

TITLE. Relazione idrologico-idraulica

AVAILABLE LANGUAGE: IT

## RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

*Progetto di un impianto agrivoltaico denominato "Masala", di potenza pari a 48,76 MWp, e delle relative opere di connessione.*

*Da realizzarsi nei comuni di Ploaghe (SS) e Codrongianos (SS).*



File: LS16943.ENG.REL.009.00\_Relazione idrologico-idraulica

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
00	15/12/2023	EMISSIONE	E.Barbiere	A.Fata	L. Spaccino

### CLIENT VALIDATION

Name

APPROVED BY

### CLIENT CODE

PLANT							GROUP			TYPE			PROGR.			REV	
L	S	1	6	9	4	3	E	N	G	R	E	L	0	0	9	0	0

CLASSIFICATION For Information or For Validation

UTILIZATION SCOPE Basic Design

## Indice

1. INTRODUZIONE .....	3
1.1. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	3
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....	3
3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO.....	4
4. STATO DI FATTO E SOVRAPPOSIZIONE CON CARTOGRAFIA PAI .....	5
5. ANALISI IDROLOGICA .....	10
5.1. ANALISI PROBABILISTICA DELLE PIOGGE .....	10
5.2. IL VAPI SARDEGNA .....	11
5.3. BACINI IDROGRAFICI DI RIFERIMENTO .....	14
5.3.1. QUOTE CARATTERISTICHE E PENDENZE DEI BACINI.....	15
5.3.2. PENDENZA MEDIA DEL CORSO D'ACQUA .....	16
5.3.3. CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE .....	17
5.4. STIMA DELLE PORTATE .....	18
5.4.1. COEFFICIENTE DI DEFLUSSO .....	18
5.4.2. RISULTATI OTTENUTI.....	19
6. VERIFICHE IDRAULICHE .....	20
6.1. SCELTA DEL TEMPO DI RITORNO .....	20
6.2. IL MODELLO HEC RAS.....	20
6.2.1. LA MODELLAZIONE DI PROGETTO .....	21
6.2.2. RISULTATI DELLE MODELLAZIONI .....	25
7. RISULTATI E CONCLUSIONI .....	26
8. ALLEGATI.....	31
8.1. RISULTATI MODELLAZIONI IN MOTO PERMANENTE MONODIMENSIONALE .....	31

## 1. INTRODUZIONE

Il seguente studio idrologico e idraulico è parte integrante del progetto proposto da Lightsource Renewable Energy Italy SPV 23 S.R.L., che prevede la realizzazione di un impianto FV situato nel territorio comunale di Codrongianos (SS) e Ploaghe (SS), costituito da un'area agricola nella disponibilità della proponente. Il progetto proposto si compone di un impianto costituito da n. 69.664 moduli fotovoltaici bifacciali o equivalenti, la cui potenza complessivamente installabile risulta essere pari a 48,76 MWp. Più in particolare, previo inquadramento dell'area oggetto di intervento, verranno mostrate le analisi idrologiche e le verifiche idrauliche che saranno effettuate per quei tratti d'asta che defluiscono in prossimità delle aree di impianto.

### 1.1. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Nel presente studio si è fatto riferimento a:

1. NTA del PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI) della Regione Sardegna, aggiornamento 2022;
2. Documentazione costituente il Progetto Definitivo.

## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area interessata dall'intervento è situata a Nord-Est del territorio comunale di Ozieri, in provincia di Sassari.

