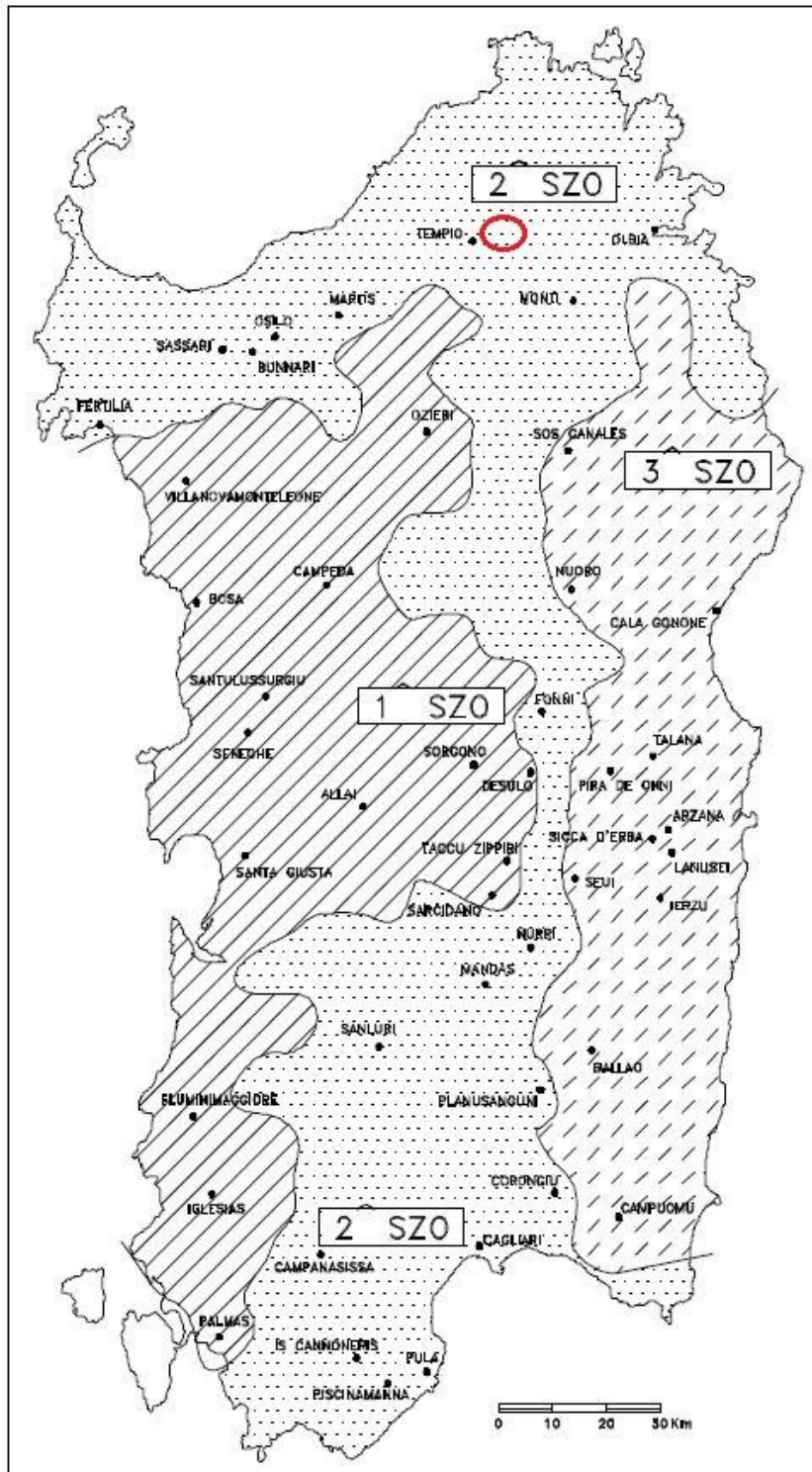
Il territorio in esame rientra nella sottozona omogenea 2 (SZO 2) come si evince dalla **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** sottostante.

La pioggia indice giornaliera  $\mu_g$  è la media dei massimi annui di precipitazione giornaliera.

$K_T$  è il coefficiente (adimensionale) di crescita espresso in funzione del tempo di ritorno  $T$ .

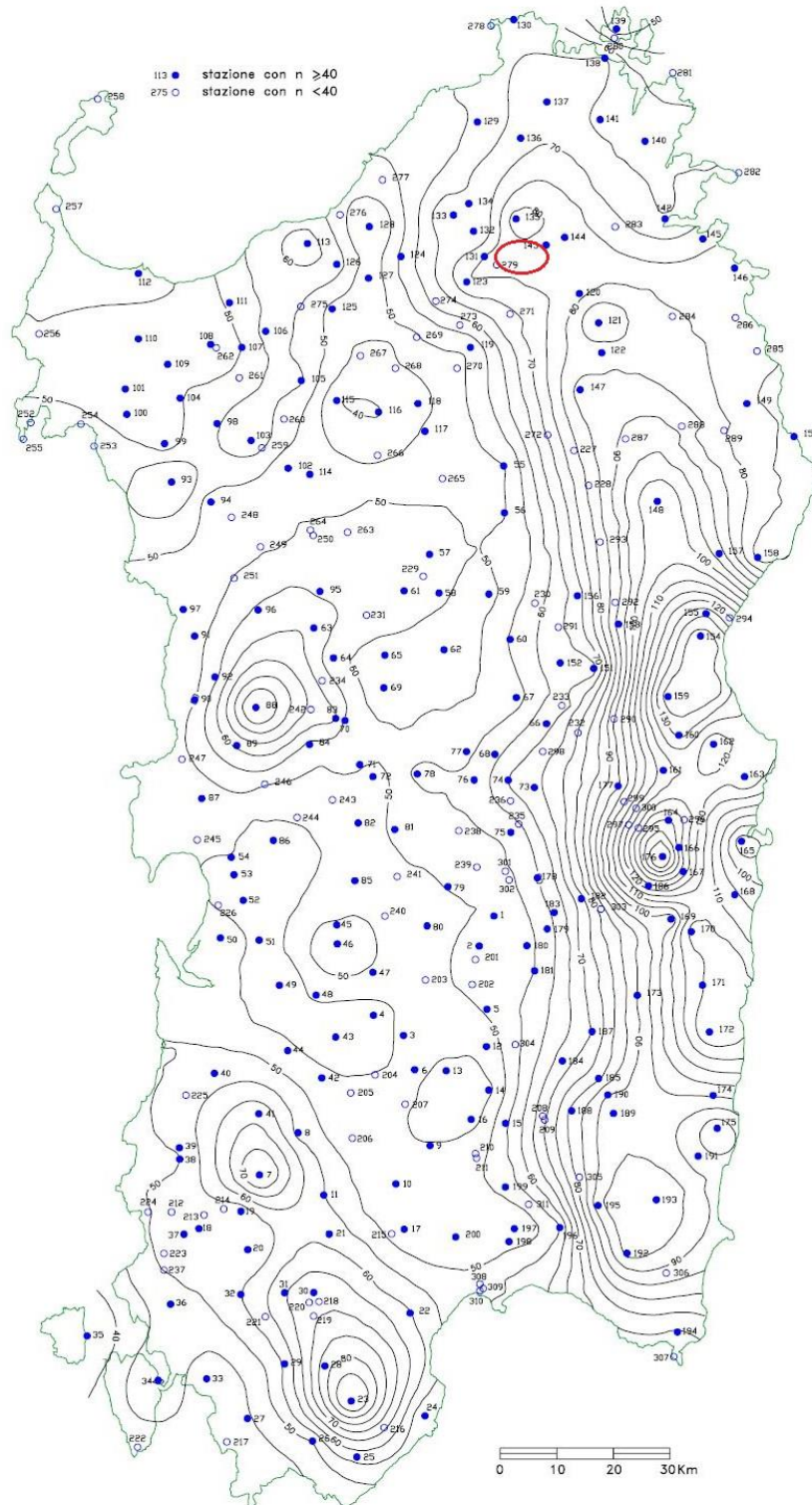
Il valore della pioggia indice giornaliera  $\mu_g$  (espressa in mm), si ricava dalla carta delle isoiete di seguito riportata.

