





# REGIONE SARDEGNA

Provincia del Medio Campidano (VS)

## COMUNI DI SAMASSI E SERRENTI



REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROL.	APPROV.
1	EMISSIONE PER ENTI ESTERNI	01/10/21	NASTASI M.	FURNO C.	NASTASI A.
0	EMISSIONE PER COMMENTI	19/07/21	NASTASI M.	FURNO C.	NASTASI A.

Committente:				
<b>SORGENIA RENEWABLES S.R.L.</b>				
Sede legale in Via Algardi Alessandro, 4, 20148, Milano (MI) Partita I.V.A. 10300050969 - PEC: sorgenia.renewables@legalmail.it				
Società di Progettazione:			<i>Ingegneria &amp; Innovazione</i>	
			Via Jonica, 16 - Loc. Belvedere - 96100 Siracusa (SR) Tel. 0931.1663409 Web: <a href="http://www.antexgroup.it">www.antexgroup.it</a> e-mail: <a href="mailto:info@antexgroup.it">info@antexgroup.it</a>	
Progetto:			Progettista/Resp. Tecnico:	
<b>PARCO EOLICO DI "SAMASSI - SERRENTI"</b>			Dott. Ing. Cesare Furno Ordine degli Ingegneri della Provincia di Catania n° 6130 sez. A	
Elaborato:			Geologo:	
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA			Dott. Geol. Milko Nastasi Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia n° 3139 sez. A	
Scala:	Nome DIS/FILE:	Allegato:	F.to:	Livello:
NA	C20010S05-PD-RT-05-01	1/1	A4	<b>DEFINITIVO</b>
<i>Il presente documento è di proprietà della ANTEX GROUP srl. È vietato la comunicazione a terzi o la riproduzione senza il permesso scritto della suddetta. La società tutela i propri diritti a rigore di Legge.</i>				
			 	

indice

1. PREMESSA.....	3
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	4
3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO-IDROGRAFICO .....	6
3.1 geomorfologia.....	6
3.2 Idrologia e idrogeologia.....	9
3.2 Influenza della viabilità e del cavidotto sul reticolo idrografico .....	11
3.3 Caratteristiche morfologiche del Flumini Mannu .....	11
4. METODO DI STUDIO .....	13
5. RISULTATI DEL CALCOLO.....	15
5.1 Elaborazioni di Gumbel .....	20
5.2 Elaborazioni di TCEV secondo livello (Two Components Extreme Value) .....	25
5.3 Rapporto sulla curva di pioggia .....	33
5.4 Calcolo portata di massima piena .....	40
5.5 Dati ottenuti dalla relazione Monografica di Bacino idrografico.....	41
6. POSA DEL CAVIDOTTO.....	42
CONCLUSIONI.....	44

<i>Figura 1 - Corografia della zona in scala 1:25000.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 2 – Inquadramento territoriale comunale del layout di impianto in progetto .....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 3 – Immagine rappresentativa delle strutture geomorfologiche presenti DTM.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 4 Area interessata dagli impianti con reticolo idrografico presente e le interferenze individuate.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 5 – Bacino di nostro interesse del Flumini Mannu di circa 410 km<sup>2</sup>.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 6 - Sottozone pluviometriche omogenee SZO per la regione Sardegna.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 7 sezione della fase di perforazione della tecnologia TOC .....</i>	<i>42</i>

ALLEGATO 1: COROGRAFIA 1:25000

ALLEGATO 2: CARTA IDROGRAFICA 1:50000

ALLEGATO 3: CARTA DELLE INTERFERENZE CON RETICOLO IDROGRAFICO 1:15000

## 1. PREMESSA

Il soggetto proponente del progetto in esame è Sorgenia Renewables S.r.l., interamente parte del gruppo Sorgenia, uno dei maggiori operatori energetici italiani.

Il Gruppo è attivo nella produzione di energia elettrica con oltre 4.750 MW di capacità di generazione installata e oltre 400.000 clienti in fornitura in tutta Italia. Efficienza energetica e attenzione all'ambiente sono le linee guida della sua crescita.

Il parco di generazione, distribuito su tutto il territorio nazionale, è costituito dai più avanzati impianti a ciclo combinato e da impianti a fonte rinnovabile, per una capacità di circa 370 MW tra biomassa ed eolico.

Nell'ambito delle energie rinnovabili, il Gruppo, nel corso della sua storia, ha anche sviluppato, realizzato e gestito impianti di tipo fotovoltaico (ca. 24 MW), ed idroelettrico (ca.33 MW).

In quest'ultimo settore, Sorgenia è attiva con oltre 75 MW di potenza installata gestita tramite la società Tirreno Power, detenuta al 50%.

Il Gruppo Sorgenia, tramite le sue controllate, fra le quali Sorgenia Renewables S.r.l., è attualmente impegnata nello sviluppo di un importante portafoglio di progetti rinnovabili di tipo eolico, fotovoltaico, biometano, geotermico ed idroelettrico, caratterizzati dall'impiego delle Best Available Technologies nel pieno rispetto dell'ambiente.

Su incarico di SORGENIA Renewables Srl, la società Antex Group Srl ha redatto il progetto definitivo relativo alla realizzazione di un impianto eolico nei comuni di Samassi e Serrenti, nella provincia di Medio Campidano (ex Sud Sardegna)..

Il progetto prevede l'installazione di n. 11 nuovi aerogeneratori con potenza unitaria di 6 MW, per una potenza complessiva di impianto di 66 MW.

Nel dettaglio il progetto prevede l'installazione di n.6 aerogeneratori nei terreni del Comune di Samassi (VS) e di n.5 aerogeneratori nei terreni del Comune di Serrenti (VS).

Gli aerogeneratori saranno collegati alla nuova Stazione di trasformazione Utente, posta nel comune di Sanluri (VS), tramite cavidotti interrati con tensione nominale pari a 30 kV.

La stazione di trasformazione utente riceverà l'energia proveniente dall'impianto eolico a 30 kV e la eleverà alla tensione di 150 kV.

Tutta l'energia elettrica prodotta verrà ceduta alla rete tramite collegamento in antenna a 150 kV su una nuova Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione a 380/150 kV della RTN, denominata "Sanluri", da inserire in entra-esce alla linea RTN 380 kV "Ittiri-Selargius", la cui autorizzazione è oggetto di altra iniziativa (benessere requisiti tecnici richiesto da altro produttore nominato capofila in sede di tavolo tecnico con Terna).

Le attività di progettazione definitiva e di studio di impatto ambientale sono state sviluppate dalla società di ingegneria Antex Group Srl.

Antex Group Srl è una società che fornisce servizi globali di consulenza e management ad Aziende private ed Enti pubblici che intendono realizzare opere ed investimenti su scala nazionale ed internazionale.

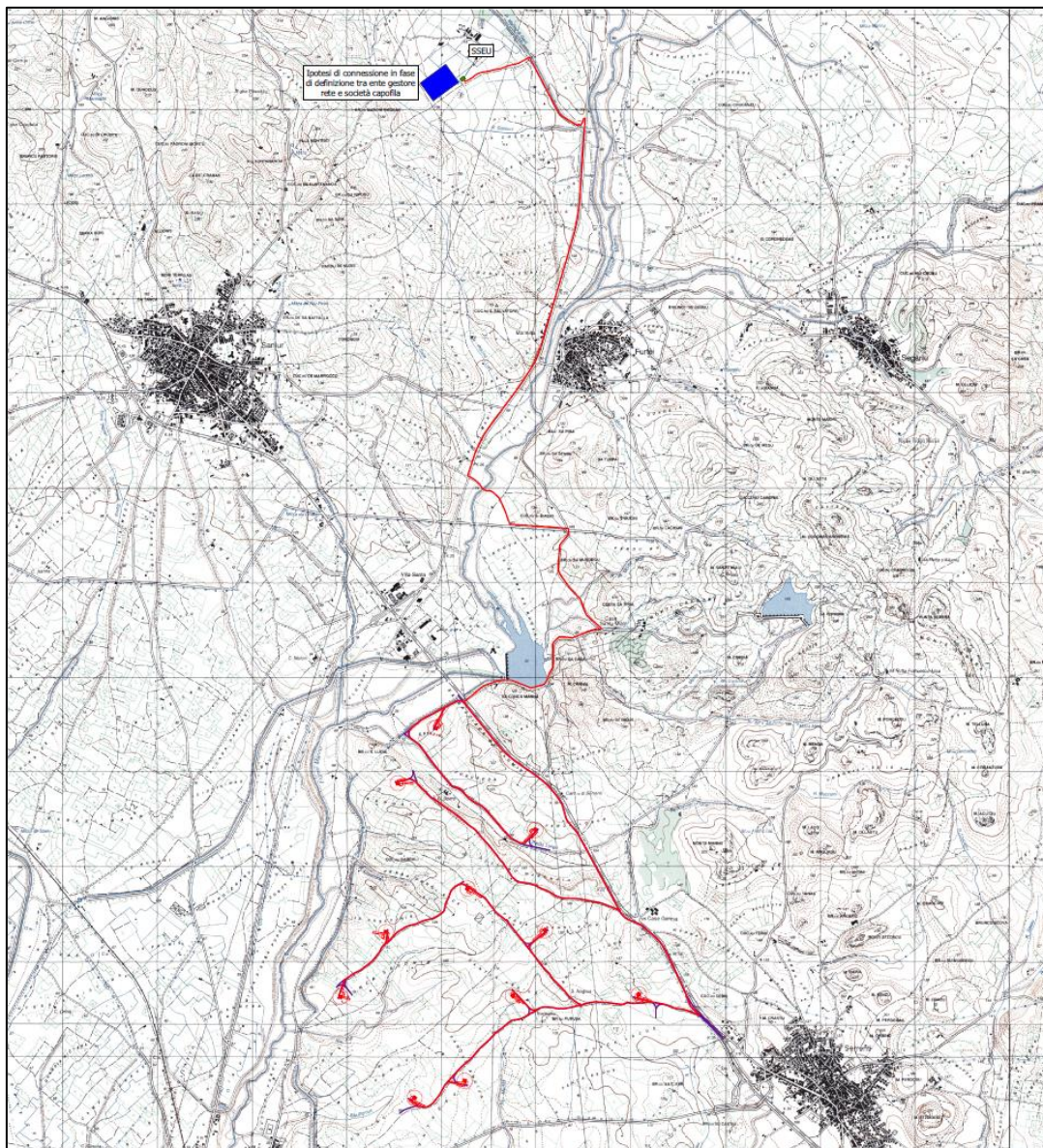
È costituita da selezionati e qualificati professionisti uniti dalla comune esperienza professionale nell'ambito delle consulenze ingegneristiche, tecniche, ambientali e gestionali.

Sia Antex che Sorgenia pongono a fondamento delle attività e delle proprie iniziative, i principi della qualità, dell'ambiente e della sicurezza come espressi dalle norme ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001 nelle loro ultime edizioni.

Difatti, in un'ottica di sviluppo sostenibile proprio e per i propri clienti e fornitori, le Aziende citate posseggono un proprio Sistema di Gestione Integrato Qualità-Sicurezza-Ambiente.

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Al fine di verificare la fattibilità del progetto in esame e definire al meglio il modello geologico in fase di progetto definitivo, è stato eseguito uno studio geologico, geomorfologico e idrogeologico delle aree in esame, spinte fino ad un intorno utile a definire le caratteristiche sopra menzionate.



**Figura 1 - Corografia della zona in scala 1:25000**

L'area sulla quale verranno installate le turbine e relativa viabilità ricade nei fogli 547 II Serramanna, 547 I Sanluri della Carta Topografica d'Italia in scala 1:25.000 dell'IGMI (fig.1).

Le turbine sono ubicate nel territorio comunale di Samassi (VS) e Serrenti (VS), in un'area scarsamente antropizzata con un utilizzo prettamente agricolo.

Il cavidotto interrato, invece, è previsto che segua per lo più la viabilità interna al parco per poi proseguire nel territorio di Furtei verso Nord.

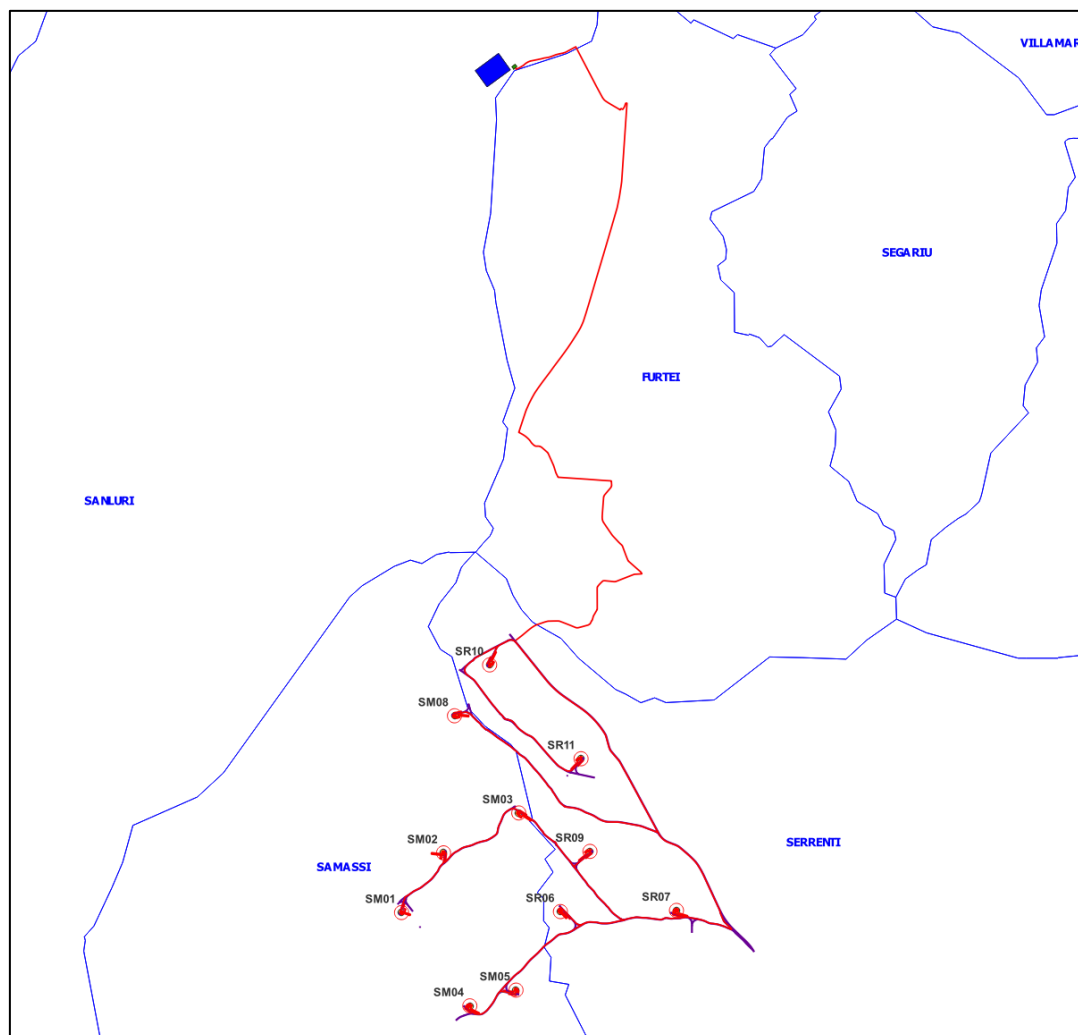


Figura 2 – Inquadramento territoriale comunale del layout di impianto in progetto

### 3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO-IDROGRAFICO

#### 3.1 geomorfologia

L'area centrale del foglio 547 Villacidro ([https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/547\\_VILLACIDRO/Foglio.html](https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/547_VILLACIDRO/Foglio.html)) ricade nella regione del Medio Campidano e la sua geomorfologia è fortemente influenzata dal contesto geolitologico e strutturale che ha interagito con gli effetti dei cambiamenti climatici quaternari. Il Campidano è stato classicamente interpretato come un graben (PECORINI& POMESANO CHERCHI, 1969; CASULA et alii, 2001) la cui formazione viene riferita al Pliocene Medio-Superiore-? Pleistocene per la presenza, nel suo sottosuolo, di oltre 500 m di sedimenti continentali contenenti foraminiferi rimaneggiati dai sottostanti sedimenti del Miocene e del Pliocene Inferiore marino.

Si tratterebbe di un graben asimmetrico con la master fault ubicata sul bordo sud-occidentale e faglie antitetiche di minor importanza sul bordo nord-orientale.

Dai versanti che delimitavano il Campidano, durante il Pleistocene superiore, si sono originate estese conoidi alluvionali coalescenti.

La loro morfologia era caratterizzata da una più elevata acclività nei pressi del versante e da una progressiva diminuzione della stessa nella parte distale fino a generare conoidi con profilo concavo.

Sulla loro superficie le irregolarità topografiche dovute alla presenza di canali distributori sono state in genere livellate dai processi erosivi.

Tutte queste conoidi sono state interessate da importanti processi di incisione che hanno condotto al loro terrazzamento. I processi erosivi sono stati particolarmente intensi nelle parti apicali, dove le scarpate raggiungono varie decine di metri di altezza.

Questi processi hanno però interessato anche le parti distali che si presentano anch'esse terrazzate ed è probabile che spessori considerevoli siano preservati sepolti nel sottosuolo della pianura.

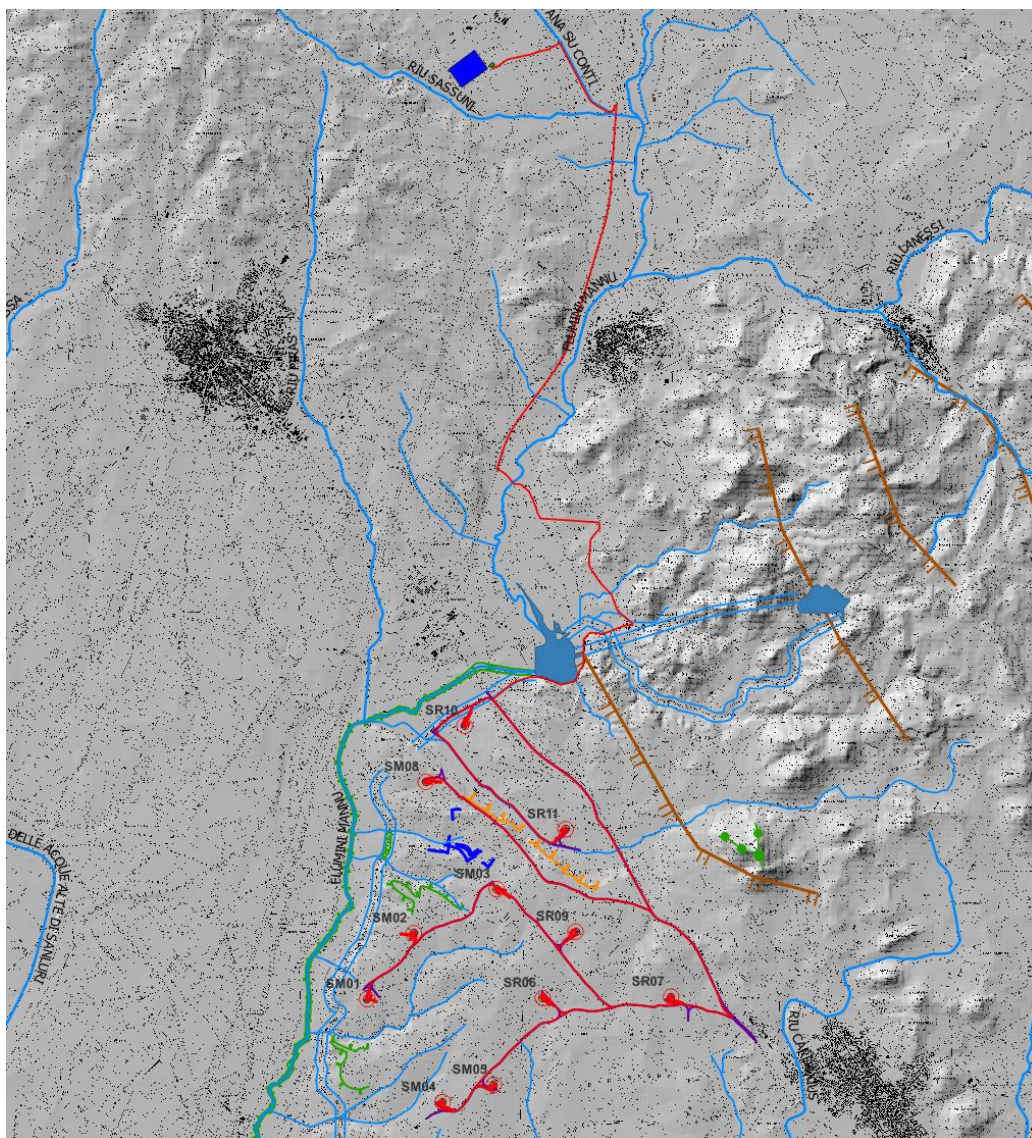
L'erosione che ha interessato la parte apicale delle conoidi ha certamente rimodellato anche i versanti.

In particolare, la parte apicale di due delle più estese conoidi del versante settentrionale (nei pressi di Serrenti) risulta più elevata dei versanti e le dimensioni non sono giustificate dall'attuale limitato bacino idrografico che le alimenta.

È verosimile che queste conoidi fossero alimentate da corsi d'acqua più importanti, interessati poi da fenomeni di cattura durante il Tardiglaciale.

La paleovalle che alimentava la conoide più settentrionale passava ai piedi del M. Porceddu, dove è visibile una ampia sella.

La conoide più meridionale era alimentata da una valle che passava a S del M. Atziadei, dove sono ancora conservati estesi lembi terrazzati a quote elevate sul fondovalle e le quote vanno dai 60 m ai 110 m c.a s.l.m.



**Legenda**

- Viabilità interna al parco
- Piazzole e WTG
- Traccia Cavidotto
- SSEU
- Ipotesi di connessione in fase di definizione tra ente gestore rete e società capofila
- ~ ruscamento
- T rottura di pendio convessa
- T orlo di scarpata fluviale
- T orlo di scarpata
- T orlo di scarpata antropico
- cresta

**Figura 3 – Immagine rappresentativa delle strutture geomorfologiche presenti DTM**



### 3.2 Idrologia e idrogeologia

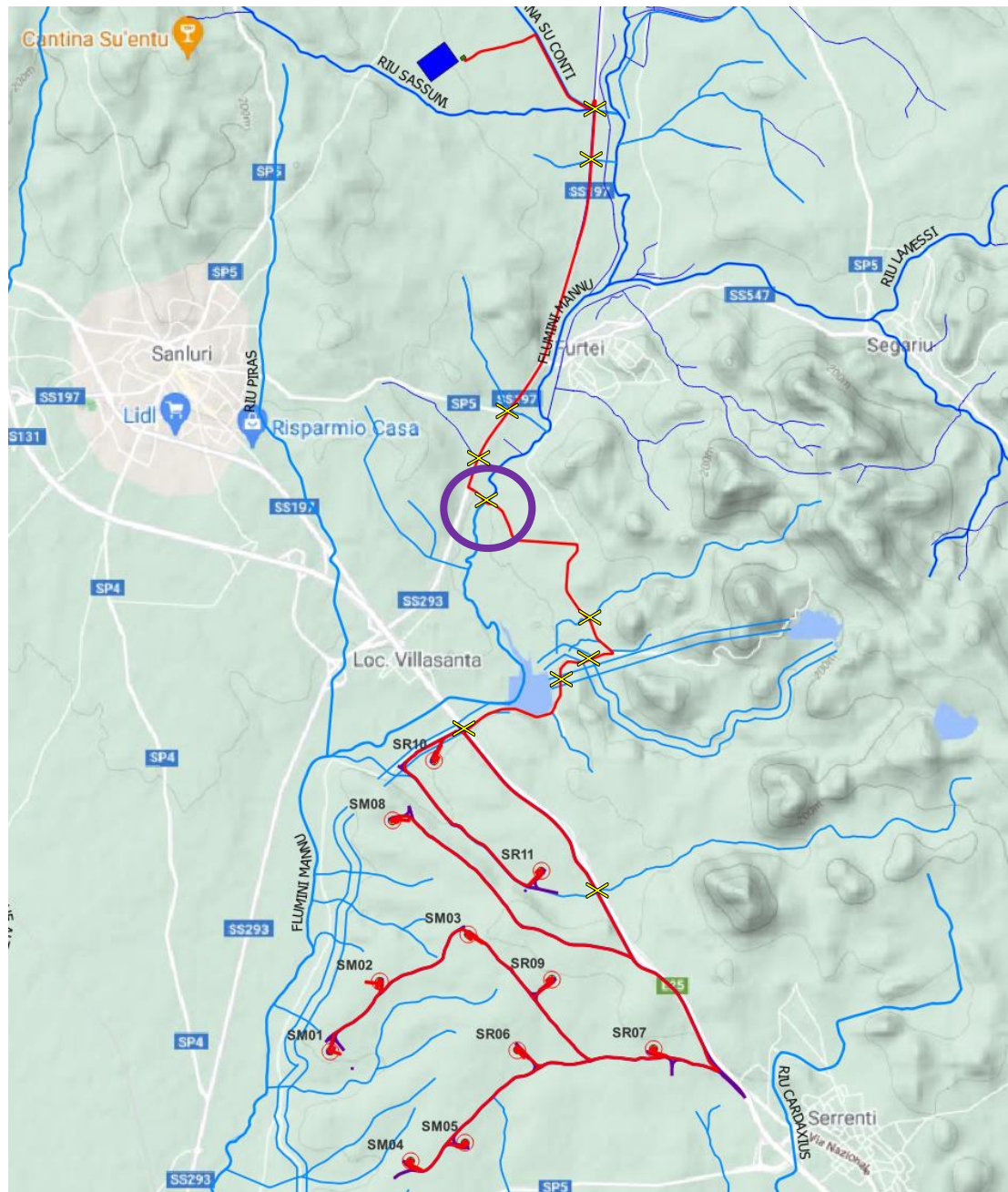
Gran parte del territorio occupato dal layout si trova all'interno del bacino del Flumini Mannu compresa tra la confluenza del Riu Lanessi e quella del Torrente Leni. L'area, a seguito di alcune opere d'invaso, canalizzazione e bonifica, ha subito radicali modifiche sotto l'aspetto idraulico e idrologico.

Il Flumini Mannu fa parte del **Sub\_Bacino Flumendosa-Campidano-Cixerri**.

Il Sub\_Bacino si estende per 5960 Km<sup>2</sup>, pari al 24.8 % del territorio regionale; è l'area più antropizzata della Sardegna ed il sistema idrografico è interessato da diciassette opere di regolazione in esercizio e otto opere di derivazione. I bacini idrografici di maggior estensione sono costituiti dal Flumendosa, dal Flumini Mannu, dal Cixerri, dal Picocca e dal Corr'e Pruna; numerosi bacini minori risultano compresi tra questi e la costa.

Il Flumini Mannu è il maggior tributario dello stagno di Santa Gilla e sfocia nella zona portuale di Cagliari; il corso d'acqua principale nasce a circa 800 metri di quota. Il primo nome assunto dal fiume è quello di Rio di Sarcidano, cambia denominazione in Rio San Sebastiano, Rio Mannu e finalmente, nei pressi di Isili, Flumini Mannu. In località "Is Barrocos" è stata recentemente realizzato un lago artificiale 11,7 milioni di m<sup>3</sup>. Nell'alta Marmilla il Flumini Mannu riceve, dalla destra idrografica e provenienti dalla Giara di Gesturi, il Rio Sellu e il Rio Pazzola, mentre dal territorio di Tuili riceve il Rio Fanari e il Rio Forada Manna.

Il fiume interferisce con il tracciato del cavidotto tra la località Villasanta e Urtei prima dell'imbocca sulla SS197.



**Legenda**

- Viabilità interna al parco
- Piazzole e WTG
- Traccia Cavidotto
- SSEU
- Ipotesi di connessione in fase di definizione tra ente gestore rete e società capofila,

X interferenza con impluvi e fiumi presenti

**Figura 4 Area interessata dagli impianti con reticolo idrografico presente e le interferenze individuate**

### 3.2 Influenza della viabilità e del cavidotto sul reticolo idrografico

La viabilità interna al parco ed il cavidotto in progetto si sviluppano principalmente dai rilievi molto blandi con impluvi a carattere torrentizio di modeste dimensioni.

Nell'area più a Nord è presente un vaso artificiale che intercetta le acque provenienti dal fiume Flumini Mannu e dei canali di bonifica costruiti dalla Regione Sardegna, la viabilità ed il cavidotto interferiscono con questi canali e qualche impluvio di modeste dimensioni.

Ancora più a Nord l'interferenza del cavidotto e della viabilità con il reticolo fluviale diventa di entità maggiore in quanto attraversiamo il Flumini Mannu.

Questa interferenza ha una importanza rispetto alle altre in quanto attraversiamo un fiume che può trasportare acqua con notevoli portate  $Q$  nei periodi di pioggia intensa.

Lo studio infatti è stato eseguito solo in questa interferenza in quanto si potrebbero presentare le condizioni peggiori per l'attraversamento, fermo restando che il cavidotto verrà fatto passare con metodologia TOC e a non meno di 1,5 m sotto l'alveo fluviale.

È da sottolineare che il cavidotto segue la viabilità ed è sempre interrato.

### 3.3 Caratteristiche morfologiche del Flumini Mannu

(fonte [http://www.regione.sardegna.it/documenti/1\\_327\\_20110415103651.pdf](http://www.regione.sardegna.it/documenti/1_327_20110415103651.pdf))

Il riu Flumini Mannu 041 è esteso tra la località Bruncu S'Ollastu presso Nurallao e l'abitato di Serramanna e viene caratterizzato sotto l'aspetto geomorfologico con riferimento a 4 tratti omogenei.

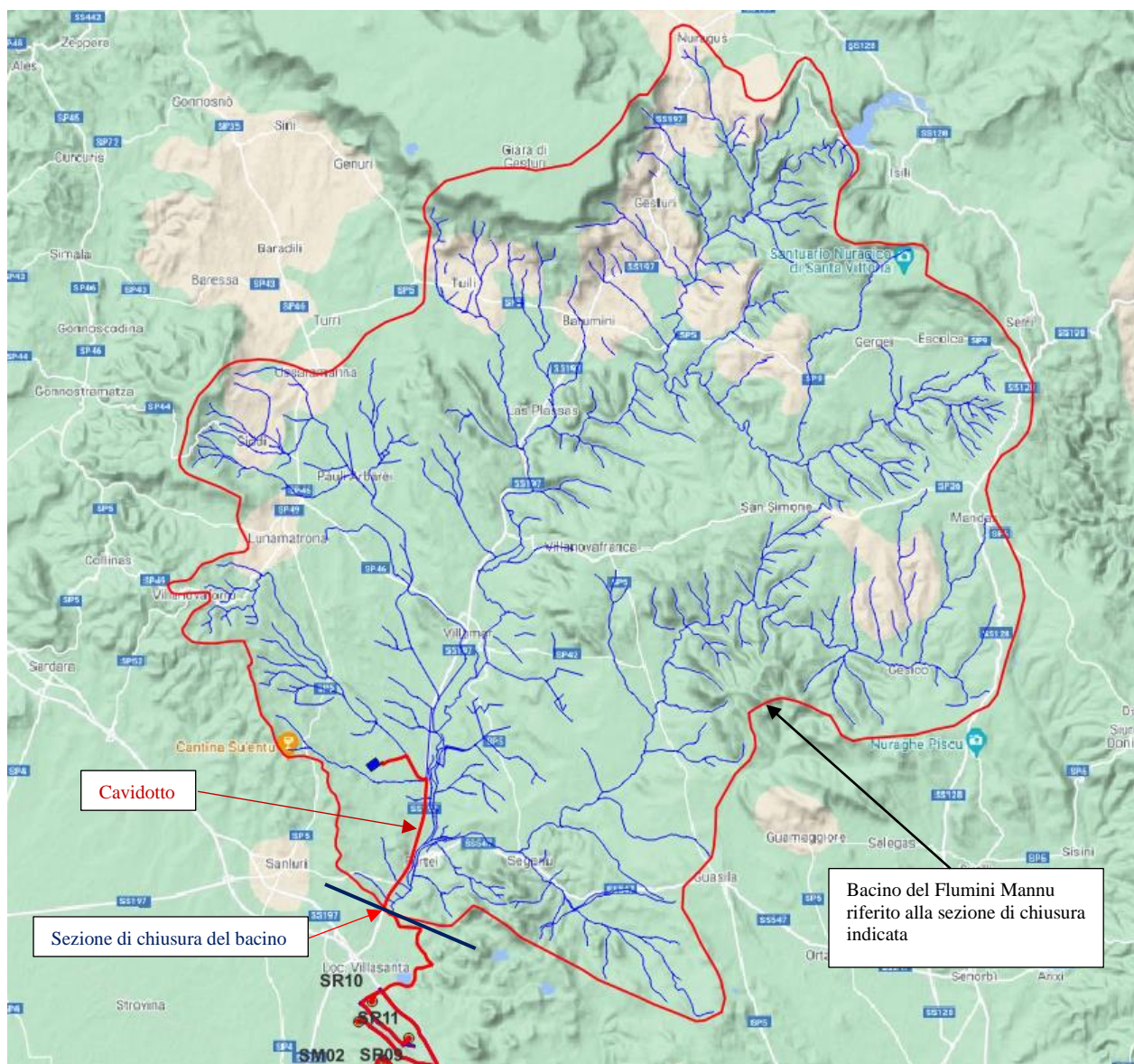
Nel primo tratto, a monte del lago di San Sebastiano, la morfologia è quella di un corso d'acqua montano, in un fondovalle a forte pendenza, caratterizzato nel settore più a monte da salti naturali in roccia calcarea.

Nel secondo tratto, a valle della diga di Is Barrocos, l'alveo attivo scorre per qualche chilometro sul substrato roccioso, costituito in massima parte da scisti, sul fondo di una stretta valle a "V" che si sviluppa secondo un tracciato a meandri in roccia con elevata pendenza media. Lo stretto fondovalle si presenta disabitato e incolto; solo nel basso tronco la valle si amplia leggermente e riduce l'acclività, tanto da permettere la coltivazione di alcune zone del fondovalle e dei versanti. Il terzo tratto raggiunge l'abitato di Villanovafranca, in una piana alluvionale che si allarga progressivamente, vincolata da rilievi miocenici e colate basaltiche. Sono presenti fenomeni di erosione spondale unitamente a una consistente presenza di depositi alluvionali grossolani legati alla tendenza al sovralluvionamento.

Il quarto tratto si estende dall'abitato di Villamar a quello di Serramanna, a valle del quale l'asta prende il nome di Flumini Mannu; l'alveo si differenzia notevolmente dai precedenti per i caratteri morfologici tipicamente fluviali. pendenza di fondo modesta e tipologia monocursale. Presso loc. Casa Fiume è posizionata una traversa di derivazione idrica. Le analisi condotte hanno permesso di evidenziare un fenomeno di generale abbassamento del profilo di fondo, da correlare presumibilmente all'alterazione dell'equilibrio del trasporto solido e, eventualmente anche alle opere di sistemazione

idraulica; il fenomeno è testimoniato sia dalle trasformazioni morfologiche che dalle condizioni di scalzamento delle fondazioni delle pile dei ponti in alveo.

Nonostante i fenomeni erosivi attivi sulle sponde, l'alveo non presenta evidenze di un'evoluzione planimetrica significativa in atto, in relazione anche all'efficienza delle opere di difesa, come documentato dal confronto con la cartografia IGM riferita agli anni '40 del secolo scorso.



**Figura 5 – Bacino di nostro interesse del Flumini Mannu di circa 410 km<sup>2</sup>**

#### 4. METODO DI STUDIO

Visto il grande numero di incisioni presenti si è scelto di procedere al calcolo idraulico del corso fluviale più importante, il Flumini Mannu.

Così facendo prendiamo in considerazione l'interferenza del fiume con un attraversamento di un tratto del cavidotto

L'approccio utilizzato per affrontare e risolvere le problematiche oggetto del presente studio contempla un'analisi a scala di bacino dei processi idrologici ed idraulici determinati dagli eventi meteorici estremi i cui effetti al suolo sono fortemente influenzati dallo stato dei luoghi, sia sotto l'aspetto della geomorfologia degli stessi sia dal punto di vista della loro destinazione d'uso.

La base di partenza per l'ottenimento dei bacini idrografici, grazie alle moderne tecnologie disponibili, è sicuramente il modello digitale del terreno.

Quanto più il modello digitale del terreno approssima il reale andamento morfologico dei luoghi, tanto più simile alle situazioni reali saranno le situazioni determinate dall'analisi morfologica.

Dall'analisi del modello digitale del terreno, determinato attraverso l'applicazione di software di elaborazione tipo GIS così come descritto nel paragrafo precedente, è stato possibile determinare il bacino idrografico afferente alla sezione di chiusura, vedi fig.4.

Altro parametro importante è il tempo di corrivazione ( $t_c$ ) valutato in un determinato punto di una rete di drenaggio naturale.

Il  $T_c$  è il tempo che occorre alla generica goccia di pioggia caduta nel punto idraulicamente più lontano a raggiungere la sezione di chiusura del bacino in esame.

Esso varia in funzione delle caratteristiche topografiche, pedologiche e geologiche del bacino e degli usi del suolo attuati sullo stesso.

Il tempo di corrivazione  $t_c$ , espresso in ore, si determina essenzialmente con l'utilizzo di diverse formule empiriche, quella utilizzata nella seguente applicazione è la:

Formula di Giandotti

$$t_c = \frac{4 \cdot A^{0.5} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot (Q_{med} - Q_{min})^{0.5}}$$

L'intensità di precipitazione, [ ], , TR i  $\Theta$  , che determina la massima portata di piena (intensità critica) è ottenuta dalla curva di possibilità pluviometrica che, com'è noto, esprime la legge di variazione dei massimi annuali di pioggia in funzione della durata della precipitazione, d, ad assegnata frequenza di accadimento o periodo di ritorno T. Tale curva è riportata dalla letteratura tecnica come:

$$h(T) = a \cdot d^n$$

Recenti studi per la Sardegna mostrano che il modello probabilistico TCEV (two component extreme value) ben interpreta le caratteristiche di frequenza delle serie storiche motivo per il quale è stato adottato nella procedura VAPI per la derivazione delle curve di possibilità pluviometrica.

*“Il Progetto VAPI (VALutazione PIene) sulla Valutazione delle Piene in Italia, portato avanti dalla Linea 1 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, ha come obiettivo quello di predisporre una procedura uniforme sull'intero territorio nazionale per la valutazione delle portate di piena naturali e delle piogge intense secondo criteri omogenei.”*

La metodologia regionale di calcolo si basa sull'inferenza statistica del modello TCEV della variabile aleatoria adimensionale

$$h' = \frac{h(d)}{\bar{h}(d)}$$

che è il massimo annuale di pioggia per assegnata durata, d, normalizzato rispetto alla media h e successivamente sul calcolo della h (d) per le diverse durate.

L'equazione della curva di possibilità pluviometrica normalizzata è per ciascun tempo di ritorno, T, :

$$h'(T) = a \cdot d^n$$

dove i parametri della curva, a(T) ed n(T), vengono definiti per tre Sotto Zone Omogenee della Sardegna (SZO) (Figura 5), per durate minori e maggiori di 1 ora e per tempi di ritorno maggiori di 10 anni (Tabella 8).