**Studio di compatibilità idraulica**



Carta delle Sottozone Omogenee per le piogge brevi e intense in Sardegna (da Deidda ed. Al., 1993). In rosso è localizzata l'area oggetto del presente studio.

**Studio di compatibilità idraulica**



Distribuzione spaziale dell'altezza di pioggia giornaliera in Sardegna. (da Deidda ed Al., Quad. Ricerca n. 9 dell'Università di Cagliari, 1997). In rosso è localizzata l'area oggetto del presente studio.

## Studio di compatibilità idraulica

La pioggia indice  $\mu(\tau)$  di durata  $\tau$ , ovvero la media dei massimi annui delle piogge di durata  $\tau$ , può essere espressa in forma monomia:

$$\mu(\tau) = a_1 \tau^{n_1}$$

dove i coefficienti  $a_1$  e  $n_1$  si possono determinare in funzione della pioggia indice giornaliera  $\mu_g$

$$a_1 = \mu_g / (0.886 \cdot 24^{n_1}) \quad ; \quad n_1 = -0.493 + 0.476 \text{ Log}_{10} \mu_g$$

L'altezza di pioggia  $h_T(\tau)$  di durata  $\tau$  con assegnato tempo di ritorno  $T$  in anni si ottiene moltiplicando la pioggia indice  $\mu(\tau)$  per un coefficiente di crescita  $K_T(\tau) = a_2 \tau^{n_2}$ :

$$h_T(\tau) = \mu(\tau) K_T(\tau) = (a_1 a_2) \tau^{(n_1 + n_2)}$$

dove i coefficienti  $a_2$  e  $n_2$  si determinano con le relazioni seguenti per differenti  $T$  e  $\tau$ .

a) per tempi di ritorno **T <= 10 ANNI**

**SZO 1**  $a_2 = 0.66105 + 0.85994 \text{ Log}_{10} T$  ;  $n_2 = -1.3558 \cdot 10^{-4} - 1.3660 \cdot 10^{-2} \text{ Log}_{10} T$

**SZO 2**  $a_2 = 0.64767 + 0.89360 \text{ Log}_{10} T$  ;  $n_2 = -6.0189 \cdot 10^{-3} + 3.2950 \cdot 10^{-4} \text{ Log}_{10} T$

**SZO 3**  $a_2 = 0.62408 + 0.95234 \text{ Log}_{10} T$  ;  $n_2 = -2.5392 \cdot 10^{-2} + 4.7188 \cdot 10^{-2} \text{ Log}_{10} T$

b) per tempi di ritorno **T > 10 ANNI**

**SZO 1**  $a_2 = 0.46378 + 1.0386 \text{ Log}_{10} T$   
 $n_2 = -0.18449 + 0.23032 \text{ Log}_{10} T - 3.3330 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2$  (per  $\tau \leq 1$  ora)  
 $n_2 = -1.0563 \cdot 10^{-2} - 7.9034 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T$  (per  $\tau \geq 1$  ora)

**SZO 2**  $a_2 = 0.44182 + 1.0817 \text{ Log}_{10} T$   
 $n_2 = -0.18676 + 0.24310 \text{ Log}_{10} T - 3.5453 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2$  (per  $\tau \leq 1$  ora)  
 $n_2 = -5.6593 \cdot 10^{-3} - 4.0872 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T$  (per  $\tau \geq 1$  ora)

**SZO 3**  $a_2 = 0.41273 + 1.1370 \text{ Log}_{10} T$   
 $n_2 = -0.19055 + 0.25937 \text{ Log}_{10} T - 3.8160 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2$  (per  $\tau \leq 1$  ora)  
 $n_2 = 1.5878 \cdot 10^{-2} + 7.6250 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T$  (per  $\tau \geq 1$  ora)

Risolvendo tali relazioni si ottengono le altezze di precipitazione più probabili in funzione della durata e del tempo di ritorno dell'evento considerato.