**Tabella 8 - Parametri della curva di possibilità climatica**

SZO	Durata ≤ 1 ora	Durata >1 ora
Sottozona 1	a=0.46420+1.0376*Log (T)	a=0.46420+1.0376*Log (T)
	n=-0.18488+0.22960*Log(T)- 3.3216*10 <sup>-2</sup> *Log <sup>2</sup> (T)	n=-1.0469*10 <sup>-2</sup> -7.8505*10 <sup>-3</sup> * Log (T)
Sottozona 2	a=0.43797+1.0890*Log (T)	a=0.43797+1.0890*Log (T)
	n=-0.18722+0.24862*Log(T)- 3.36305 *10 <sup>-2</sup> *Log <sup>2</sup> (T)	n=-6.3887*10 <sup>-3</sup> -4.5420*10 <sup>-3</sup> * Log (T)
Sottozona 3	a=0.40926+1.1441*Log (T)	a=0.40926+1.1441*Log (T)
	n=-0.19060+0.264438*Log(T)- 3.8969 *10 <sup>-2</sup> *Log <sup>2</sup> (T)	n=1.4929*10 <sup>-2</sup> +7.1973*10 <sup>-3</sup> * Log (T)

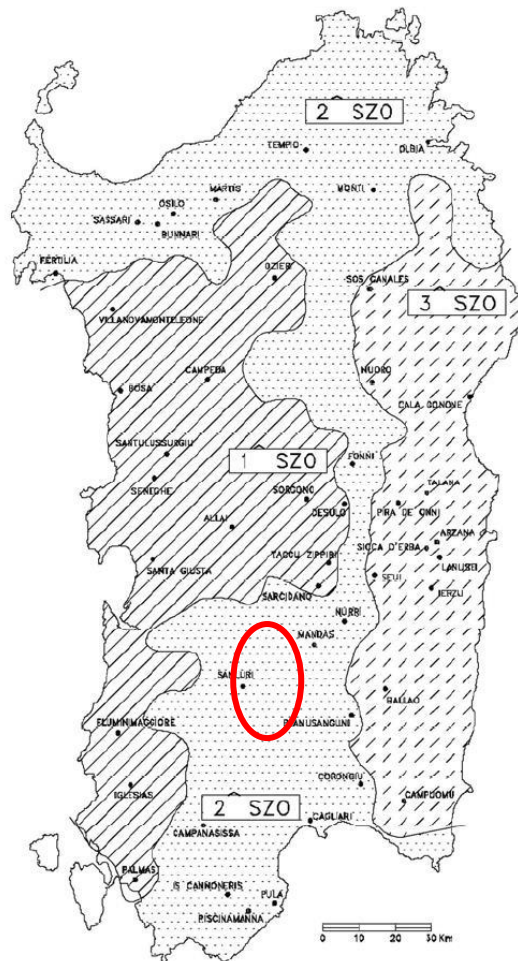


Figura 6 - Sottozone pluviometriche omogenee SZO per la regione Sardegna

## 5. RISULTATI DEL CALCOLO

Il bacino oggetto di studio si trova nella sottozona 2 ed ha le seguenti caratteristiche geometriche:

Superficie del Bacino	<b>S =</b>	<b>410</b>	Km <sup>2</sup>
Lunghezza percorso idraulico principale	<b>L =</b>	<b>36.9</b>	Km
Altitudine max percorso idraulico	<b>Hmax =</b>	<b>612</b>	m (s.l.m.)
Altitudine min percorso idraulico	<b>H0 =</b>	<b>81</b>	m (s.l.m.)
Pendenza media percorso idraulico	<b>P =</b>	<b>0,01</b>	(m/m)
Altitudine max bacino	<b>Hmax =</b>	<b>700</b>	m (s.l.m.)
Altitudine sezione considerata	<b>H0 =</b>	<b>81</b>	m (s.l.m.)
Altitudine media bacino	<b>Hm =</b>	<b>390,50</b>	m (s.l.m.)
Dislivello medio bacino	<b>Hm - H0 =</b>	<b>309,50</b>	m

Per le analisi statistiche si è presa come riferimento la stazione di Segariu (Comune ad Est di Furtei) che, per la quantità di dati di registrazione di eventi estremi con durate inferiori al giorno, e per la sua ubicazione, può essere ritenuta significativa.

I dati, ricavati negli annali idrologici della regione si riferiscono al periodo dal 1991 al 2017, con registrazione delle massime precipitazioni annue per più giorni, in quanto non sono presenti le precipitazioni massime misurate nelle 1,3,6,12,24 ore.

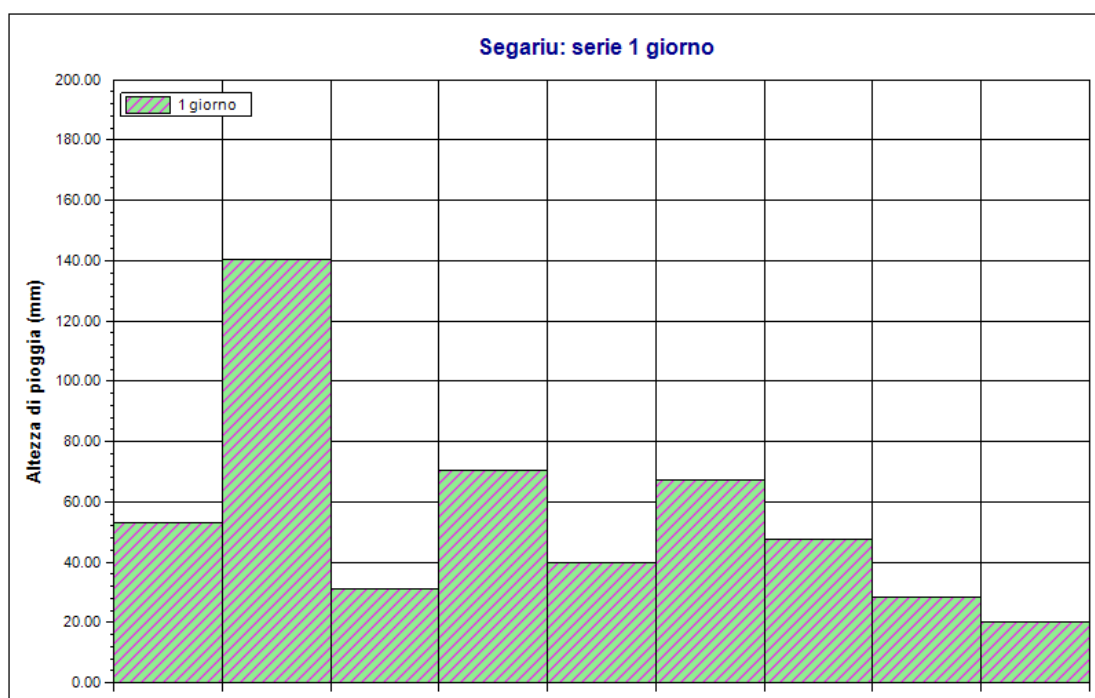
### Serie osservazioni

n	Durate				
	24 ore	48 ore	72 ore	96 ore	120 ore
1	53.0	55.6	55.6	74.4	89.4
2	140.4	143.2	146.6	153.2	156.0
3	31.2	48.2	53.6	57.6	63.6
4	70.6	84.0	84.6	84.6	84.6
5	39.8	56.2	61.8	81.6	89.8
6	67.4	88.8	94.4	94.8	94.8
7	47.4	87.2	87.2	87.2	87.2
8	28.2	30.6	41.0	43.8	45.8
9	20.0	35.0	37.0	39.0	41.0
10	51.0	53.0	65.0	73.0	73.0
11	70.0	115.0	120.0	123.0	124.4
12	28.0	28.0	34.0	42.4	48.0
13	45.0	45.0	50.6	72.6	72.6
14	53.4	69.2	85.0	93.0	94.2
15	55.2	56.0	66.4	66.4	66.4
16	42.4	46.0	48.0	47.2	47.2
17	49.0	64.0	66.0	48.0	52.0
18	74.0	75.0	75.0	75.0	75.0
19	39.0	50.0	51.6	70.0	72.0
20	25.6	43.4	43.4	48.0	49.2
21	41.0	41.8	50.8	54.4	54.8
22	50.2	67.4	74.0	74.8	75.2
23	32.6	40.6	42.6	55.2	65.4
24	40.0	42.2	42.4	57.4	71.6
25	43.2	46.6	53.6	53.6	56.0

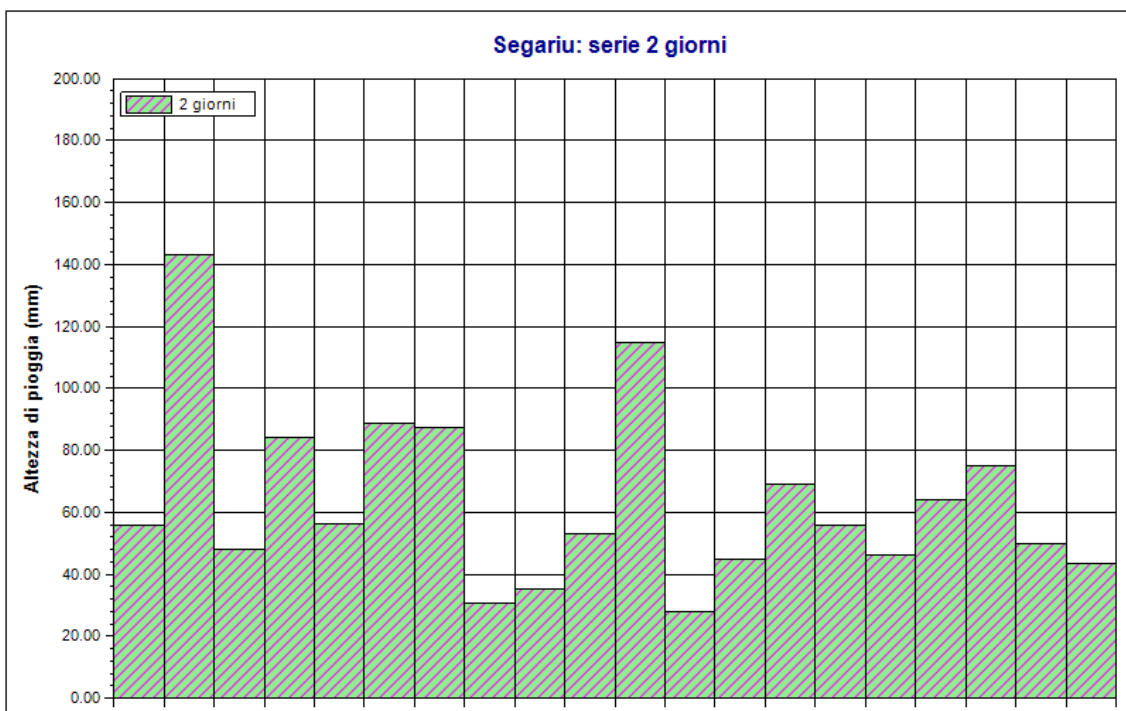


## Dati Statistici

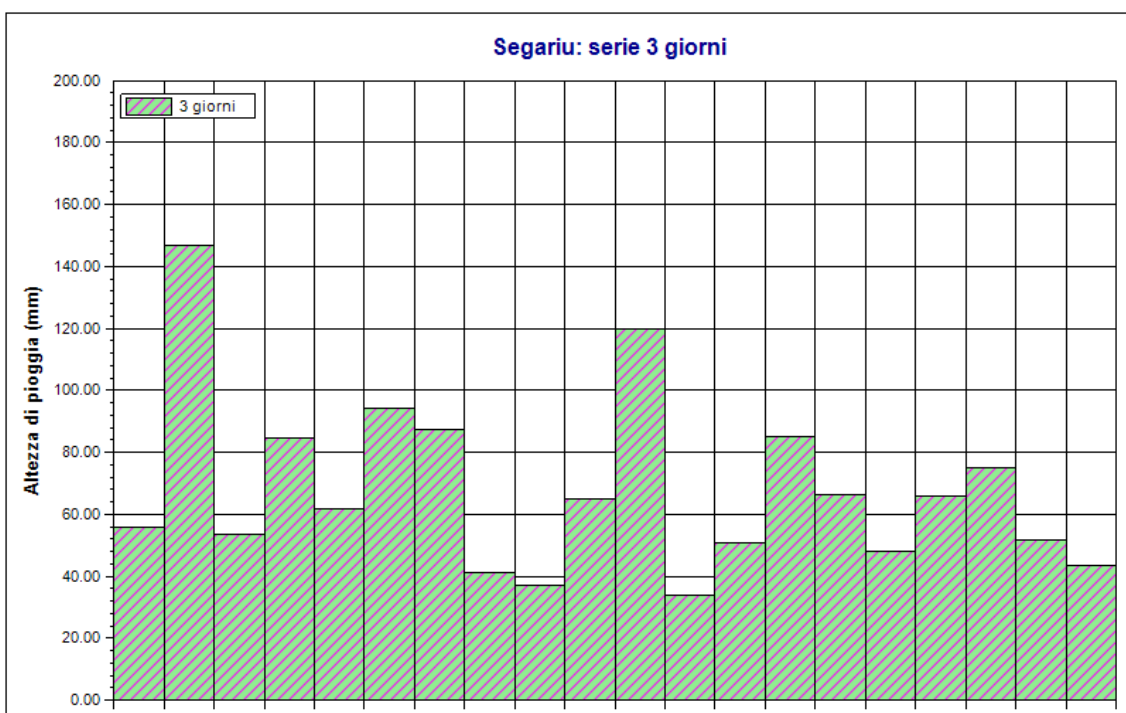
Parametro	Durate				
	24 ore	48 ore	72 ore	96 ore	120 ore
Dimensione campione	25	25	25	25	25
Somma dei dati	1237.6	1512.0	1630.2	1770.2	1849.2
Valore minimo	20.0	28.0	34.0	39.0	41.0
Valore massimo	140.4	143.2	146.6	153.2	156.0
Valore medio	49.50	60.48	65.21	70.81	73.97
Dev. standard	23.78	26.79	26.65	26.25	25.98
Coeff. variazione	0.480	0.443	0.409	0.371	0.351
Coeff. asimmetria	2.410	1.581	1.525	1.514	1.479



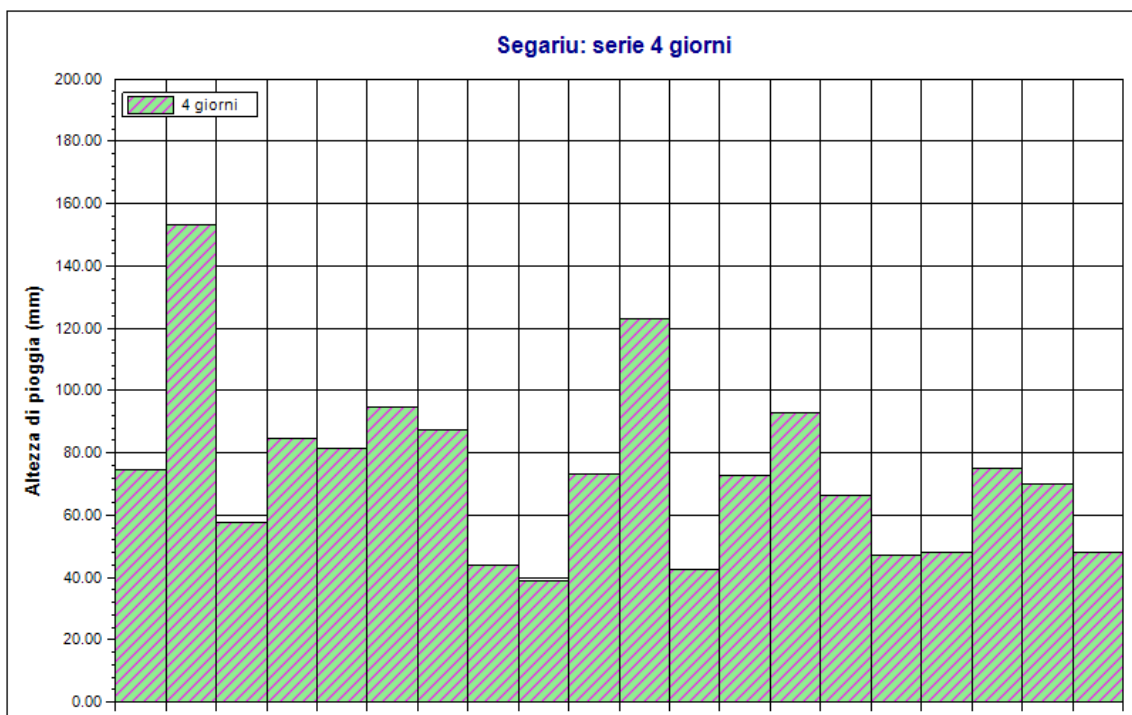
Segariu. 1 giorno. Durata 24 ore



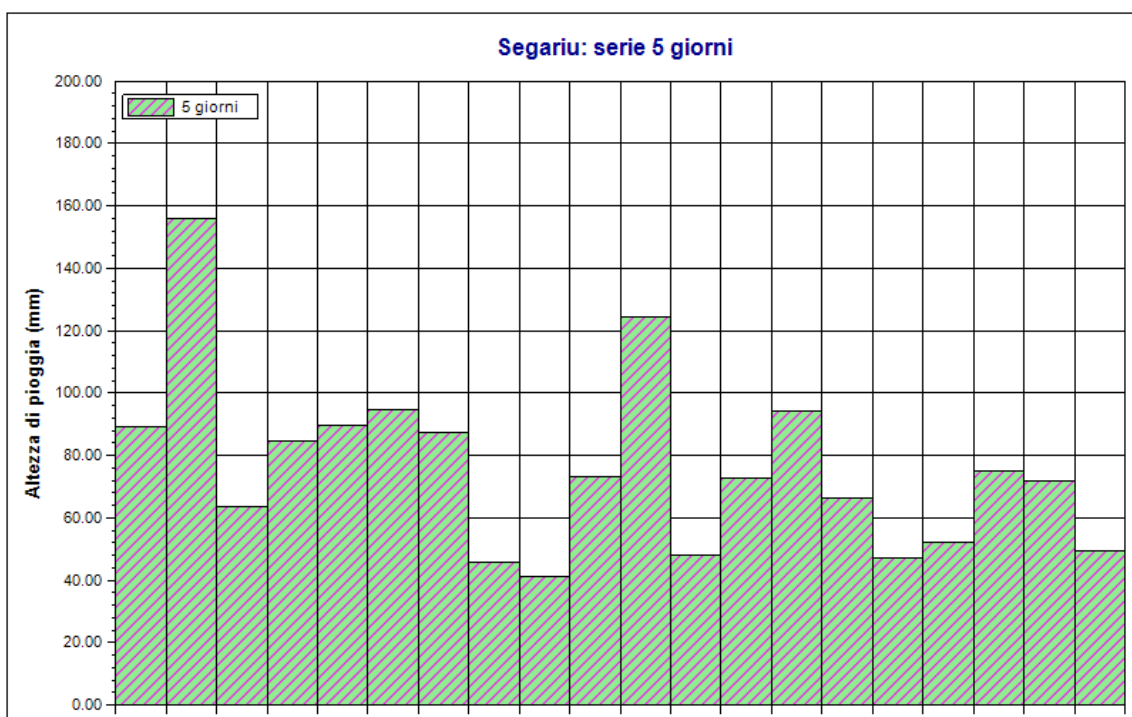
Segariu. 2 giorni. Durata 48 ore



Segariu. 3 giorni. Durata 72 ore



Segariu. 4 giorni. Durata 96 ore



Segariu. 5 giorni. Durata 120 ore

## 5.1 Elaborazioni di Gumbel

L'insieme dei valori  $x$  assunti da una generica grandezza idrologica può essere considerato una variabile casuale  $X$  la cui popolazione è costituita dall'insieme di tutti i valori che la  $x$  ha assunto per il passato o potrà assumere in futuro.

La serie statistica costituita dagli  $n$  valori  $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$  assunti dalla  $x$  in una determinata stazione di misura, può essere considerato come un campione di dimensione  $n$  tratto a caso dalla popolazione della  $X$ .

Ci si propone di risalire dalla composizione nota del campione a quella incognita della popolazione, tenendo però bene in conto che, per difetto di campionatura, la composizione del primo può scostarsi, più o meno, da quella della seconda.

All'interno di una generica variabile casuale  $Z$ , definita variabile originaria, si considera un campione di dimensione  $k$  di osservazioni tratte a caso dalla popolazione della  $z$  e si assume come variabile il massimo valore  $x=z_k$  assunto da  $z$  fra le osservazioni del campione.

Posto che dalla popolazione della  $z$  possono pensarsi tratti infiniti campioni di dimensione  $k$  e posto che  $z_k$  assume di volta in volta valori diversi, alla distribuzione della variabile originaria  $z$  si può associare quella del valore massimo in un campione di dimensione  $k$ .

Ciò premesso, la funzione di ripartizione  $\Phi(x)$  del massimo valore  $x=z_k$ , raggiunto dalla variabile originaria  $z$  in un campione di dimensione  $k$ , misura la probabilità che  $x$  risulti inferiore o al più eguale a un assegnato valore.

Se fosse nota la funzione di ripartizione  $\Phi(z)$  della  $z$ ,  $\Phi(x)$ , in base al quinto assioma del calcolo delle probabilità, sarebbe definito a mezzo della relazione:

$$\Phi(x = z_k) = [\Phi(z)]^k$$

se le  $k$  osservazioni che costituiscono il campione sono indipendenti una dall'altra.

In effetti la  $\Phi(z)$  raramente è nota. Quando però si considerino campioni di grande dimensione, sicché i valori massimi  $z_k$  risultano spostati nel campo dei valori più grandi della  $x$ , ai fini applicativi è sufficiente conoscere l'andamento della  $\Phi(z)$  in prossimità dei valori massimi e dedurre da questo l'andamento assunto dalla  $\Phi(x)$  per diversi valori di  $k$ , in particolare esaminando se essa tende a una forma asintotica al crescere di  $k$  all'infinito.

Nel campo dell'idrologia la  $\Phi(z)$  risulta generalmente di tipo esponenziale.

Sia  $\varepsilon$  il valore di  $z$  che ci si deve attendere che venga superato una volta su  $k$  (estremo atteso), per cui:

$$k[1 - \Phi(z = \varepsilon)] = 1$$

considerando il parametro  $\alpha = k\Phi(z = \varepsilon)$  che misura la rapidità con cui  $\varepsilon$  varia al variare di  $k$  (intensità di funzione) e sviluppando in serie di Taylor la funzione  $\Phi(z)$  in prossimità di  $\varepsilon$  si può dimostrare che per grandi valori di  $z$ , quale che sia  $\Phi(z)$ , risulta:

$$\Phi(z) = 1 - \frac{1}{k} e^{-\alpha(x-\varepsilon)}$$

$$\Phi(x) = \left[ 1 - \frac{1}{k} \cdot e^{-\alpha(x-\varepsilon)} \right]^k$$

che tende, per  $k$  tendente ad infinito, alla funzione asintotica:

$$\Phi(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\varepsilon)}}$$

che viene perciò definita legge asintotica del massimo valore, o legge doppio esponenziale o legge di **Gumbel**.

I parametri  $\varepsilon$  ed  $\alpha$  sono legati alla media  $\eta$  e allo scarto quadratico medio  $\sigma$  della  $x$  dalle relazioni:

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma = \frac{\sigma}{1,28255}$$

$$\varepsilon = \eta - 0,450 \sigma$$

#### Dati Elaborazione

**Stazione di misura:** Segariu

**Distribuzione probabilistica:** Gumbel

**Metodo di stima dei parametri:** Massima verosimiglianza

**Elaborazioni presenti:** 5 (24 ore, 48 ore, 72 ore, 96 ore, 120 ore)

**Elaborazioni valide:** 5 (72 ore, 24 ore, 48 ore, 96 ore, 120 ore)

#### Stima parametri

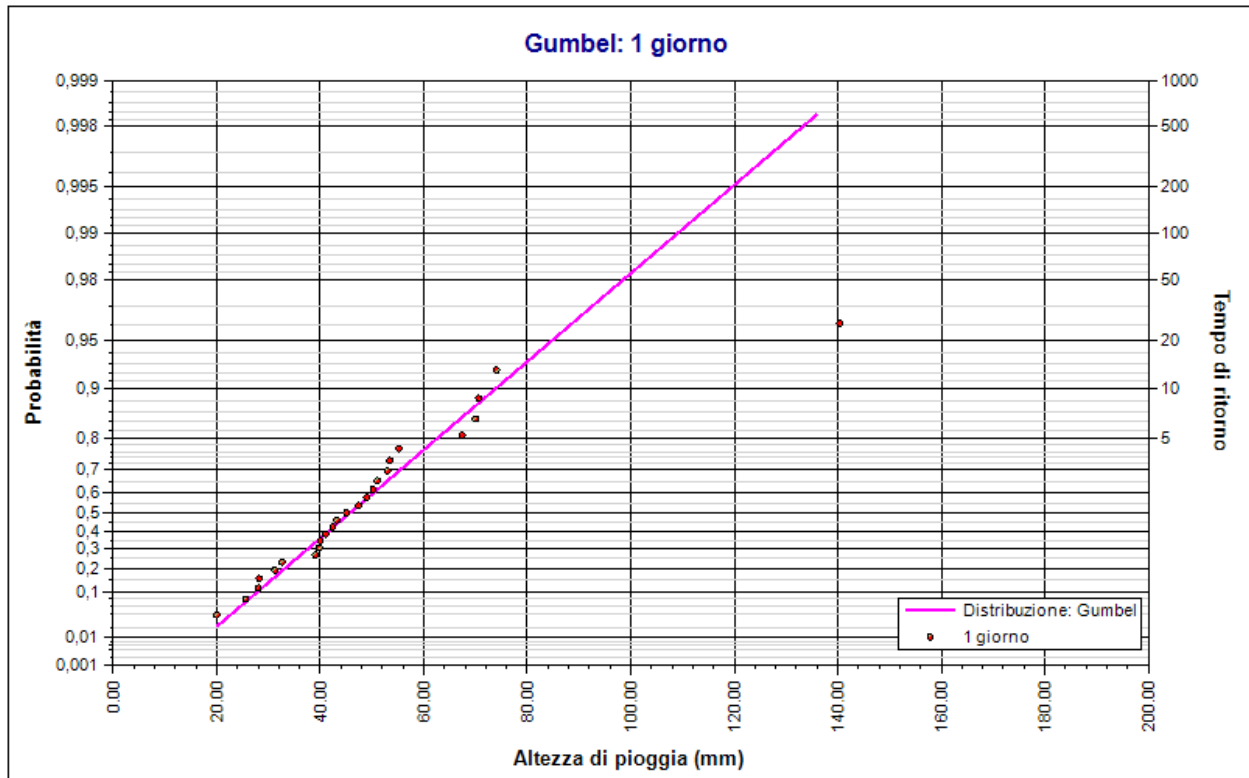
Parametro	Durate				
	72 ore	24 ore	48 ore	96 ore	120 ore
Dimensione campione	25	25	25	25	25
Valore medio	65.21	49.50	60.48	70.81	73.97
Dev. standard	26.65	23.78	26.79	26.25	25.98
Alfa	0.0569	0.0668	0.0569	0.0556	0.0548
Epsilon	54.095	40.275	49.395	59.742	62.929

**Espressioni delle CDF della distribuzione**

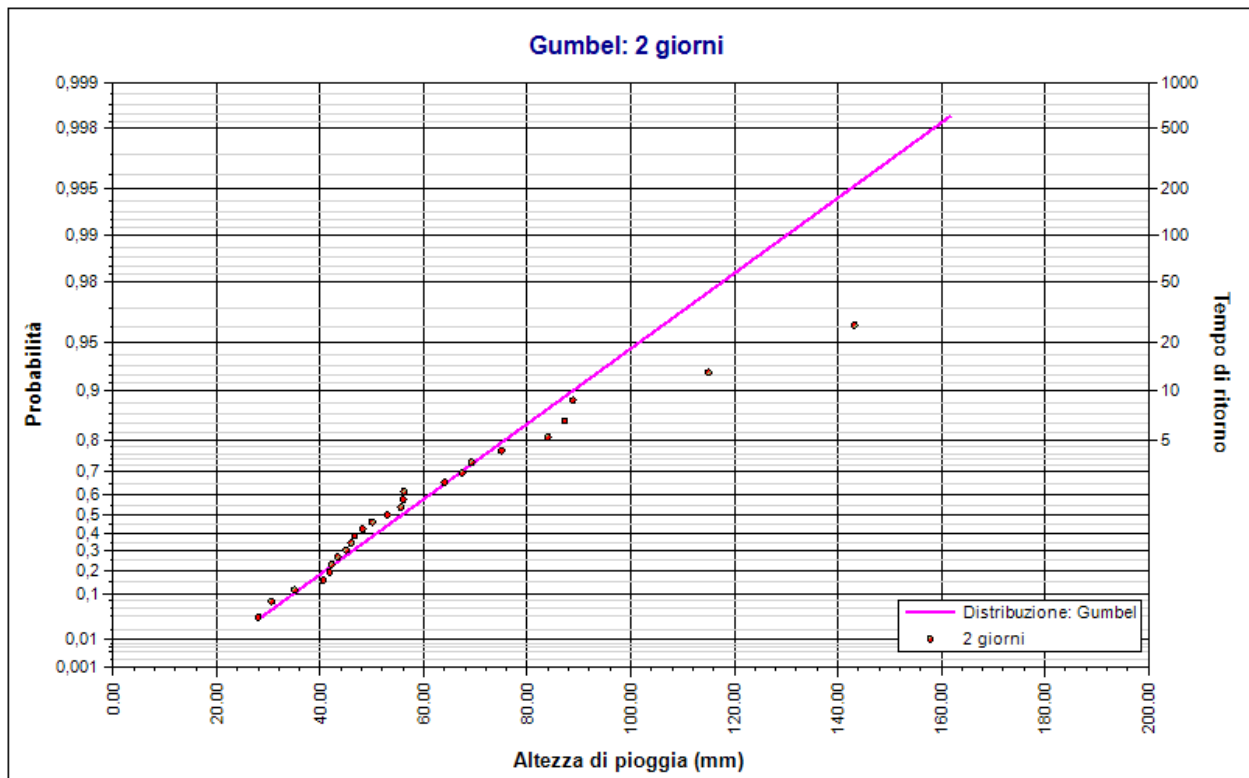
Gumbel: 3 giorni	$F_x(x) = \exp \left[ -\exp \left( -0,051 (x - 56,221) \right) \right]$
Gumbel: 1 giorno	$F_x(x) = \exp \left[ -\exp \left( -0,059 (x - 41,107) \right) \right]$
Gumbel: 2 giorni	$F_x(x) = \exp \left[ -\exp \left( -0,050 (x - 51,463) \right) \right]$
Gumbel: 4 giorni	$F_x(x) = \exp \left[ -\exp \left( -0,049 (x - 61,417) \right) \right]$
Gumbel: 5 giorni	$F_x(x) = \exp \left[ -\exp \left( -0,049 (x - 63,979) \right) \right]$

**Frattili distribuzioni probabilistiche**

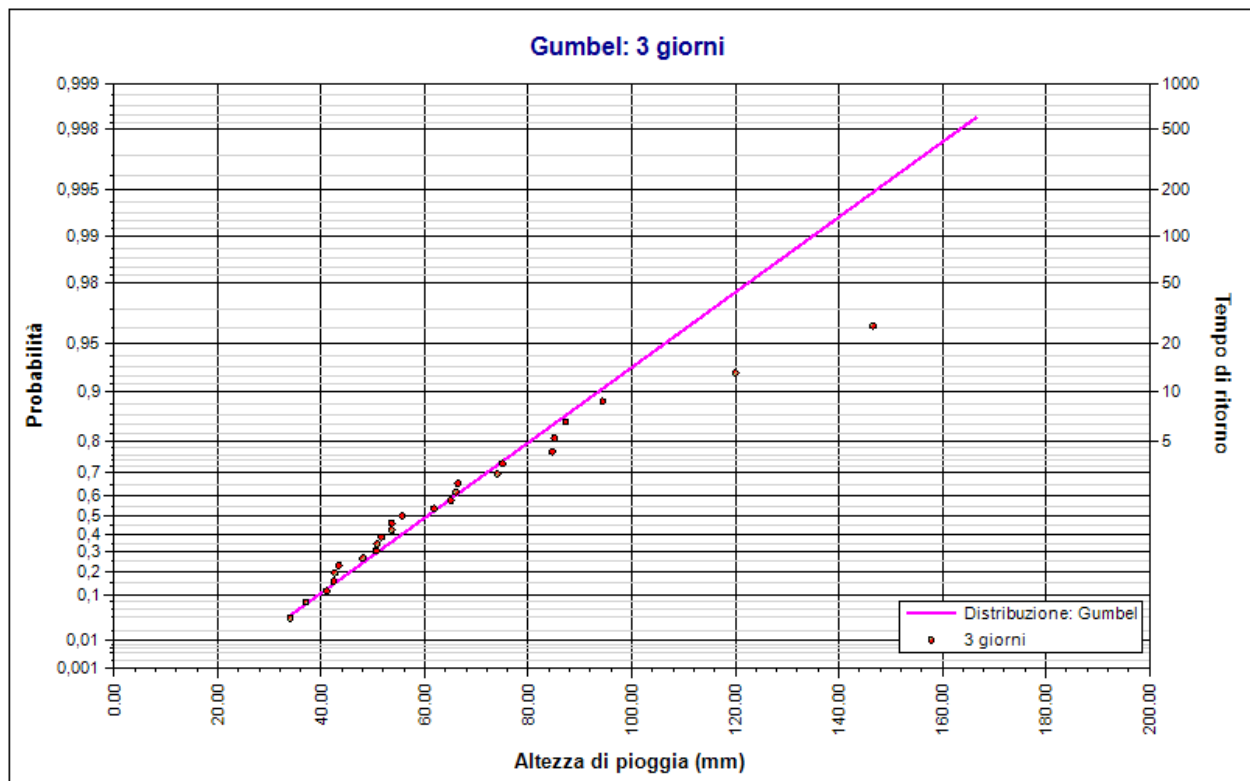
Tempi di ritorno	Durate				
	72 ore	24 ore	48 ore	96 ore	120 ore
2 anni	60.54	45.76	55.83	66.33	69.61
5 anni	80.48	62.73	75.74	86.72	90.28
10 anni	93.68	73.97	88.92	100.22	103.97
20 anni	106.34	84.74	101.56	113.17	117.10
50 anni	122.73	98.69	117.93	129.93	134.09
100 anni	135.01	109.14	130.19	142.49	146.83
200 anni	147.25	119.56	142.41	155.00	159.51
500 anni	163.39	133.30	158.53	171.51	176.25
1000 anni	175.59	143.69	170.71	183.99	188.90



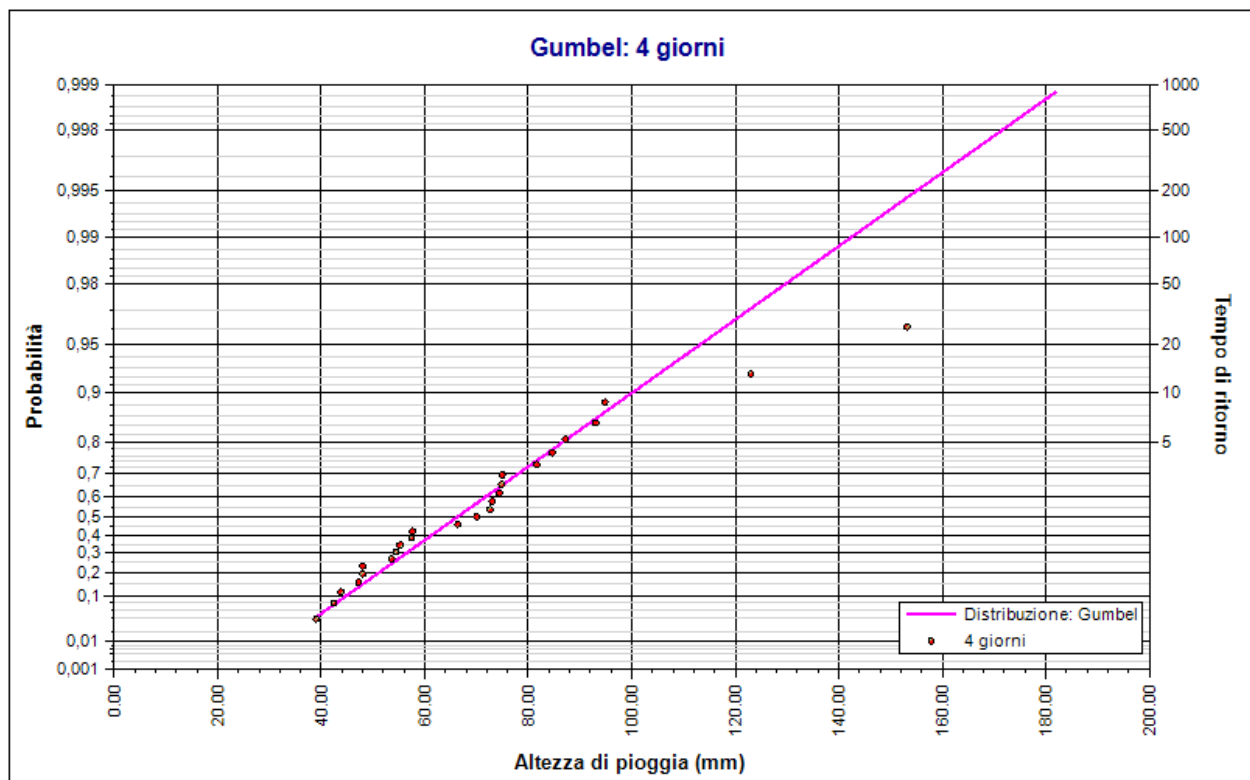
Elaborazione Gumbel 1. Gumbel: 1 giorno. Durata 24 ore



Elaborazione Gumbel 1. Gumbel: 2 giorni. Durata 48 ore

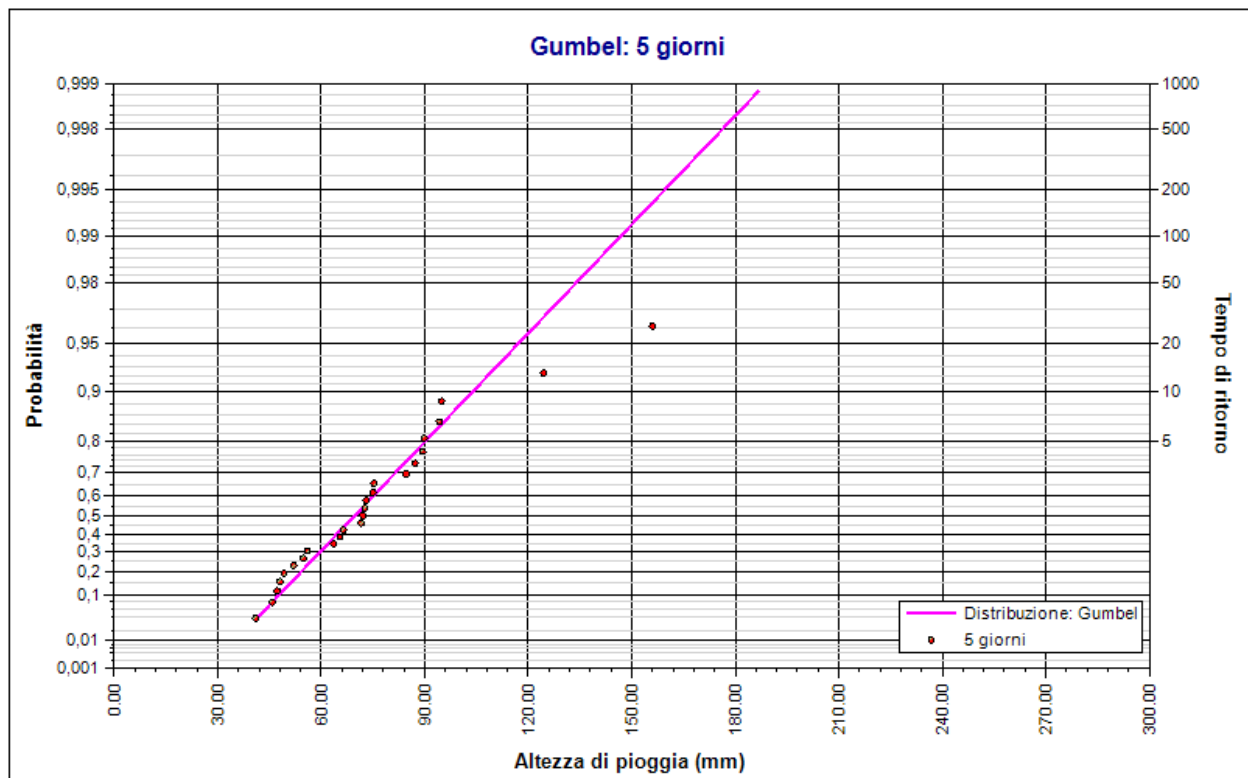


Elaborazione Gumbel 1. Gumbel: 3 giorni. Durata 72 ore



Elaborazione Gumbel 1. Gumbel: 4 giorni. Durata 96 ore





Elaborazione Gumbel 1. Gumbel: 5 giorni. Durata 120 ore

## 5.2 Elaborazioni di TCEV secondo livello (Two Components Extreme Value)

La stima  $x_T$  del valore assunto da una grandezza idrologica in corrispondenza di un assegnato periodo di ritorno si effettua sulla base della serie campionaria della variabile  $x$  nel punto di interesse, se disponibile, oppure utilizzando l'informazione fornita dalle serie storiche disponibili nella regione in cui si trova il punto di interesse.