Tr		t = 1 h	t = 3 h	t = 6 h	t = 12 h	t = 24 h
<b>10 anni</b>	hmax (mm)=	36.65	56.49	74.22	97.52	128.13
<b>30 anni</b>	hmax (mm)=	48.50	74.27	97.17	127.14	166.35
<b>50 anni</b>	hmax (mm)=	54.21	82.92	108.43	141.78	185.39
<b>100 anni</b>	hmax (mm)=	61.95	94.64	123.64	161.54	211.05
<b>200 anni</b>	hmax (mm)=	69.69	106.32	138.79	181.17	236.50

	<b>Realizzazione nuovi elettrodotti a 150 kV “Santa Teresa-Tempio” e “Tempio – Buddusò”, nuove Stazioni Elettriche a 150 kV di “Tempio” e “Buddusò” e relativi raccordi linee</b>  <b>Studio di compatibilità idraulica</b>	Codifica <b>REHX08010BIAM02728</b>	
		Rev . N° 00	Pag. <b>14</b> di 30


### 5.3 COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

Durante un evento meteorico, una parte dell'acqua evapora, viene intercettata o trattenuta dal suolo, riempie piccole cavità e soprattutto penetra per infiltrazione nel terreno. Per quantificare le perdite di acqua meteorica si utilizza il cosiddetto coefficiente di deflusso C, che varia da 0 a 1.

Il valore 0 caratterizza idealmente una superficie infinitamente permeabile che non permette il deflusso superficiale, mentre il valore unitario rappresenta la situazione di superficie impermeabile in cui l'infiltrazione è nulla.

Il valore del coefficiente di deflusso cui fare riferimento, facilmente reperibili nella bibliografia tecnica, dipende dal tipo di superficie scolante, dalla copertura vegetale del bacino, dalla pendenza media e dallo sviluppo del reticolo idrico.

Il coefficiente di deflusso C calcolato per il bacino in oggetto è pari a 0.38.

	<b>Realizzazione nuovi elettrodotti a 150 kV “Santa Teresa-Tempio” e “Tempio – Buddusò”, nuove Stazioni Elettriche a 150 kV di “Tempio” e “Buddusò” e relativi raccordi linee</b>  <b>Studio di compatibilità idraulica</b>	Codifica <b>REHX08010BIAM02728</b>	
		Rev . N° 00	Pag. <b>15</b> di 30

#### 5.4 TEMPO DI CORRIVAZIONE DEL BACINO

Il tempo di corrivazione, relativo ad un punto assegnato del bacino, è il tempo che impiega una goccia d'acqua che parte da quel punto per raggiungere la sezione di chiusura del bacino. Ad ogni punto del bacino corrisponde un particolare valore del tempo di corrivazione. Un punto particolare è quello idraulicamente più lontano dalla sezione di chiusura, cioè il punto dello spartiacque da cui ha origine l'asta principale della rete idrografica. Il tempo corrispondente a tale punto è il tempo di corrivazione più lungo, e prende nome di tempo di corrivazione del bacino.

Esistono svariate relazioni per la determinazione del tempo di corrivazione, in Italia è molto utilizzata la Formula di Giandotti (1934):

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{0.8\sqrt{z}}$$

Dove:

A: area del bacino (Km<sup>2</sup>);

L: lunghezza dell'asta principale (Km);

z: altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura (m); è data da (zm – zs) dove zm è l'altitudine media del bacino (m) e zs l'altitudine della sezione (m).

L'espressine restituisce il valore del tempo di corrivazione del bacino in ore.

Nel calcolo del tempo di corrivazione del bacino in oggetto sono stati utilizzati i seguenti parametri:


A = 22 Km<sup>2</sup>

L = 6.3 Km

Zm = 736 m

Zs = 436 m.

Il tempo di corrivazione del bacino è pari a 2.04 ore.

	<b>Realizzazione nuovi elettrodotti a 150 kV “Santa Teresa-Tempio” e “Tempio – Buddusò”, nuove Stazioni Elettriche a 150 kV di “Tempio” e “Buddusò” e relativi raccordi linee</b>  <b>Studio di compatibilità idraulica</b>	Codifica <b>REHX08010BIAM02728</b>	
		Rev . N° 00	Pag. <b>16</b> di 30

## 5.5 STIMA DELLA PORTATA DI PICCO – METODO RAZIONALE

Il metodo razionale è un procedimento particolarmente semplice ed efficace per il calcolo della portata di picco con assegnato tempo di ritorno, valido per bacini di piccola estensione (<100-200 km<sup>2</sup>).

Il metodo razionale si fonda sull'uso della curva segnalatrice di probabilità pluviometrica, e sulle seguenti ipotesi di base:

Isofrequenza: piogge di tempo di ritorno T generano portate al picco di identico tempo di ritorno T;

A parità di tempo di ritorno T, la portata al colmo maggiore è quella determinata dall'evento di pioggia di durata pari al tempo di corrvazione (che diventa quindi tempo critico);

La portata al colmo Q determinata da una pioggia di intensità costante e durata  $t_c$  è proporzionale al prodotto dell'intensità di pioggia ragguagliata all'area e dell'area del bacino A, attraverso un coefficiente di deflusso C che comprende l'effetto delle perdite per infiltrazione.

La formula del metodo razionale è:

$$Q(T) = \frac{C \cdot A \cdot h_r(t, T)}{t}$$

dove:

Q(T): portata al colmo con tempo di ritorno T;

A: area del bacino;

$h_r(t, T)$ : altezza di pioggia ragguagliata con tempo di ritorno T corrispondente a durata t opportunamente fissata;

C: coefficiente di deflusso.

Nel calcolo della portata al colmo sono stati considerati i seguenti parametri:

Superficie totale A	A = 22 Km <sup>2</sup>
Tempo di ritorno T	T = 50, 100 e 200 anni
Coefficiente di deflusso C	C = 0.38

Le portate di colmo calcolate sono le seguenti:

T = 50 anni	
Qc (mc/h)	Qc (mc/s)
296507.6	82.36

T = 100 anni
--------------



**Studio di compatibilità idraulica**

Qc (mc/h)	Qc (mc/s)
338564.50	94.05

T = 200 anni	
Qc (mc/h)	Qc (mc/s)
380547.41	105.71

	<b>Realizzazione nuovi elettrodotti a 150 kV “Santa Teresa-Tempio” e “Tempio – Buddusò”, nuove Stazioni Elettriche a 150 kV di “Tempio” e “Buddusò” e relativi raccordi linee</b>  <b>Studio di compatibilità idraulica</b>	Codifica <b>REHX08010BIAM02728</b>	
		Rev . N° 00	Pag. <b>18</b> di 30

## 6 MODELLO IDRAULICO

Lo studio di compatibilità idraulica è stato effettuato ai sensi dell'art.24 delle norme di attuazione del PAI.