Nel primo caso si ha una stima *puntuale*, nel secondo caso una stima *regionale*. Nel caso si combinino l'informazione puntuale e quella regionale si giungerà ad una stima *mista*.

L'insieme delle operazioni che conducono ad una stima di  $x_T$  si definisce stimatore e si costruisce utilizzando un modello probabilistico ad uno o più parametri. La stima di questi ultimi si effettua in base ai dati storici puntuali e/o regionali.

Il modello probabilistico adottato per l'analisi dei valori estremi delle precipitazioni è il modello a doppia componente denominato TCEV (two components extreme value). Tale modello è in grado di riprodurre i principali caratteri statistici delle serie storiche delle piogge.

Il modello a doppia componente TCEV ipotizza che i valori estremi di una grandezza idrologica (portata, pioggia) facciano parte di due differenti popolazioni legate a differenti fenomeni meteorologici.

Alla base di questa ipotesi c'è il fatto che molte serie di massimi annuali presentano uno o più valori nettamente maggiori degli altri e tali da sembrare non provenienti dalla stessa popolazione degli altri dati.

L'espressione della CDF della distribuzione TCEV è data da:

$$F_x(x) = \exp \left[ -\Lambda_1 \exp \left( -\frac{x}{g_1} \right) - \Lambda_2 \exp \left( -\frac{x}{g_2} \right) \right]; \quad x \geq 0$$

Nell'espressione precedente si sono indicati con il pedice 1 i parametri riguardanti la *componente base* e con il pedice 2 i parametri relativi alla *componente straordinaria*.

I parametri  $\Lambda_1$  e  $\Lambda_2$  rappresentano il numero medio annuo di eventi indipendenti delle due componenti, mentre  $g_1$  e  $g_2$  esprimono il loro valore medio annuo.

La distribuzione TCEV equivale al prodotto di due distribuzioni di Gumbel, con la quale viene a coincidere se si pone  $\Lambda_2=0$ .

Riferendosi alla variabile standardizzata:

$$y = \frac{x}{g_1} - \ln \Lambda_1$$

si ha che la CDF di  $y$  è data da:

$$F_y(y) = \exp \left[ -\exp(-y) - \Lambda_* \exp \left( -\frac{y}{g_*} \right) \right]$$

avendo posto:

$$g_* = \frac{g_2}{g_1} \quad \text{e} \quad \Lambda_* = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1^{1/g_*}}$$

La media della distribuzione TCEV è data dall'espressione:

$$\mu = g_1 (\ln \Lambda_1 + \gamma_e) - g_1 \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda_*^j}{j!} \Gamma \left( \frac{j}{g_*} \right)$$

con  $\gamma_e=0,5772$ , costante di Eulero. Con il simbolo  $\Gamma$  si è indicata la funzione gamma:

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} x^{t-1} e^{-t} dx$$

Il coefficiente di variazione teorico dipende da  $\Lambda_1$ ,  $\Lambda^*$  e  $g^*$  ed è quindi indipendente da  $g_1$ .

Il coefficiente di asimmetria teorico dipende da  $\Lambda^*$  e  $g^*$  ed è quindi indipendente da  $\Lambda_1$  e  $g_1$ .

### Modelli regionali

Il modello TCEV consente di costruire un modello regionale articolato in una struttura gerarchica.

Infatti si può assumere che esistano delle regioni in cui è costante il solo coefficiente di asimmetria e quindi siano costanti i parametri  $\Lambda^*$  e  $g^*$  e delle sottoregioni di queste, più limitate, in cui sia costante pure il coefficiente di variazione e, quindi, il parametro  $\Lambda_1$ .

Più precisamente esiste un primo livello di regionalizzazione che consiste nell'individuare zone omogenee (zo) nelle quali si può assumere che il coefficiente di asimmetria teorico delle serie dei massimi annuali sia costante. I parametri  $\Lambda^*$  e  $\mathcal{G}^*$  possono essere stimati utilizzando tutte le serie storiche disponibili nella zona, riducendo in modo consistente l'incertezza della stima.

Al secondo livello di regionalizzazione si individuano delle sottozone omogenee (szo), con estensione minore rispetto alle precedenti, nelle quali oltre al coefficiente di asimmetria risulta costante anche il coefficiente di variazione. In una sottozona risultano quindi costanti i tre parametri  $\Lambda^*$ ,  $\mathcal{G}^*$  e  $\Lambda_1$ .  $\Lambda_1$  può quindi essere stimato in base a tutte le serie storiche ricadenti nella sottozona.

In una sottozona rimane costante la CDF di  $x/\mu$ . Infatti dall'espressione della CDF della TCEV, introducendo i parametri  $\Lambda^*$  e  $\mathcal{G}^*$  si ha:

$$F_x(x) = \exp \left[ -\Lambda_1 \exp \left( -\frac{x}{\mathcal{G}_1} \right) - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\mathcal{G}_*} \exp \left( -\frac{x}{\mathcal{G}_1 \mathcal{G}_*} \right) \right]$$

poiché si può scrivere:

$$\frac{x}{\mathcal{G}_1} = \frac{x}{\mu} \cdot \frac{\mu}{\mathcal{G}_1}$$

e cioè:

$$\frac{x}{\mathcal{G}_1} = x' \cdot \eta$$

avendo posto (variabile indice):

$$x' = \frac{x}{\mu}$$

e

$$\eta = \frac{\mu}{\mathcal{G}_1} = \ln \Lambda_1 + \gamma_\varepsilon - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda_*^j}{j!} \Gamma \left( \frac{j}{\mathcal{G}_*} \right) = f(\Lambda_1, \Lambda_*, \mathcal{G}_*)$$

si ottiene

$$F_{x'}(x') = \exp \left[ -\Lambda_1 \exp(-\eta x') - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\mathcal{G}_*} \exp \left( -\frac{\eta x'}{\mathcal{G}_*} \right) \right]$$

Alla precedente espressione si dà il nome di *curva di crescita*.

Al terzo livello di regionalizzazione si individuano all'interno della sottozona omogenea le relazioni che intercorrono tra  $x_m$  e le caratteristiche fisiche o climatiche dei bacini.

In definitiva la stima  $x_T$  di una grandezza idrologica ad un prefissato tempo di ritorno può essere effettuata, in base al modello TCEV, in quattro modi diversi:

a) Al livello di regionalizzazione zero, in cui tutti i parametri del modello sono stimati dalla singola serie:

$$x_T = f(T; \mathcal{G}_1; \Lambda_1; \mathcal{G}_*; \Lambda_*)$$

b) Al livello di regionalizzazione uno, in cui i parametri  $\Lambda^*$  e  $\mathcal{G}^*$  sono stimati a livello regionale e  $\Lambda_1$  e  $\mathcal{G}_1$  dalla singola serie:

$$x_T = f(T; \mathcal{G}_1; \Lambda_1; \mathcal{G}_*^R; \Lambda_*^R)$$

c) Al livello di regionalizzazione due, in cui i parametri  $\Lambda^*$ ,  $\mathcal{G}^*$  e  $\Lambda_1$  sono stimati a livello regionale e  $\mathcal{G}_1$  dalla singola serie:

$$x_T = f(T; \mathcal{G}_1; \Lambda_1^R; \mathcal{G}_*^R; \Lambda_*^R)$$

d) Al livello di regionalizzazione tre, in cui tutti i parametri sono stimati con tecniche di analisi regionale:

$$x_T = f(T; \mathcal{G}_1^R; \Lambda_1^R; \mathcal{G}_*^R; \Lambda_*^R)$$

#### Dati Elaborazione

**Stazione di misura:** Segariu

**Distribuzione probabilistica:** TCEV secondo livello

**Metodo di stima dei parametri:** Massima verosimiglianza

**Elaborazioni presenti:** 5 (24 ore, 48 ore, 72 ore, 96 ore, 120 ore)

**Elaborazioni valide:** 5 (24 ore, 48 ore, 72 ore, 96 ore, 120 ore)

#### Stima parametri

Parametro	Durate				
	24 ore	48 ore	72 ore	96 ore	120 ore
Dimensione campione	25	25	25	25	25
Valore medio	49.50	60.48	65.21	70.81	73.97
Dev. standard	23.78	26.79	26.65	26.25	25.98
<b>Parametri regionali</b>					
Descrizione	Parametri zona: Sardegna - Sottozona: 2 - Durata: 24 ore	Parametri zona: Sardegna - Sottozona: 2 - Durata: Unica	Parametri zona: Sardegna - Sottozona: 2 - Durata: Unica	Parametri zona: Sardegna - Sottozona: 2 - Durata: Unica	Parametri zona: Sardegna - Sottozona: 2 - Durata: Unica
Lambda*	0.57170	0.57170	0.57170	0.57170	0.57170
Teta*	2.20700	2.20700	2.20700	2.20700	2.20700
Lambda 1	27.12000	21.20000	21.20000	21.20000	21.20000
<b>Parametri stimati</b>					
Teta 1	10.13181	13.22674	14.52380	16.10111	16.98583
Lambda 2	2.55033	2.28106	2.28106	2.28106	2.28106
Teta 2	22.36090	29.19141	32.05402	35.53515	37.48772

Espressioni delle CDF della distribuzione

TCEV secondo livello: 1 giorno	$F_x(x) = \exp \left[ -27,12 \exp \left( -\frac{x}{10,248} \right) - 2,55 \exp \left( -\frac{x}{22,618} \right) \right]$
TCEV secondo livello: 2 giorni	$F_x(x) = \exp \left[ -21,20 \exp \left( -\frac{x}{13,743} \right) - 2,28 \exp \left( -\frac{x}{30,331} \right) \right]$
TCEV secondo livello: 3 giorni	$F_x(x) = \exp \left[ -21,20 \exp \left( -\frac{x}{15,073} \right) - 2,28 \exp \left( -\frac{x}{33,266} \right) \right]$
TCEV secondo livello: 4 giorni	$F_x(x) = \exp \left[ -21,20 \exp \left( -\frac{x}{16,529} \right) - 2,28 \exp \left( -\frac{x}{36,480} \right) \right]$
TCEV secondo livello: 5 giorni	$F_x(x) = \exp \left[ -21,20 \exp \left( -\frac{x}{17,242} \right) - 2,28 \exp \left( -\frac{x}{38,053} \right) \right]$

Espressioni delle Curve di crescita

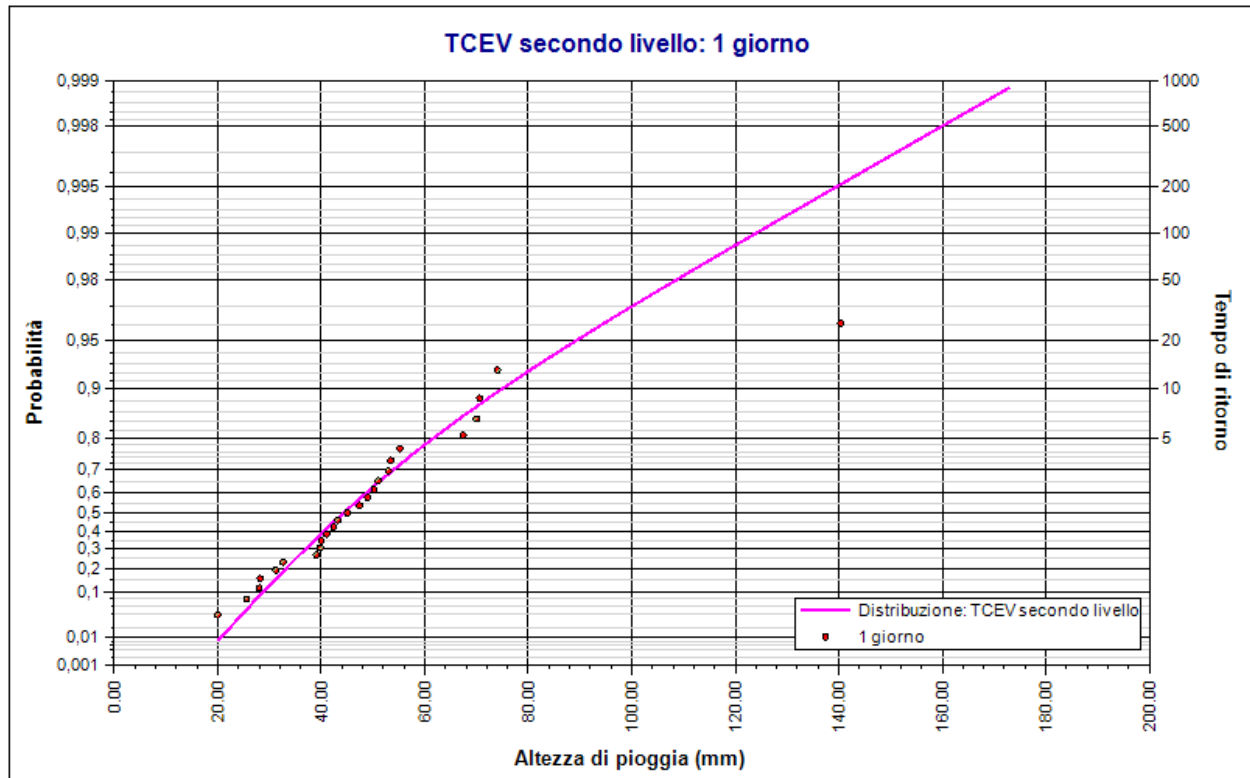
TCEV secondo livello: 1 giorno	$F_x(x) = \exp \left[ -27,120 (127,126)^{-x} - 2,550 (8,983)^{-x} \right]$
TCEV secondo livello: 2 giorni	$F_x(x) = \exp \left[ -21,200 (99,376)^{-x} - 2,281 (8,035)^{-x} \right]$
TCEV secondo livello: 3 giorni	$F_x(x) = \exp \left[ -21,200 (99,376)^{-x} - 2,281 (8,035)^{-x} \right]$
TCEV secondo livello: 4 giorni	$F_x(x) = \exp \left[ -21,200 (99,376)^{-x} - 2,281 (8,035)^{-x} \right]$
TCEV secondo livello: 5 giorni	$F_x(x) = \exp \left[ -21,200 (99,376)^{-x} - 2,281 (8,035)^{-x} \right]$

### Frattili distribuzioni probabilistiche

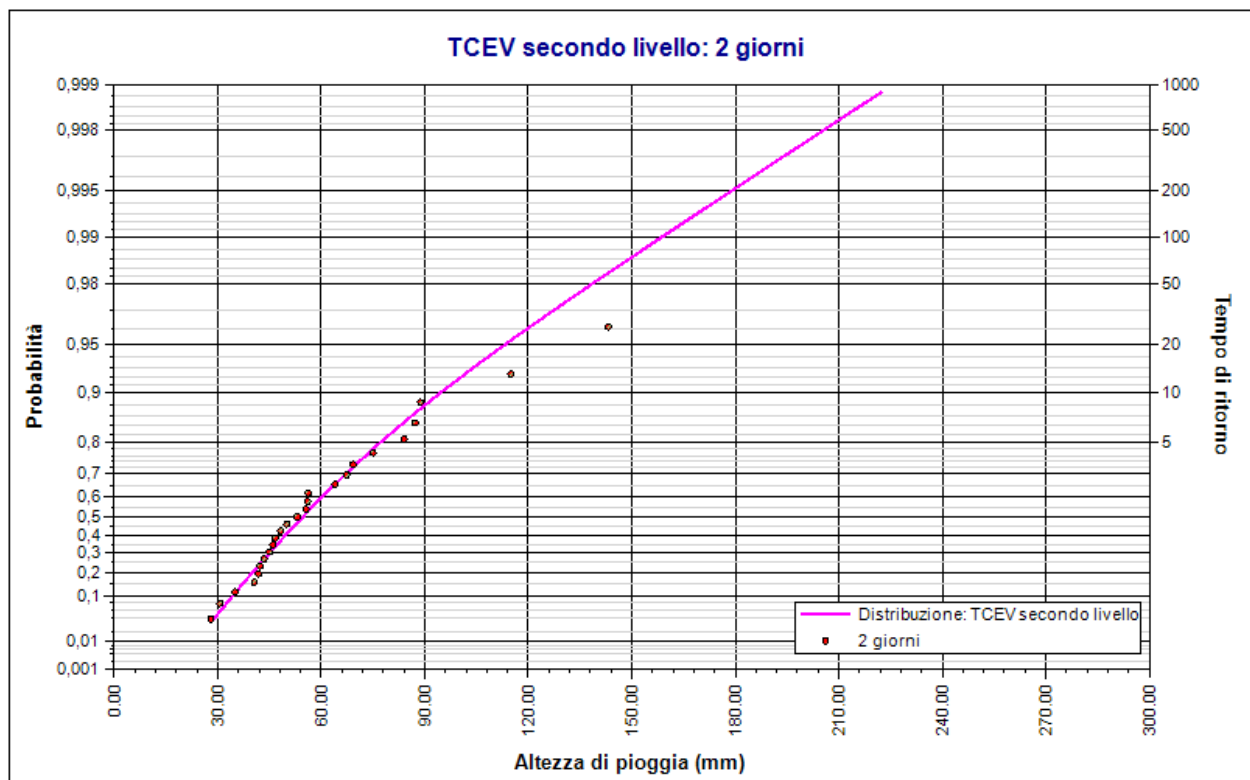
Tempi di ritorno	Durate				
	24 ore	48 ore	72 ore	96 ore	120 ore
2 anni	44.32	54.60	59.95	66.46	70.11
5 anni	61.69	77.27	84.85	94.07	99.24
10 anni	75.05	94.72	104.01	115.30	121.64
20 anni	89.20	113.19	124.29	137.79	145.36
50 anni	108.84	138.83	152.45	169.01	178.29
100 anni	124.09	158.74	174.30	193.23	203.85
200 anni	139.48	178.83	196.37	217.69	229.66
500 anni	159.92	205.51	225.66	250.17	263.92
1000 anni	175.41	225.73	247.86	274.78	289.88