La simulazione idraulica delle portate in moto permanente è stata condotta mediante il software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System), sistema d'analisi dei fiumi dell'Hydrologic Center (HEC), del Corpo degli Ingegneri dell'Esercito degli Stati Uniti d'America.

HEC-RAS analizza le reti di canali naturali ed artificiali, calcolando i profili del pelo libero basandosi su di un'analisi a moto permanente e/o moto vario monodimensionale.

Il moto di una corrente di piena in un alveo fluviale è bidimensionale, tuttavia ampie applicazioni di letteratura hanno mostrato che l'ipotesi di moto monodimensionale conduce spesso ad accettabili risultati senza eccessivi appesantimenti di calcolo. HEC-RAS permette di ricostruire l'andamento del pelo libero, tenendo conto di tutte le strutture presenti nell'alveo, quali: ponti, briglie, sfioratori laterali, argini, ostacoli vari, chiuse, etc.

Elaborando i dati forniti in ingresso, il modello numerico consente di determinare la quota del pelo libero, incognita lungo l'asta torrentizia, in ciascuna sezione trasversale precedentemente definita dall'utente. Oltre al valore del tirante idrico, per ciascun profilo calcolato, il modello fornisce i valori delle principali grandezze idrauliche che caratterizzano una corrente idrica.

Nei paragrafi seguenti sono brevemente accennate le teorie e le funzionalità del programma impiegato (Hec-Ras versione 4.1.0).

La procedura di calcolo implementata si basa sulla soluzione dell'equazione monodimensionale dell'energia; le perdite di carico valutate sono quelle distribuite (equazione di Manning) e quelle localizzate causate dalla contrazione o espansione della vena liquida (tramite un coefficiente che moltiplica la variazione dell'altezza cinetica).

L'equazione della quantità di moto è utilizzata nei punti dove il profilo del pelo libero subisce brusche variazioni; ciò si verifica: in condizione di regime misto, nei punti di passaggio da corrente veloce a lenta, in corrispondenza dei ponti e dei tombini oppure nei pressi delle confluenze fra corsi d'acqua.

Nei calcoli si possono considerare gli effetti di punti singolari quali ponti, tombini di varia forma e con aperture singole o multiple, soglie sfioranti e paratoie.

Utilizzando un procedimento iterativo il software determina il profilo di moto permanente, ovvero la quota del pelo libero incognita in una determinata sezione trasversale del corso d'acqua, mediante l'integrazione dell'equazione di bilancio energetico. Tale metodologia è descritta dalle due equazioni seguenti:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

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

dove:

$WS_1, WS_2$  = quota del pelo libero fra due sezioni di calcolo

$V_1, V_2$  = velocità media

	<b>Realizzazione nuovi elettrodotti a 150 kV “Santa Teresa-Tempio” e “Tempio – Buddusò”, nuove Stazioni Elettriche a 150 kV di “Tempio” e “Buddusò” e relativi raccordi linee</b>  <b>Studio di compatibilità idraulica</b>	Codifica <b>REHX08010BIAM02728</b>	
		Rev . N° 00	Pag. <b>19</b> di 30

$\alpha_1, \alpha_2$	= coefficienti energetici moltiplicativi della velocità
g	= accelerazione gravitazionale
$h_e$	= perdita di carico
L	= distanza fra le sezioni trasversali
Sf	= pendenza media
C	= coefficiente di perdita per contrazione o espansione

La procedura di calcolo può essere pertanto riassunta nelle seguenti fasi:

1. Definizione della altezza d'acqua alla sezione di partenza.
2. Calcolo della velocità e della capacità totale di trasporto in funzione della quota definita del pelo libero.
3. Risoluzione dell'equazione esprime le perdite energetiche e definizione della pendenza media tramite i valori determinati al punto 2.
4. Calcolo della quota del pelo libero alla sezione incognita con i valori ottenuti dai punti 2 e 3.
5. Confronto tra il valore  $WS_2$  calcolato e i valori adottati al punto 1.

I passi da 1 a 5 vengono ripetuti finché i due valori non risultano essere inferiori ad una quantità stabilita. La quota iniziale del pelo libero può essere assunta seguendo diversi criteri (condizioni al contorno).

#### **Dati in ingresso**

I dati di input del modello numerico si possono suddividere in due gruppi:

dati idraulici (portata di piena alla sezione di chiusura, valori di scabrezza espressi mediante la formulazione di Manning, coefficienti delle perdite di carico, condizioni al contorno);

dati geometrici (geometria delle sezioni trasversali, definizione dei limiti dell'alveo, geometrie dei manufatti presenti);

#### **Dati di uscita**

Le informazioni restituite dal modello numerico riguardano diversi parametri caratteristici delle correnti idriche, per esempio:

- quota in m s.l.m. del pelo libero;
- quota del gradiente energetico;
- velocità e portata;
- larghezza del pelo libero;
- area bagnata;
- profilo di moto permanente lungo il tratto di asta considerato.

## Studio di compatibilità idraulica

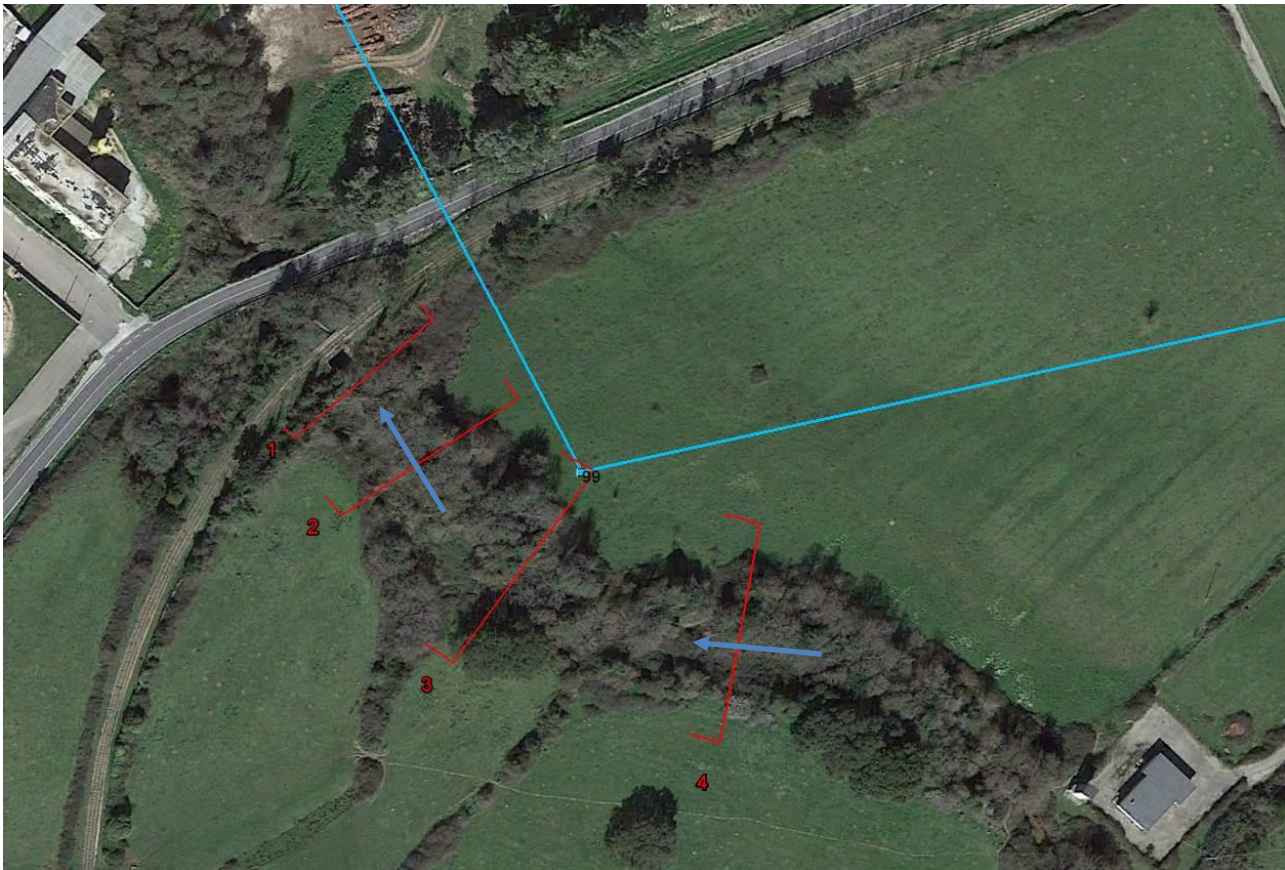
### 6.1 MODELLO DEL CORSO D'ACQUA NEL TRATTO IN ESAME

#### 6.1.1 GEOMETRIA

La geometria del corso d'acqua Riu San Paolo, viene rappresentata mediante la schematizzazione dell'andamento planimetrico del fiume e l'inserimento delle sezioni idrauliche rilevate lungo l'asta.

Nel caso in esame le sezioni fluviali sono state ricostruite, a partire dal rilievo topografico, su una lunghezza complessiva di circa 100 m per il fosso in esame. Le sezioni sono state opportunamente inserite in Hec-Ras da valle verso monte.

In totale, sono state tracciate: 10 sezioni, in parte ricavate da rilievo e in parte ottenute per interpolazione; si riportano di seguito le principali:



*Estratto ortofoto con indicate le sezioni principali del corso d'acqua (in celeste è riportato il tracciato della nuova linea in progetto e il sostegno*

**Studio di compatibilità idraulica**

**6.1.2 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



*Foto 1 – Riu San Paolo*



*Foto 2 – Riu San Paolo*

## Studio di compatibilità idraulica



Foto 3 – Riu San Paolo – in corrispondenza della sezione numero 3

### 6.1.3 PORTATA

A seguito dei calcoli effettuati (si veda cap.5 Calcolo della portata) la portata immessa è la seguente:

Corso d'acqua	Portata [m <sup>3</sup> /s] T =100 anni
Riu San Paolo	94.05

*E' stata scelta la portata con tempo di ritorno di 100 anni in quanto meglio rappresentante la vita nominale dell'opera in oggetto.*


Il trasporto solido all'interno del Riu San Paolo è pressoché nullo. Le verifiche saranno eseguite in funzione della sola portata liquida.

### 6.1.4 VALORI DI SCABREZZA

Per ogni sezione rilevata, il codice di calcolo richiede l'inserimento del coefficiente di Manning.

In particolare, sono stati attribuiti in funzione della tipologia di superficie i seguenti coefficienti:

Valore del coefficiente di resistenza di Manning n [s/m <sup>1/3</sup> ]	Tipo di superficie
0.030	Alvei in terra molto vegetati
0.025	Alvei in terra poco inerbiti

	<b>Realizzazione nuovi elettrodotti a 150 kV “Santa Teresa-Tempio” e “Tempio – Buddusò”, nuove Stazioni Elettriche a 150 kV di “Tempio” e “Buddusò” e relativi raccordi linee</b>  <b>Studio di compatibilità idraulica</b>	Codifica <b>REHX08010BIAM02728</b>	
		Rev . N° 00	Pag. <b>23</b> di 30

### **6.1.5 CONDIZIONI AL CONTORNO**

Il tratto in esame è caratterizzato da una corrente mista, data la presenza di alcuni attraversamenti.

Le condizioni al contorno imposte sono il passaggio per lo stato critico in corrispondenza degli attraversamenti (Critical Depth).

## Studio di compatibilità idraulica

### 6.2 RISULTATI

Si riporta la sintesi dei risultati ottenuti adottando una portata di piena centennale pari 94.05 m<sup>3</sup>/s.

River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
-----------	----------------	---------------	---------------	---------------	---------------	------------------	----------------	----------------	---------------	--------------

4	94.06	433.58	436.2		436.28	0.001003	1.65	76.47	60	0.35
3.3	94.06	433.56	436.17		436.27	0.001277	1.83	70.6	60	0.39
3.2	94.06	433.54	436.12		436.25	0.001766	2.11	63.2	60	0.45
3.1	94.06	433.52	435.98		436.22	0.003346	2.75	50.36	60	0.61
3	94.06	433.5	436.02		436.16	0.001821	2.11	62.29	60	0.45
2.2	94.06	433.48	435.81	435.81	436.12	0.004683	3.13	44.96	60	0.72
2.1	94.06	433.46	435.77		435.98	0.003348	2.69	51.49	60	0.62
2	94.06	433.44	435.8		435.93	0.001965	2.12	61.84	60	0.48
1.1	94.06	433.42	435.78		435.92	0.001958	2.12	61.9	60	0.48
1	94.06	433.4	435.77	435.46	435.9	0.001947	2.12	61.99	60	0.48
0.1	94.06	433.4	435.15	435.03	435.84	0.007855	3.69	25.51	15	0.9