### Fattori di crescita

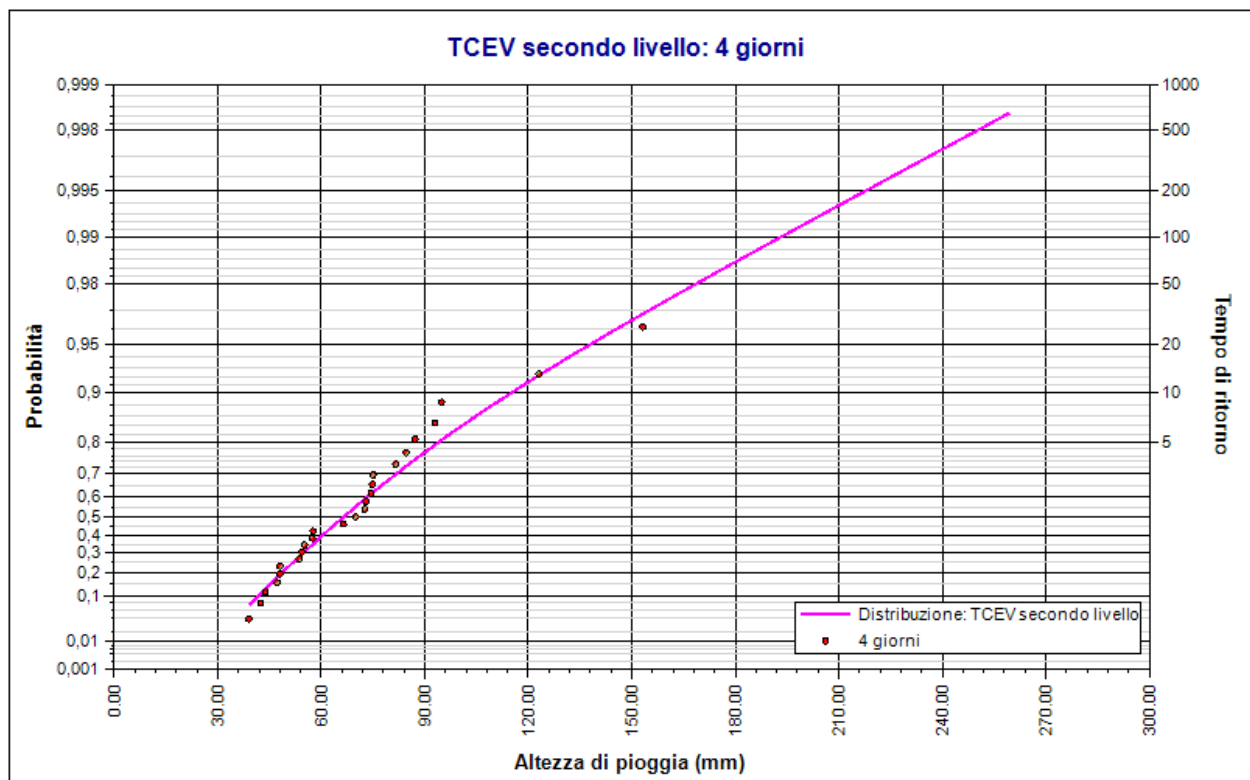
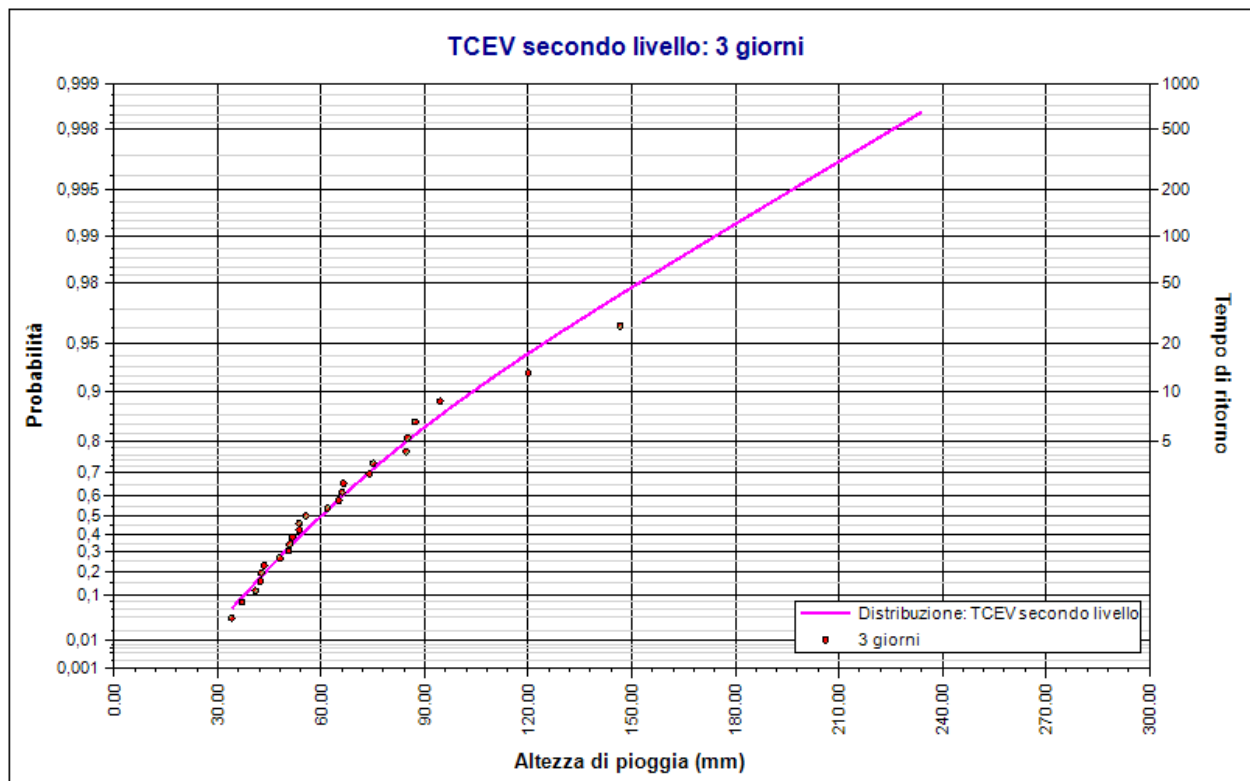
Tempi di ritorno	Durate				
	24 ore	48 ore	72 ore	96 ore	120 ore
2 anni	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
5 anni	1.26	1.27	1.27	1.27	1.27
10 anni	1.53	1.56	1.56	1.56	1.56
20 anni	1.82	1.86	1.86	1.86	1.86
50 anni	2.22	2.28	2.28	2.28	2.28
100 anni	2.53	2.61	2.61	2.61	2.61
200 anni	2.84	2.94	2.94	2.94	2.94
500 anni	3.26	3.38	3.38	3.38	3.38
1000 anni	3.57	3.71	3.71	3.71	3.71



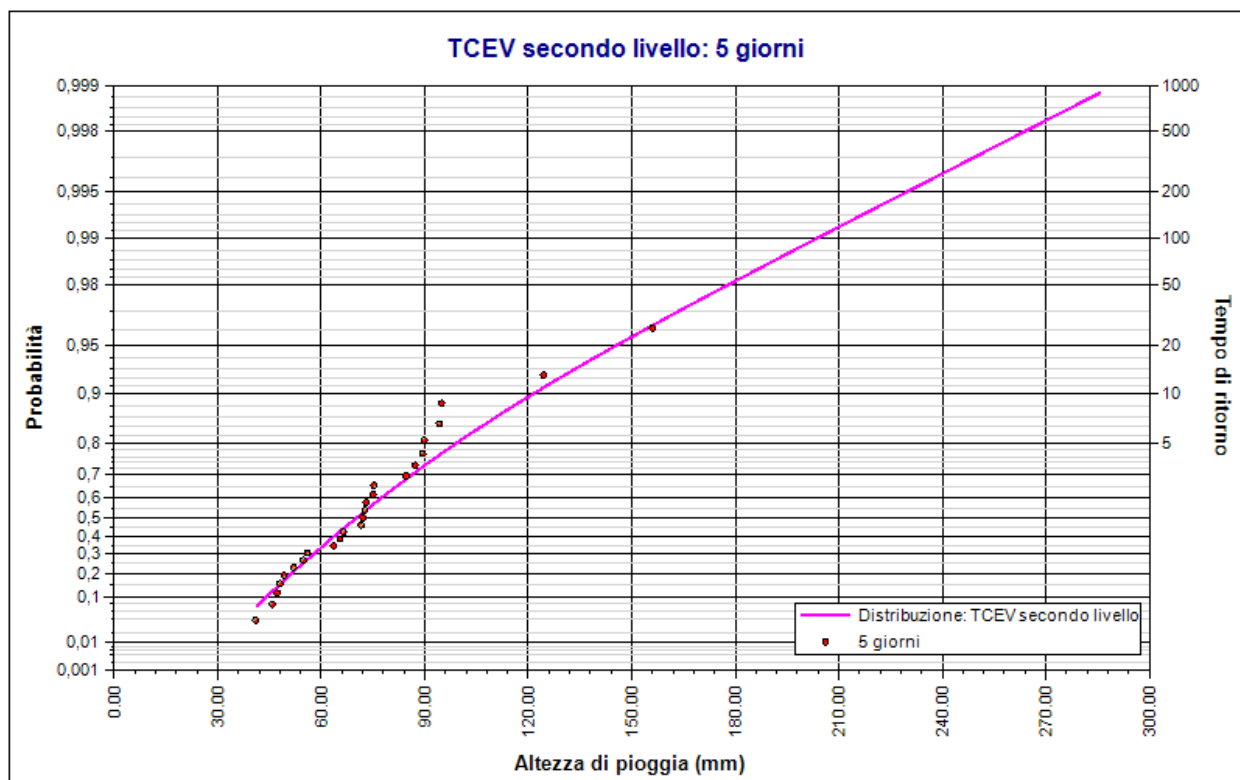
Elaborazione TCEV secondo livello: 1 giorno. Durata 24 ore



Elaborazione TCEV secondo livello: 2 giorni. Durata 48 ore







Elaborazione TCEV secondo livello: 5 giorni. Durata 120 ore

### 5.3 Rapporto sulla curva di pioggia

#### Dati Curva di pioggia

**Tipo:** Curva di pioggia calcolata

**Elaborazione probabilistica:** Elaborazione Gumbel 1

**Tempo di ritorno:** 50 anni

**Numero punti:** 5

**Durate di calcolo:** 24 ore, 48 ore, 72 ore, 96 ore, 120 ore

#### Tabella punti di calcolo

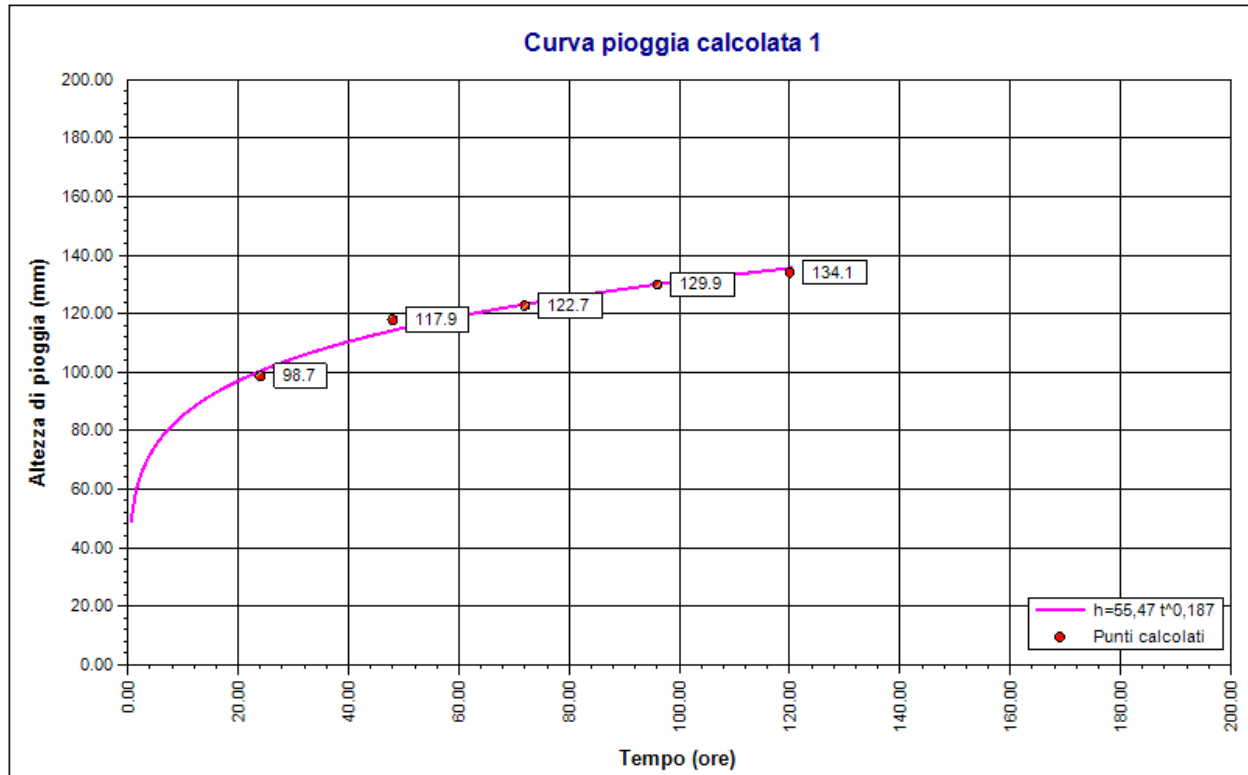
n	Durata		Altezza (mm)
	(ore)	(minuti)	
1	24.000	1440	98.692
2	48.000	2880	117.928
3	72.000	4320	122.729
4	96.000	5760	129.928
5	120.000	7200	134.092

### Risultati interpolazione

Coefficients curva			Espressione
a	n	correlazione (r)	
55.47	0.19	0.99	$h(t) = 55,5 t^{0,187}$

### Valori curva di pioggia

t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)
1	55.472	9	83.584	17	94.115
2	63.131	10	85.243	18	95.124
3	68.092	11	86.772	19	96.088
4	71.847	12	88.193	20	97.012
5	74.901	13	89.520	21	97.899
6	77.493	14	90.766	22	98.753
7	79.755	15	91.942	23	99.575
8	81.767	16	93.056	24	100.369



### Dati Curva di pioggia

**Tipo:** Curva di pioggia calcolata

**Elaborazione probabilistica:** Elaborazione Gumbel 1

**Tempo di ritorno:** 100 anni

**Numero punti:** 5

**Durate di calcolo:** 24 ore, 48 ore, 72 ore, 96 ore, 120 ore

### Tabella punti di calcolo

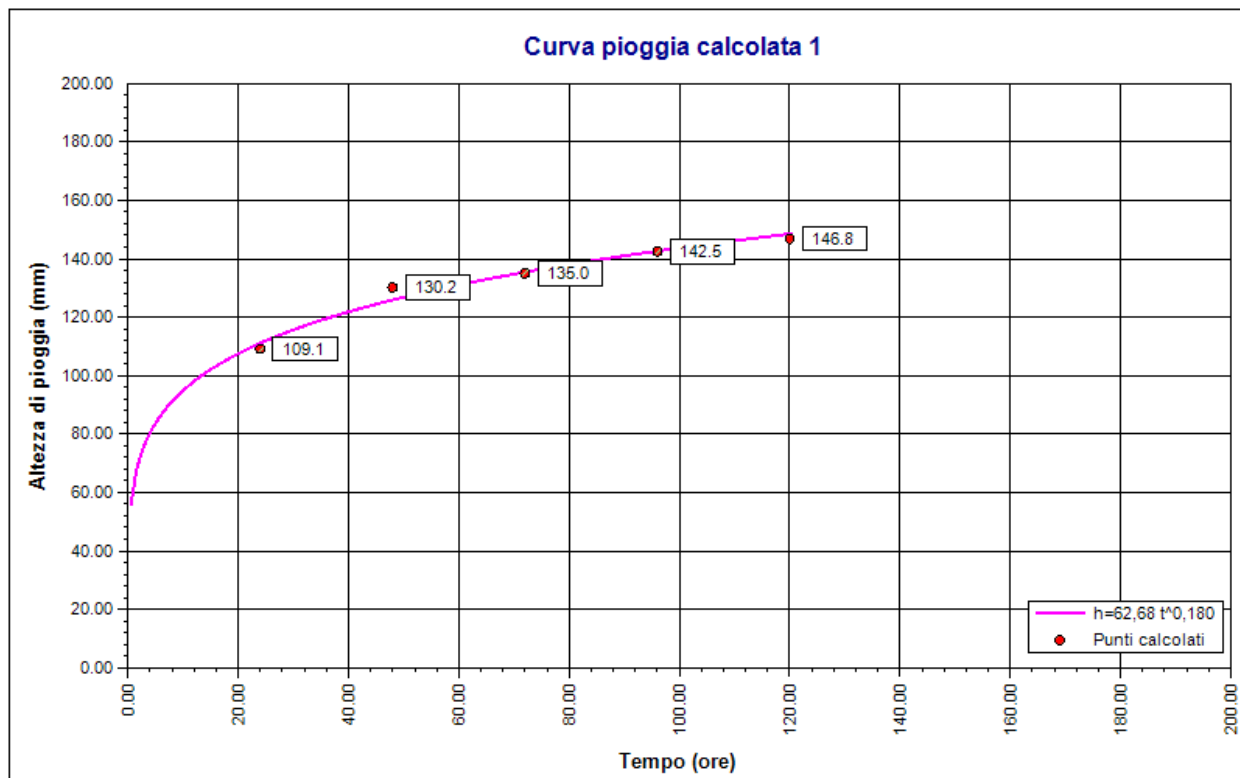
n	Durata		Altezza (mm)
	(ore)	(minuti)	
1	24.000	1440	109.145
2	48.000	2880	130.192
3	72.000	4320	135.010
4	96.000	5760	142.487
5	120.000	7200	146.826

### Risultati interpolazione

Coefficienti curva			Espressione
a	n	correlazione (r)	
62.68	0.18	0.99	$h(t) = 62,7 t^{0.180}$

### Valori curva di pioggia

t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)
1	62.680	9	93.120	17	104.426
2	71.017	10	94.905	18	105.506
3	76.399	11	96.549	19	106.539
4	80.463	12	98.074	20	107.528
5	83.763	13	99.499	21	108.478
6	86.561	14	100.836	22	109.391
7	88.998	15	102.097	23	110.270
8	91.165	16	103.291	24	111.119



Curva pioggia calcolata 1

### Dati Curva di pioggia

**Tipo:** Curva di pioggia calcolata

**Elaborazione probabilistica:** Elaborazione Gumbel 1

**Tempo di ritorno:** 200 anni

**Numero punti:** 5

**Durate di calcolo:** 24 ore, 48 ore, 72 ore, 96 ore, 120 ore

### Tabella punti di calcolo

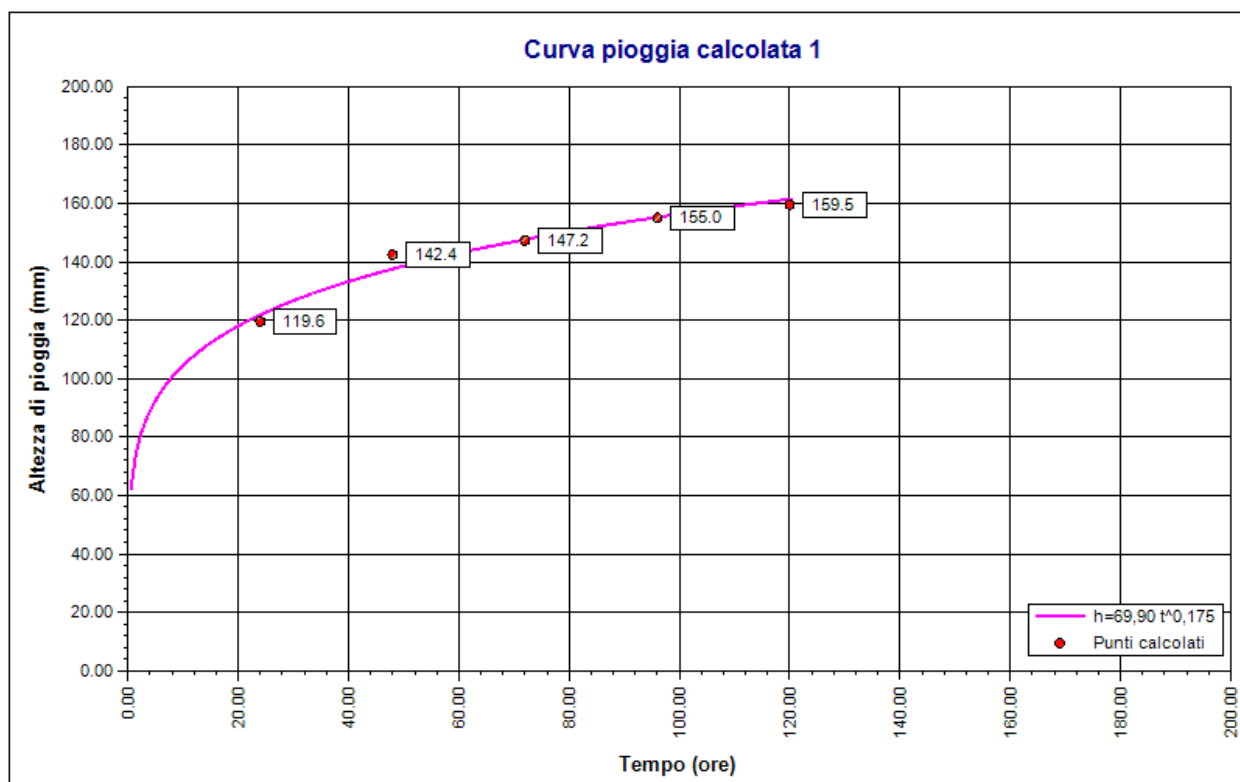
n	Durata		Altezza (mm)
	(ore)	(minuti)	
1	24.000	1440	119.560
2	48.000	2880	142.410
3	72.000	4320	147.247
4	96.000	5760	155.000
5	120.000	7200	159.514