**Min Ch El:** Minima quota del pelo libero nel main channel

**W.S. Elev:** Quota del pelo libero

**Crit W.S:** Quota critica del pelo libero (corrispondente al minimo assoluto della linea dell'energia)

**E.G. Elev:** Quota della linea dell'energia per il profilo liquido calcolato

**E.G. Slope:** Pendenza della linea dell'energia

**Vel Chnl:** Velocità media nel main channel

**Flow Area:** Area totale della sezione liquida effettiva

**Top Width:** larghezza superficiale della sezione liquida, compresa le aree di deflusso non effettive

**Froude Chl:** Numero di Froude dell'alveo principale

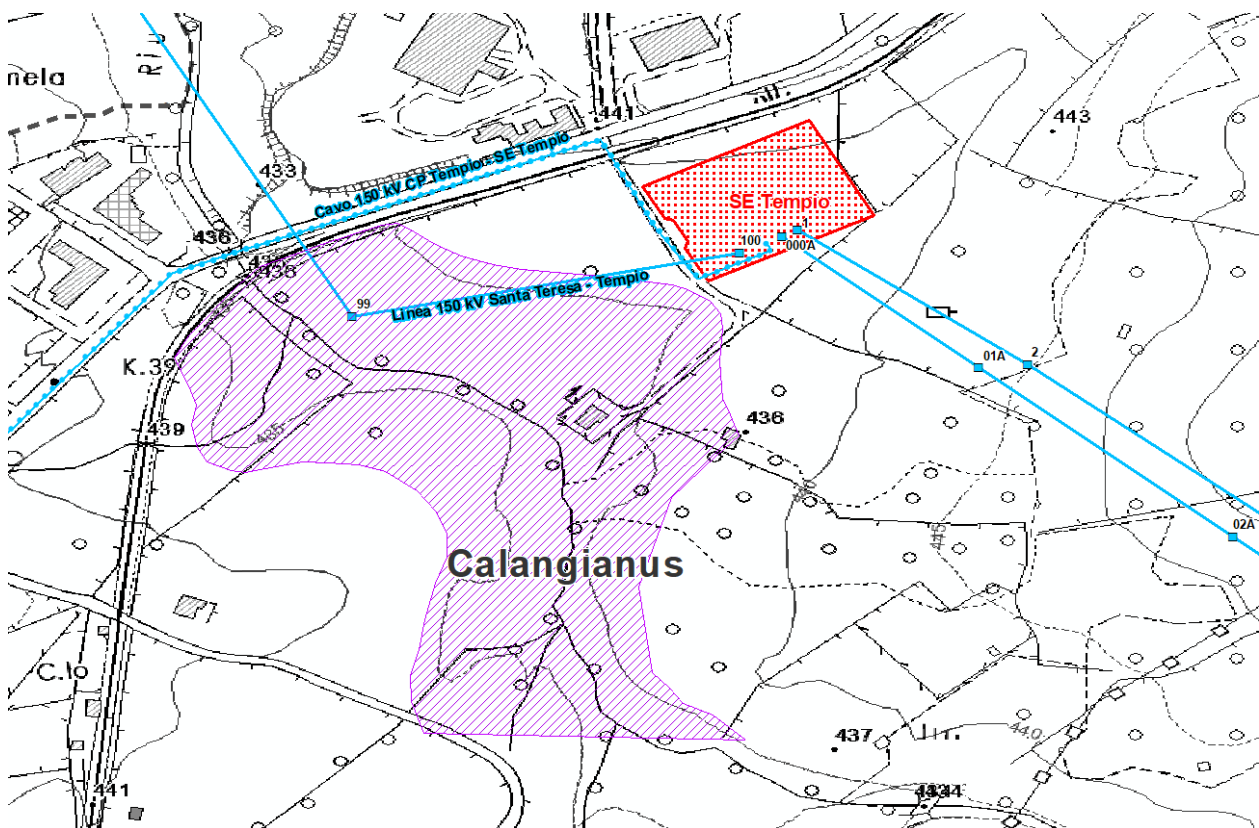


## Studio di compatibilità idraulica









### 6.3 CONCLUSIONI

Al fine di definire le aree inondabili, è stata prolungata la quota del pelo libero relativa alla portata centennale sino a raccordarsi con la quota di terreno.

Così facendo l'area inondabile è delimitata dalla porzione di terreno con altezza (in termini di m s.l.m.) minori o uguali rispetto alla quota del pelo libero. Si riporta di seguito un estratto dell'elaborazione effettuata su CTR con riportato in colore rosa tratteggiato detta area.