### Risultati interpolazione

Coefficienti curva			Espressione
a	n	correlazione (r)	
69.90	0.17	0.98	$h(t) = 69,9 t^{0.175}$

### Valori curva di pioggia

t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)
1	69.896	9	102.633	17	114.703
2	78.901	10	104.541	18	115.855
3	84.697	11	106.297	19	116.955
4	89.066	12	107.927	20	118.009
5	92.609	13	109.448	21	119.020
6	95.609	14	110.875	22	119.992
7	98.221	15	112.220	23	120.928
8	100.541	16	113.494	24	121.831



Curva pioggia calcolata 1

### Dati Curva di pioggia

**Tipo:** Curva di pioggia calcolata

**Elaborazione probabilistica:** Elaborazione Gumbel 1

**Tempo di ritorno:** 500.000 anni

**Numero punti:** 5

**Durate di calcolo:** 24 ore, 48 ore, 72 ore, 96 ore, 120 ore

### Tabella punti di calcolo

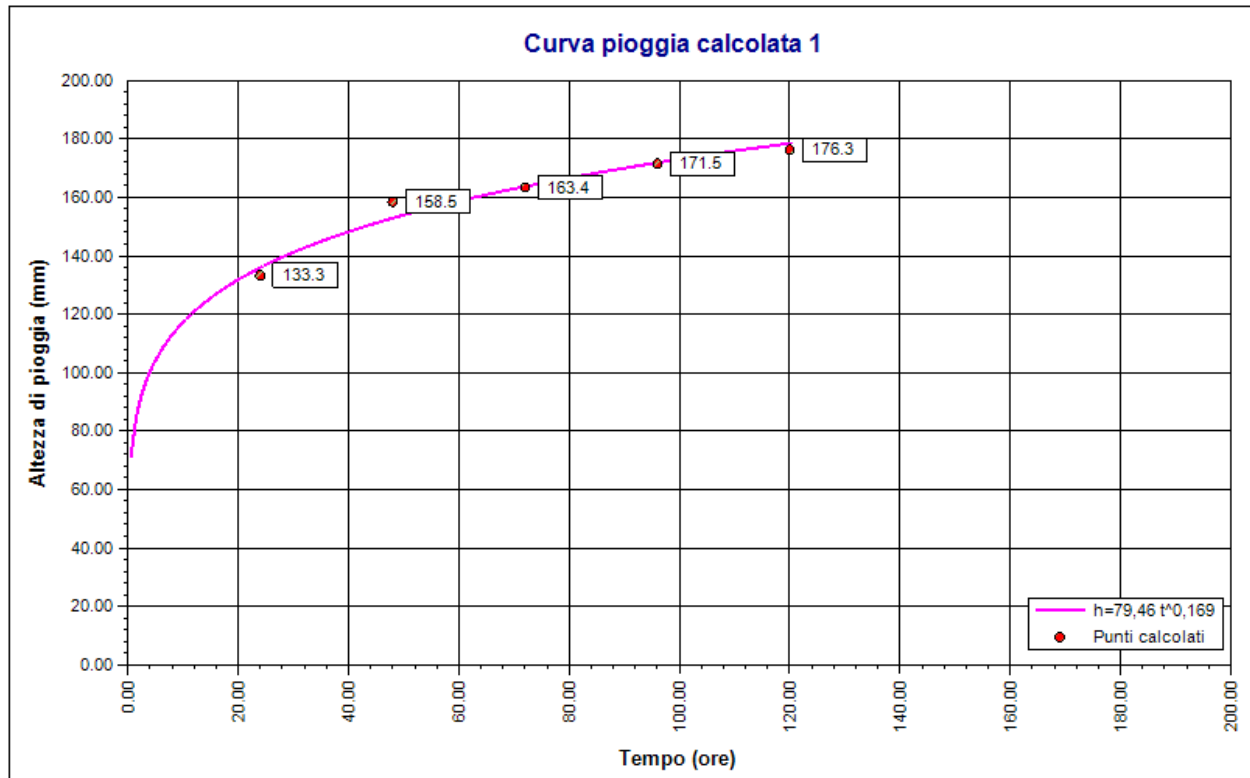
n	Durata		Altezza (mm)
	(ore)	(minuti)	
1	24.000	1440	133.300
2	48.000	2880	158.530
3	72.000	4320	163.391
4	96.000	5760	171.509
5	120.000	7200	176.252

### Risultati interpolazione

Coefficienti curva			Espressione
a	n	correlazione (r)	
79.46	0.17	0.98	$h(t) = 79,5 t^{0,169}$

### Valori curva di pioggia

t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)
1	79.458	9	115.194	17	128.267
2	89.334	10	117.264	18	129.513
3	95.672	11	119.168	19	130.702
4	100.439	12	120.934	20	131.840
5	104.299	13	122.581	21	132.932
6	107.564	14	124.126	22	133.981
7	110.403	15	125.582	23	134.991
8	112.923	16	126.960	24	135.966



Curva pioggia calcolata 1

### 5.4 Calcolo portata di massima piena

Inserendo i dati morfologici del bacino e i dati pluviometrici usati per i metodi di calcolo statistici si ottiene il tempo di di corrivazione e le altezze di pioggia stimate con tempi di ritorno di 10,30,50,100 e 200.

DATI MORFOMETRICI DEL BACINO IDROGRAFICO SOTTESO ALLA SEZIONE DI CHIUSURA CONSIDERATA				TEMPO DI CORRIVAZIONE $t_c$ (ore)	
Superficie del Bacino	$S =$	<b>410,00</b>	Km <sup>2</sup>	Giandotti $\Rightarrow t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m \cdot H_0}} =$	<b>9,69</b>
Lunghezza percorso idraulico principale	$L =$	<b>36,90</b>	Km		
Altitudine max percorso idraulico	$H_{max} =$	<b>612,00</b>	m (s.l.m.)	Kirpich, Watt- Chow, Pezzoli $\Rightarrow t_c = 0.02221 \left( \frac{L}{\sqrt{P}} \right)^{0.8} =$	
Altitudine min percorso idraulico	$H_0 =$	<b>81,00</b>	m (s.l.m.)		
Pendenza media percorso idraulico	$P =$	<b>0,01</b>	(m/m)		
Altitudine max bacino	$H_{max} =$	<b>700,00</b>	m (s.l.m.)		
Altitudine sezione considerata	$H_0 =$	<b>81,00</b>	m (s.l.m.)		
Altitudine media bacino	$H_m =$	<b>390,50</b>	m (s.l.m.)		
Dislivello medio bacino	$H_m - H_0 =$	<b>309,50</b>	m		

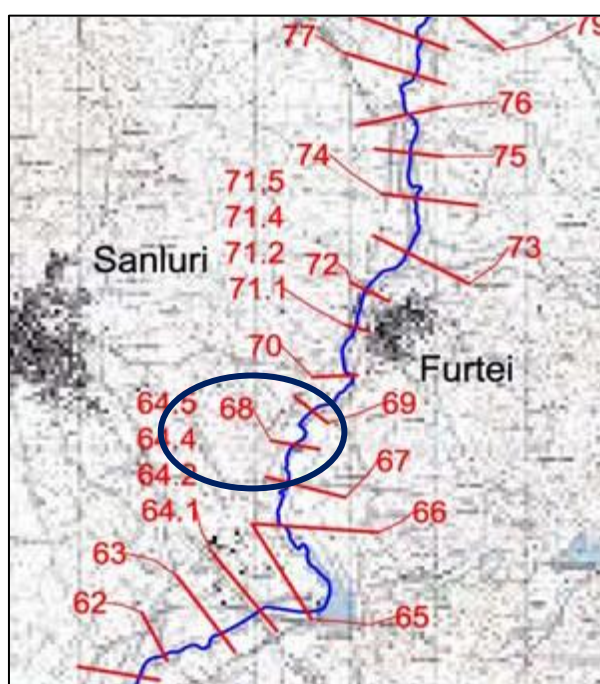
CALCOLO DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA PER ASSEGNATI TEMPI DI RITORNO ( FORMULA del METODO RAZIONALE )																																									
$Q_{max} = \frac{ch_{(t,T)}S}{3.6t_c}$																																									
con : $c$ = coefficiente di deflusso $h_{(t,T)}$ = altezza critica di pioggia con tempi di ritorno (mm) $S$ = superficie del bacino (km <sup>2</sup> ) $t_c$ = tempo di corrivazione (ore) $3,6$ = fattore di conversione che permette di ottenere la $Q_{max}$ in m <sup>3</sup> /sec																																									
RISULTATI																																									
<table border="1"> <tr> <td>Deflusso <math>c =</math></td> <td><b>0,20</b></td> <td><math>S</math> (km<sup>2</sup>) =</td> <td><b>410,00</b></td> <td><math>t_c</math> (ore) =</td> <td><b>9,69</b></td> </tr> </table>						Deflusso $c =$	<b>0,20</b>	$S$ (km <sup>2</sup> ) =	<b>410,00</b>	$t_c$ (ore) =	<b>9,69</b>																														
Deflusso $c =$	<b>0,20</b>	$S$ (km <sup>2</sup> ) =	<b>410,00</b>	$t_c$ (ore) =	<b>9,69</b>																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>T_r</math> (anni)</th> <th><math>a</math></th> <th><math>n</math></th> <th><math>t_c</math> (ore)</th> <th><math>h_{(LT)}</math> (mm)</th> <th><math>Q_{max}</math> (m<sup>3</sup>/sec)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>83,2906</td> <td>0,0905</td> <td>9,69</td> <td>102,30</td> <td><b>240,54</b></td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>105,1928</td> <td>0,0777</td> <td>9,69</td> <td>125,50</td> <td><b>295,09</b></td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>115,1974</td> <td>0,0734</td> <td>9,69</td> <td>136,09</td> <td><b>319,98</b></td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>128,6959</td> <td>0,0685</td> <td>9,69</td> <td>150,37</td> <td><b>353,55</b></td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>142,1488</td> <td>0,0645</td> <td>9,69</td> <td>164,59</td> <td><b>386,99</b></td> </tr> </tbody> </table>						$T_r$ (anni)	$a$	$n$	$t_c$ (ore)	$h_{(LT)}$ (mm)	$Q_{max}$ (m <sup>3</sup> /sec)	10	83,2906	0,0905	9,69	102,30	<b>240,54</b>	30	105,1928	0,0777	9,69	125,50	<b>295,09</b>	50	115,1974	0,0734	9,69	136,09	<b>319,98</b>	100	128,6959	0,0685	9,69	150,37	<b>353,55</b>	200	142,1488	0,0645	9,69	164,59	<b>386,99</b>
$T_r$ (anni)	$a$	$n$	$t_c$ (ore)	$h_{(LT)}$ (mm)	$Q_{max}$ (m <sup>3</sup> /sec)																																				
10	83,2906	0,0905	9,69	102,30	<b>240,54</b>																																				
30	105,1928	0,0777	9,69	125,50	<b>295,09</b>																																				
50	115,1974	0,0734	9,69	136,09	<b>319,98</b>																																				
100	128,6959	0,0685	9,69	150,37	<b>353,55</b>																																				
200	142,1488	0,0645	9,69	164,59	<b>386,99</b>																																				



### 5.5 Dati ottenuti dalla relazione Monografica di Bacino idrografico

Dalle ricerche bibliografiche e dei documenti ufficiali presenti nella letteratura, vista la fase definitiva del progetto, è stata consultata la relazione monografica di bacino idrografico ([http://www.regione.sardegna.it/documenti/1\\_327\\_20110415103651.pdf](http://www.regione.sardegna.it/documenti/1_327_20110415103651.pdf)) del Flumini Mannu.

E' stata constatata la presenza di sezioni topografiche nelle immediate vicinanze della sezione di chiusura ubicata nell'intersezione tra il tracciato del cavidotto e il Flumini Mannu, ma non sono presenti sezioni dettagliate riportate nel documento.



L'analisi idraulica è stata condotta utilizzando il modello numerico HEC-RAS che consente il calcolo dell'andamento dei profili di corrente in moto permanente gradualmente variato od in moto vario in alvei naturali o canali artificiali includendo anche la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombature, briglie, stramazzi, aree golenali ecc...

La sezione individuata è la 68 nominata **07\_MN\_030** nella quale sono state misurate e calcolate le portate per periodo di ritorno di 50,100,200,500.

- T=50 Q=1090 m<sup>3</sup>/s
- T=100 Q=1330 m<sup>3</sup>/s
- T=200 Q=1570 m<sup>3</sup>/s
- T=500 Q=1880 m<sup>3</sup>/s

## 6. POSA DEL CAVIDOTTO

Come già spiegato nei paragrafi precedenti, il tracciato del cavidotto di collegamento con la sottostazione elettrica, interseca in diversi punti il reticolo idrografico riportato nell'allegato 2. L'attraversamento può avvenire, superando una infrastruttura idraulica (tombino, ponte ecc..) oppure "a raso" dove esiste un leggero avvallamento lungo la strada di servizio.

Per tutti gli attraversamenti vale il comune denominatore: tutela delle infrastrutture idrauliche esistenti senza alterare la morfologia del reticolo attuale.

Per questo motivo, si anticipa che:

- il cavidotto viene normalmente interrato lungo la viabilità di servizio ad una profondità di circa 1,50 – 2 m utilizzando lo stesso materiale di scavo per il rinterro (verificando la trincea alle forze di erosione massime);
- nel caso di attraversamento di infrastruttura idraulica, sarà posato al di sotto della stessa, utilizzando la tecnologia NO DIG (TOC o con spingitubo) garantendo un franco di sicurezza di circa 20 – 30 cm dalla fondazione del tombino;

Principali fasi di perforazione

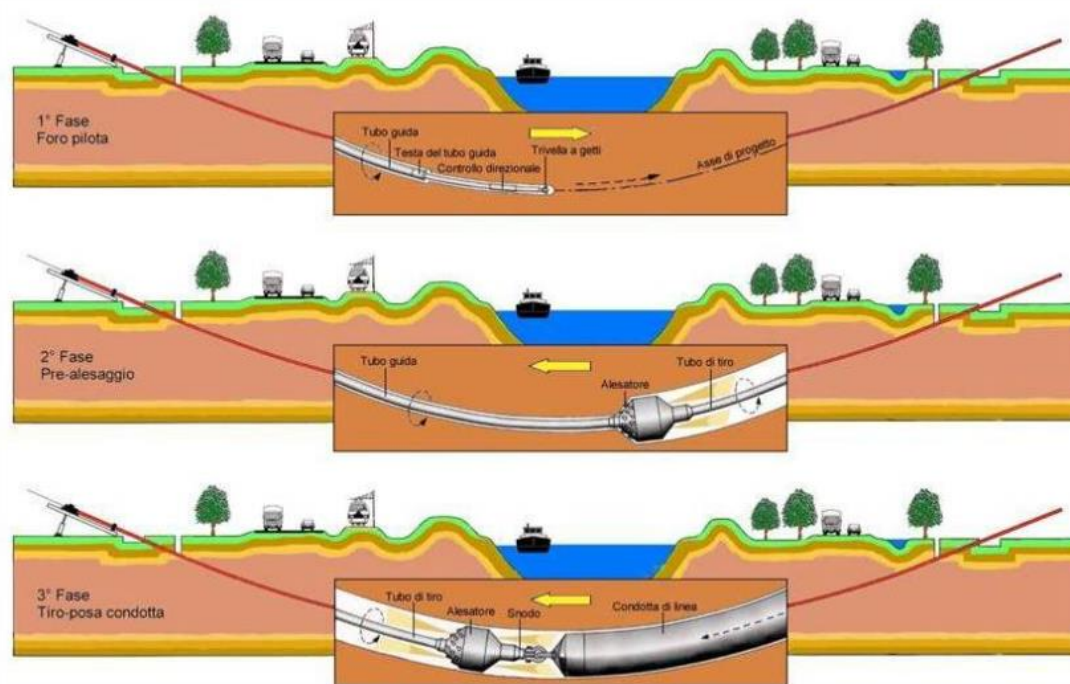


Figura 7 sezione della fase di perforazione della tecnologia TOC

- oppure discostandosi dalla sede stradale verso valle del tombino e attraversare il reticolo con spingitubo ad una profondità di -1,50 - 2 m garantendo la resistenza del rinterro alle azioni di trascinamento delle piene (che saranno

verificate in seguito). Una volta attraversato il reticolo il cavo sarà posato in sede stradale sempre alla profondità di -1,50 - 2 m.

La verifica dell'erosione della trincea di rinterro, viene effettuata in base alle forze di trascinamento generate dalla piena nel caso più gravoso. Una volta verificato il rinterro della trincea descritto in progetto nelle condizioni peggiorative, questo viene steso, a vantaggio di sicurezza, a tutti gli attraversamenti.

La profondità di 1,50 - 2 m ci mette in sicurezza anche per quanto riguarda l'erosione del letto fluviale, in quanto l'erosione è molto lenta a causa degli apporti sedimentari durante eventi di piena e soprattutto per la natura litologica dei terreni in loco.

## CONCLUSIONI

Lo studio è stato sviluppato considerando che siamo in una fase definitiva, per cui non sono stati eseguiti rilievi idraulici ma solo dati di letteratura della relazione monografica del bacino del Flumini Mannu e calcoli empirici idrologici utilizzando i dati pluviografici della stazione meteo di Segariu, a Est del Comune di Furtei.

È stata visualizzata e studiata la cartografia presente con l'inserimento del reticolo fluviale in formato .shp ottenuto dal geoportale della regione Sardegna.

Le turbine in progetto non interferiscono con il reticolo fluviale, mentre il cavidotto interseca diversi impluvi di piccole dimensioni, vedi allegato 2, mentre interseca il Flumini Mannu prima che lo stesso si immetta sulla SP197 a sud dell'abitato di Furtei.

Per lo studio idrologico e idraulico è stato preso in considerazione questo attraversamento, perché gli altri impluvi o torrenti attraversati non avevano un bacino rilevante.

Per cui, è stato messo in evidenza il bacino di nostro interesse con sezione di chiusura all'intersezione con il tracciato del cavidotto che attraversa un ponte lungo una strada comunale (o poderale).

Il bacino ha un'estensione di 410 km<sup>2</sup>, i calcoli idrologici sono stati eseguiti consultando gli annali idrologici regionali, utilizzando i dati degli ultimi 25 anni, considerando però le precipitazioni maggiori ottenute in 5 giorni, in quanto non sono presenti sufficienti dati per lo studio statistico sulle massime altezze di pioggia in 1,3,6,12 e 24 ore.