#### Legenda

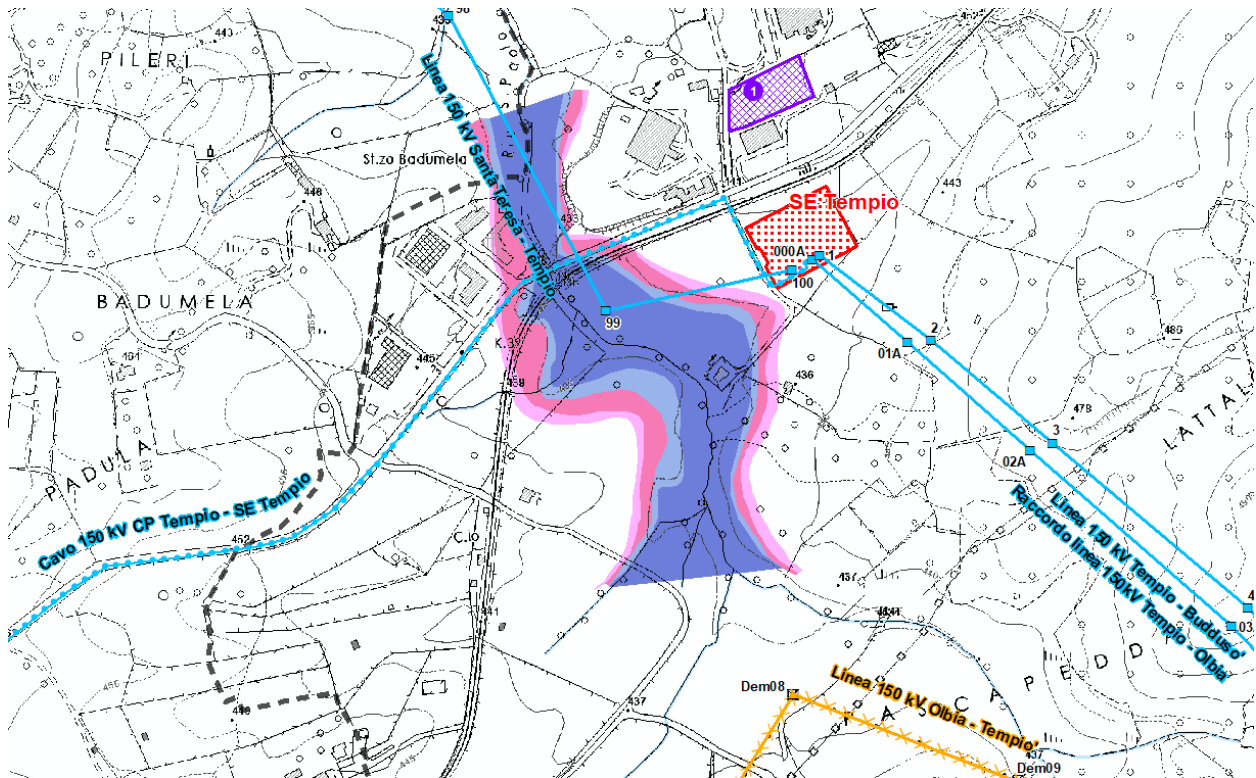
- |   |                                    |   |                                     |
|---|------------------------------------|---|-------------------------------------|
|  | Limiti comunali                    |  | Area ubicazione cantieri base       |
|  | Nuove Stazioni elettriche 150 kV   |  | Stazione e CP esistenti             |
|  | Nuovi elettrodotti aerei ST 150 kV |  | Nuovi elettrodotti interrati 150 kV |
|  | Elettrodotti da demolire           |   |                                     |
|  | Area allagabile Tr 100 anni        |   |                                     |

Area inondabile con  $Tr = 100$  anni.


## Studio di compatibilità idraulica


Interpretando i risultati ottenuti con HEC RAS si osserva quanto segue:


- Le sezioni idrauliche risultano insufficienti a contenere la portata di piena centennale; in particolare il modello idraulico adottato evidenzia la possibilità di esondazione del corso d'acqua sia in sinistra che in destra idrografica con interessamento delle ampie zone prative laterali al corso d'acqua.
- Tale risultato è coerente e confrontabile, in termini di perimetrazione delle aree potenzialmente allagabili, con le previsioni di rischio così come definite negli elaborati del PAI





### Legenda


 Limiti comunali


 Nuove Stazioni elettriche 150 kV

 Nuovi elettrodotti aerei ST 150 kV


 Elettrodotti da demolire


 Area ubicazione cantieri base


 Stazione e CP esistenti


 Nuovi elettrodotti interrati 150 kV

### Pericolosità idraulica

 Hi1 - Aree a pericolosità idraulica bassa

 Hi2 - Aree a pericolosità idraulica moderata

 Hi3 - Aree a pericolosità idraulica alta

 Hi4 - Aree a pericolosità idraulica molto alta

Ubicazione del sostegno n. 99 ricadente all'interno dell'area a pericolosità idraulica molto alta (Hi4) cartografata dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Regione Autonoma della Sardegna.

**I risultati ottenuti mostrano che l'opera non modifica i fenomeni idraulici naturali e non costituiscono significativo ostacolo al deflusso naturale delle acque.**

	<b>Realizzazione nuovi elettrodotti a 150 kV “Santa Teresa-Tempio” e “Tempio – Buddusò”, nuove Stazioni Elettriche a 150 kV di “Tempio” e “Buddusò” e relativi raccordi linee</b>  <b>Studio di compatibilità idraulica</b>	<small>Codifica</small> <b>REHX08010BIAM02728</b>	
		Rev . N° 00	Pag. <b>27</b> di 30

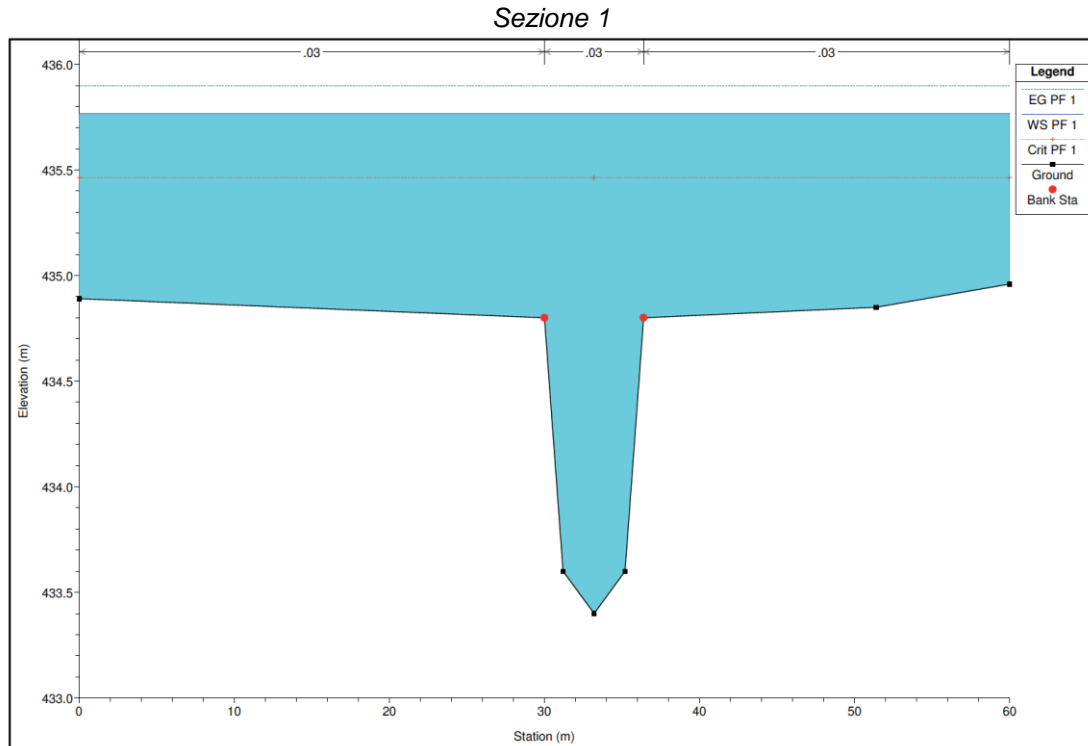
La sezione numero 3 eseguita in corrispondenza del sotegno numero 99 presenta un tirante idrico di circa 70 cm. Ciò detto si ritiene l'opera in oggetto compatibile con lo stato di pericolosità e di rischio dell'area previa adozione, in fase di progettazione esecutiva, di un'adeguata fondazione su pali trivellati il cui dimensionamento dovrà tenere in considerazione anche le azioni esercitate sul palo dalle acque di esondazione ed i cui piedini (parte fuori terra delle fondazioni) non dovrà essere inferiore a 100 cm.