Attraverso il metodo Tcev (two component extreme value) di secondo livello (considerando i dati della regionalizzazione VAPI) sono state ottenute le curve di pioggia e le altezze critiche per i tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni.

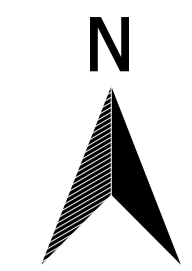
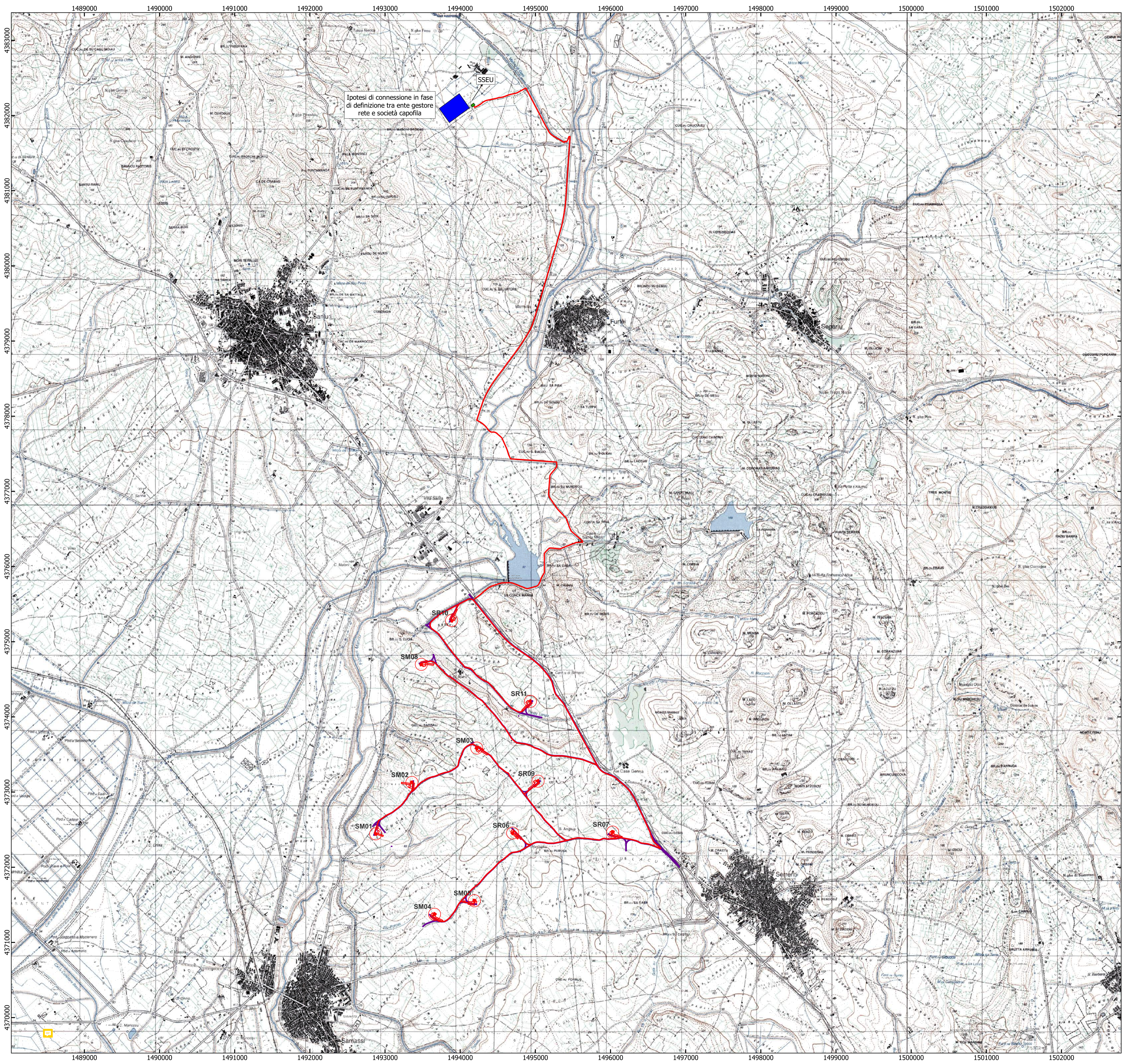
È importante specificare che anche nella cartografia PAI consultata e riportata nella relazione geologica **C20010S05-PD-RT-03-00**, l'area è libera da rischi e pericolosità che possano recare problemi futuri.

L'alveo non si presenta molto inciso, per cui l'erosione non sembra essere elevata negli anni, tranne quando avvengono eventi meteorici importanti che potrebbero erodere o apportare materiale durante le piene.

Per evitare qualsiasi tipo di problema morfologico in alveo e affinché non si intacchino le opere idrauliche esistenti e si preservi la morfologia esistente, il cavidotto sarà fatto passare tramite tecnologia TOC, spinta ad una profondità tra i 1,50 – 2 metri di profondità, al fine di evitare problemi di erosione fluviale che ne intaccherebbe la funzionalità.

Per quanto esposto precedentemente si può affermare che le turbine sono fuori da qualsiasi interferenza e criticità idraulica presente, il cavidotto allo stesso modo, pur intersecando diversi impluvi ed il Flumini Mannu non presenta nessuna criticità operativa, in quanto queste interferenze verranno superate con l'uso della tecnologia TOC descritta precedentemente.

FIRMA

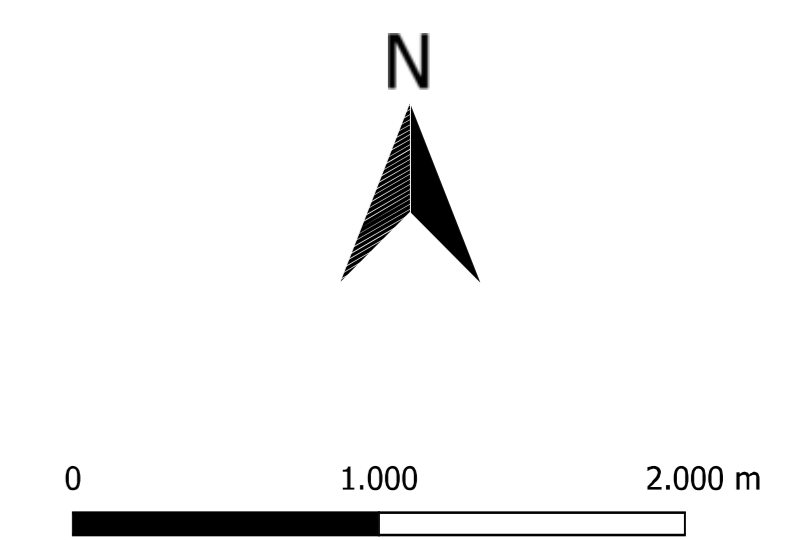
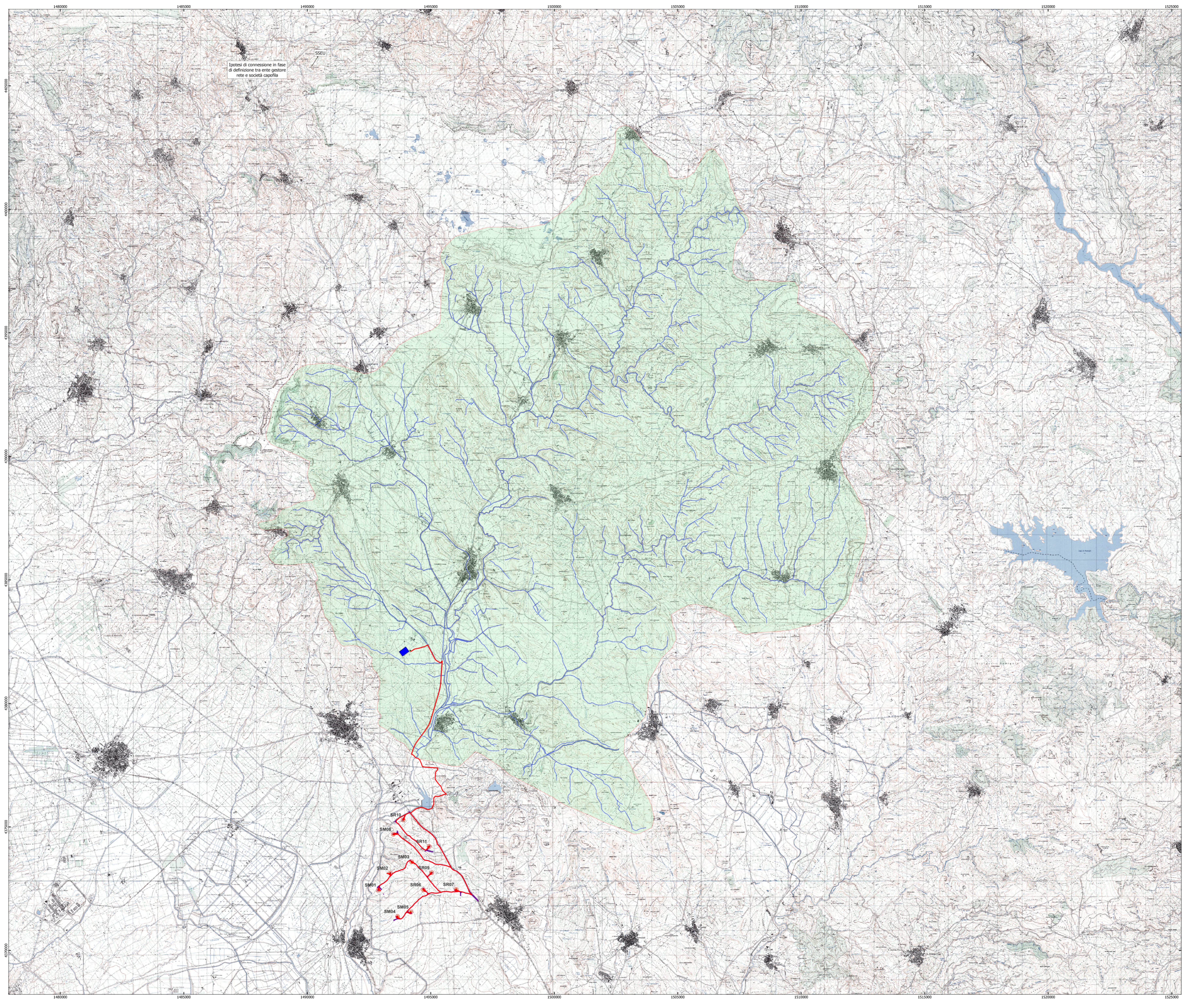


Sistema di riferimento  
"WGS 84 / UTM zone 32N"

**REGIONE SARDEGNA**  
 Provincia di Medio Campidano (VS)  
**COMUNI DI SAMASSI E SERRENTI**



committente:			
<b>SORGENTIA RENEWABLES S.R.L.</b>			
Società di Progettazione: <b>Antex group</b> <small>Ingegneria &amp; Innovazione</small>			
Progetto: <b>PARCO EOLICO DI "SAMASSI - SERRENTI"</b>			Livello: <b>DEFINITIVO</b>
Elaborato: <b>COROGRAFIA</b>			Il geologo
Scala: 1:25000	Nome DIS/	Allegato: 1	F.10: A1



Sistema di riferimento  
"WGS 84 / UTM zone 32N"

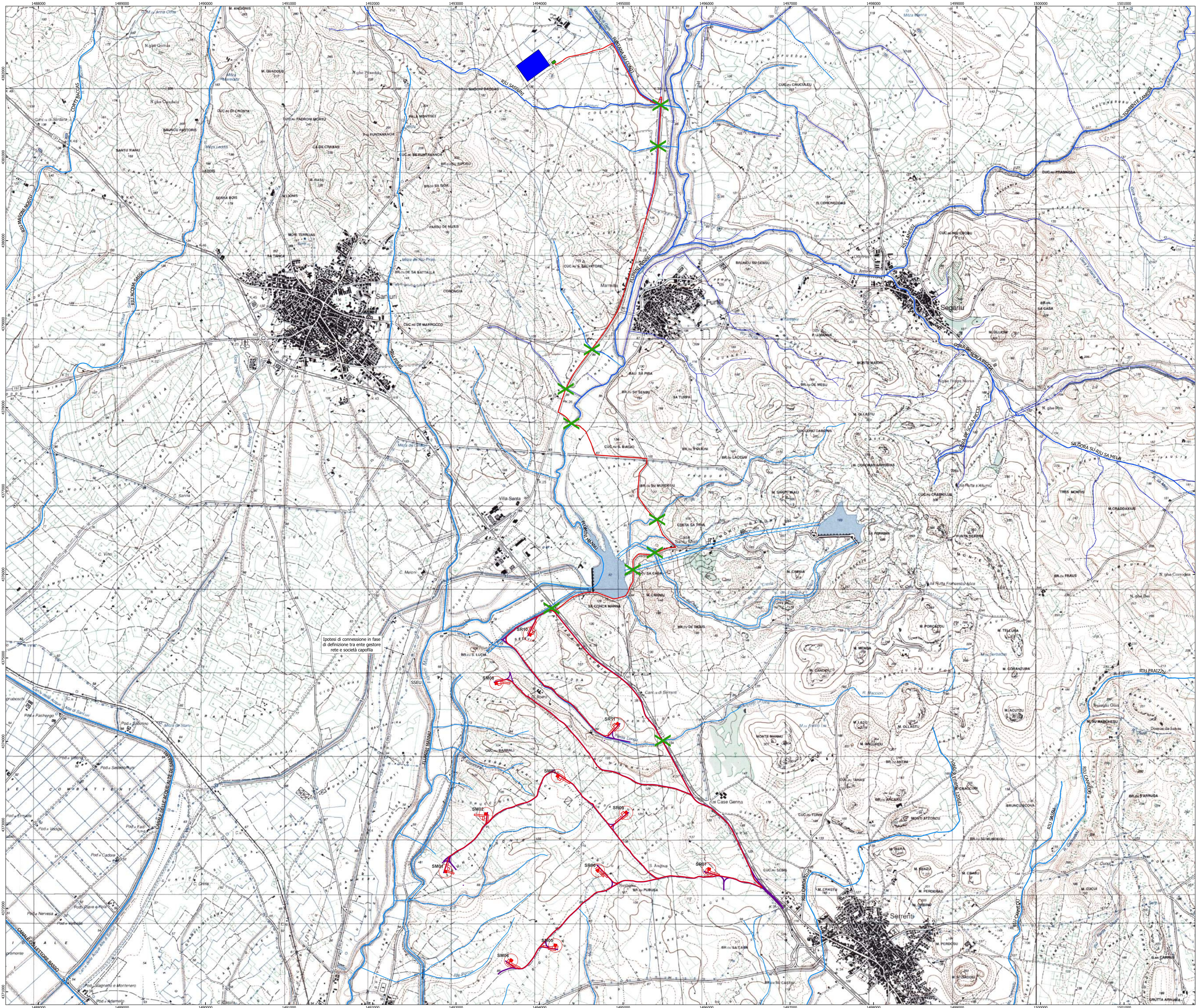
**Legenda**

- Piazzole
- Viabilità
- Traccia Cavidotto
- SS SAMASSI
- STAZIONE ELETTRICA SE IPOTESI
- bacino flumini mannu
- Fiumi e torrenti

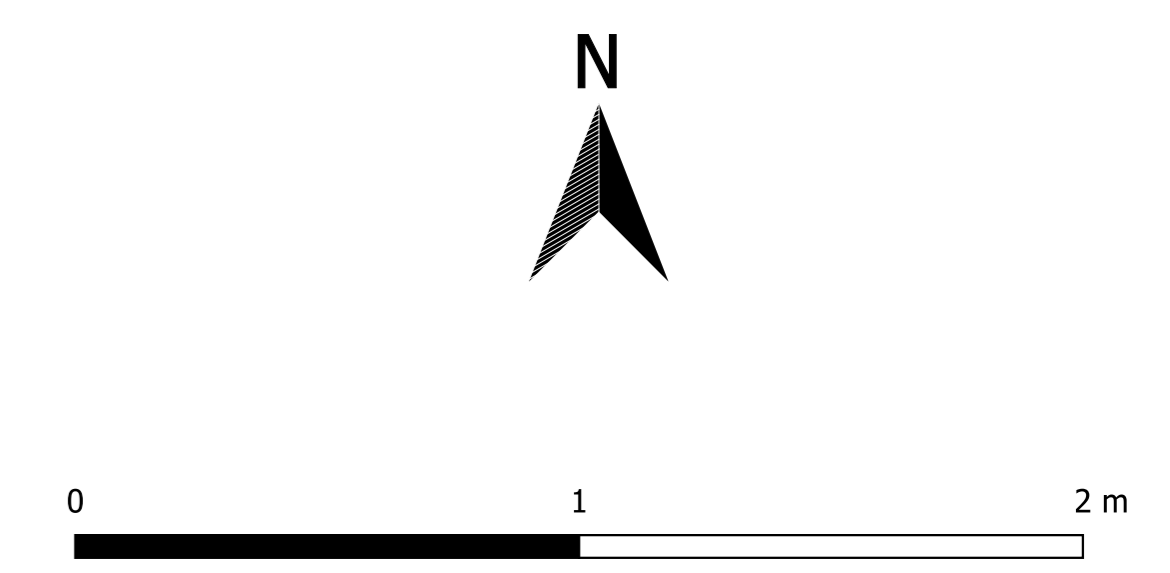
**REGIONE SARDEGNA**  
Provincia di Medio Campidano (VS)

*COMUNI DI SAMASSI E SERRENTI*

committente <b>SORGENIA RENEWABLES S.R.L.</b>		
Società di Progettazione: 		Ingegneria & Innovazione <small>Via Jonica, 16 - Loc. Belvedere - 06100 Soracusa (SR) Tel. 0511 5663409          web: www.antexgroup.it e-mail: info@antexgroup.it</small>
Progetto: <b>PARCO EOLICO DI "SAMASSI - SERRENTI"</b>	Livello: <b>DEFINITIVO</b>	
Elaborato: <b>CARTA IDROGRAFICA</b>		Il geologo
Scala: 1:50000	Nome DIS/ DIS/	Allegato: 2
		F.to: A0



Ipotesi di connessione in fase di definizione tra ente gestore rete e società capofila





Sistema di riferimento "WGS 84 / UTM zone 32N"

- Legenda**
- SS SAMASSI
  - STAZIONE ELETTRICA SE IPOTESI
  - AEROGENERATORI\_BR\_BR\_B\_ELEVATI
  - Roads (new)
  - SS SAMASSI
  - STAZIONE ELETTRICA SE IPOTESI
  - Traccia Cavidotto
  - Posizioni WTG Samassi
  - reticolo idrografico
  - × Interferenza

**REGIONE SARDEGNA**  
 Provincia di Medio Campidano (VS)  
 COMUNI DI SAMASSI E SERRENTI



committente		<b>SORGENTIA RENEWABLES S.R.L.</b> <small>Tedes legge in Via Argenti Alessandria, 4, 20148, Milano (MI)        P.I. 10300050969 - PEC: sorgentia.renewables@legimail.it</small>		 <small>Ingegneria &amp; Innovazione</small>		
Società di Progettazione:		 <small>Via Janica, 16 - Loc. Belvedere - 06100 Sirolo (SR) Tel. 0531.7663409        web: www.ontegroup.it e-mail: info@ontegroup.it</small>		<small>Progetto:</small> <b>PARCO EOLICO DI "SAMASSI - SERRENTI"</b>		<small>Livello:</small> <b>DEFINITIVO</b>
Elaborato:		<b>CARTA DELLE INTERFERENZE        CON RETICOLO IDROGRAFICO</b>		<small>Il geologo:</small>		
<small>Scala:</small> <b>1:15000</b>	<small>Nome DIS/</small>	<small>Allegato:</small> <b>3</b>	<small>F.to:</small> <b>A0</b>			