## Studio di compatibilità idraulica

### ALLEGATI -

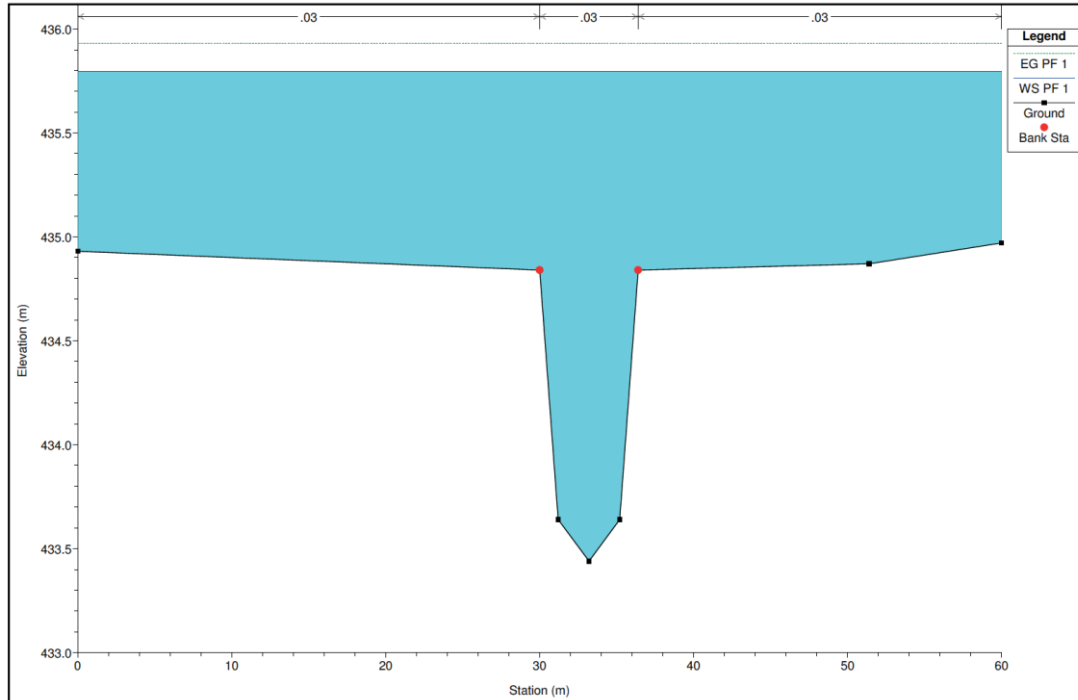
### SEZIONI HEC - RAS

Di seguito si riportano le principali sezioni (da monte verso valle) con l'altezza di pelo libero relativa alla piena centennale.

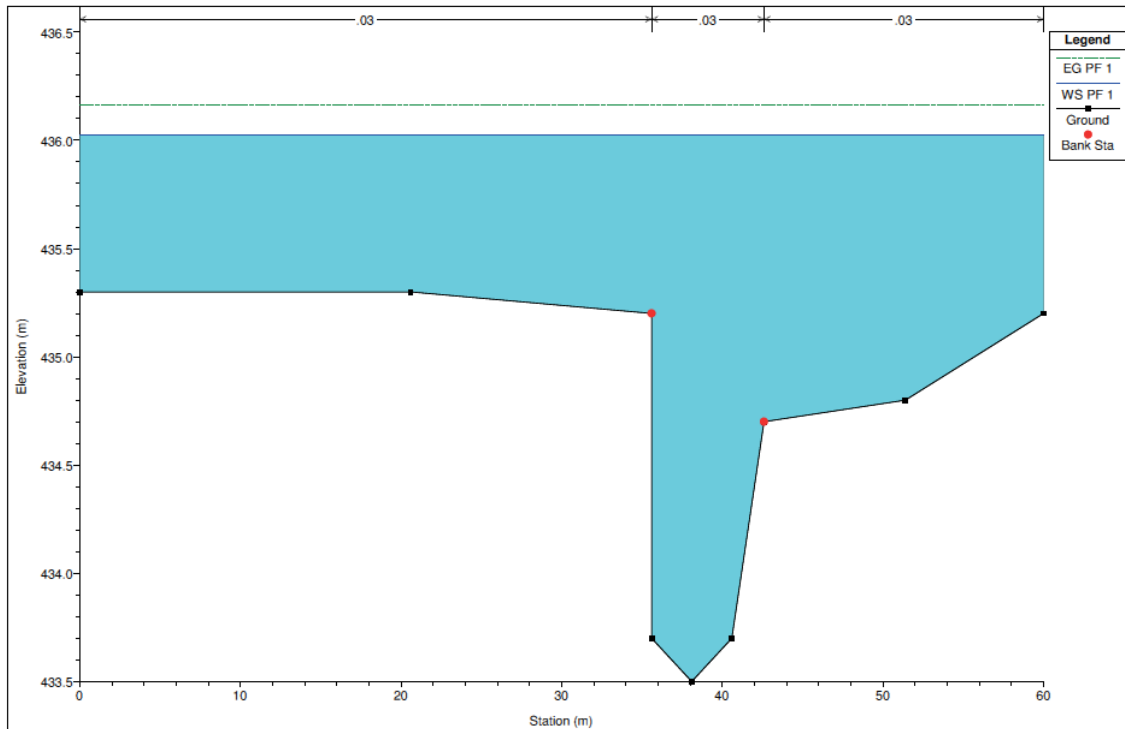


## Studio di compatibilità idraulica

### Sezione 2



### Sezione 3 – in corrispondenza del sostegno 99



## Studio di compatibilità idraulica

Sezione 4