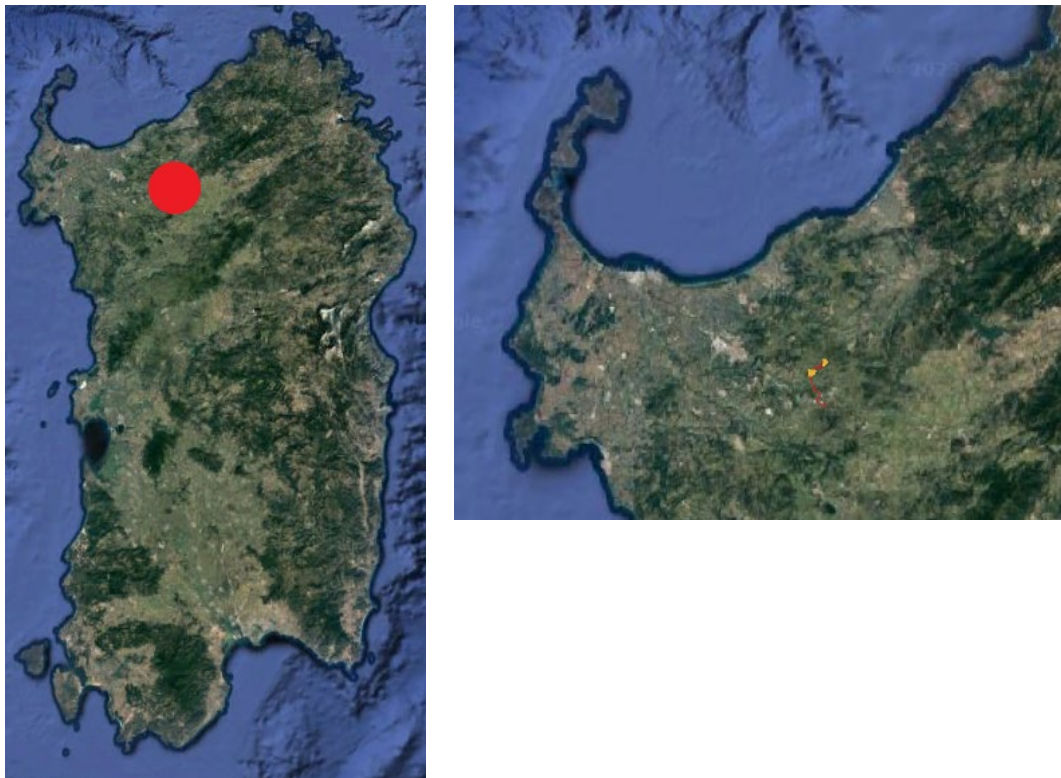


Figura 1 - Ubicazione dell'area di oggetto di intervento su Google Earth

### 3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

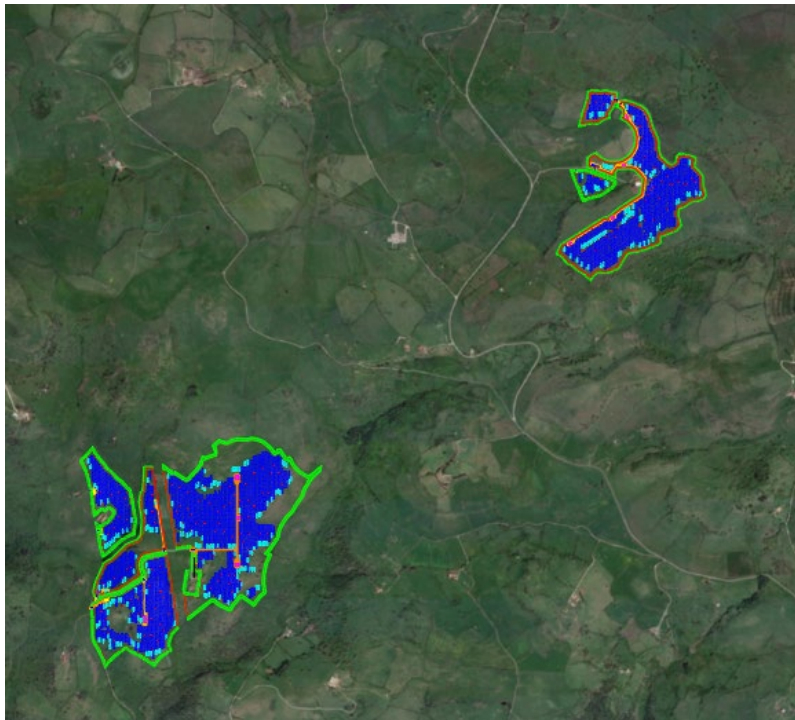
L'impianto FV sarà situato nel territorio comunale di Codrogianos (SS) e Ploaghe (SS), costituito da un'area agricola nella disponibilità della proponente. Il progetto proposto si compone di un impianto costituito da n. 69.664 moduli fotovoltaici bifacciali o equivalenti, la cui potenza complessivamente installabile risulta essere pari a 48,76 MWp.

Le aree interessate dal progetto, trattandosi di area agricola necessitano di opere relative al taglio raso terra di vegetazione erbacea e arbustiva con triturazione senza asportazione dei residui, livellamenti e regolarizzazione del sito. Dall'analisi del rilievo planoaltimetrico dell'area non è emerso la presenza di pendenze non idonee all'installazione delle strutture fotovoltaiche all'interno della porzione dell'area interessata dall'impianto. In ogni caso si precisa che gli scavi interesseranno una profondità massima di circa 1,6 m in corrispondenza dello scavo relativo al cavidotto di connessione alla rete. I materiali provenienti da scavi in terra eventualmente non oggetto di semplice movimentazione in situ, ed ove non siano riutilizzabili perché ritenuti non adatti per il rinterro, saranno gestiti come rifiuto e avviati presso impianti di smaltimento autorizzati, previa caratterizzazione, nel rispetto delle normative vigenti.

Il progetto proposto si compone di un unico lotto. L'impianto FV è composto da 69.664 moduli fotovoltaici bifacciali posizionati su (n.1122 2x28 Portrait + n.244 2x14 Portrait) strutture tracker per una potenza nominale di picco di 48,76 MWp. È previsto anche il posizionamento di prefabbricati in CLS per le cabine di raccolta, SCADA e per le Transformation Unit. Le prime due saranno posizionate su getto di magrone in CLS gettato in opera e ad esso ancorate, mentre le Transformation Unit saranno ancorate su due cordoli di CLS interrati per una profondità di 0,6 m. Quest'ultime saranno inoltre fornite di oil trail in parte interrato.

L'impianto sarà collegato in antenna a 36 kV sulla sezione a 36 kV del futuro ampliamento della Stazione Elettrica (SE) a 380/220/150 kV della RTN denominata "Codrogianos", come indicato nella Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) fornita dal gestore di rete. La connessione dell'impianto alla SE Terna sarà diretta e avverrà tramite cavidotto a 36 kV a partire dalla cabina di raccolta, ubicata all'interno dell'area di impianto.

Per quanto riguarda la protezione e la sorveglianza, le aree del progetto ricadono in un'area agricola ed è quindi consigliabile avere vigilanza continua per controllare l'accesso all'area ed evitare il possibile furto di materiale. Infatti, ove e se necessario, in accordo alle specifiche tecniche della Committente, verrà realizzata una nuova recinzione di perimetrazione intorno all'area occupata dall'impianto. La recinzione avrà un'altezza di 2,5 m dal suolo e sarà costituita da una maglia metallica ancorata a pali in acciaio zincato, installati al massimo ogni 3,5 m, e infissi nella fondazione in calcestruzzo per un minimo di 30 cm, questi ultimi sorretti da fondamenta di dimensioni 500x500x500mm. Il calcestruzzo deve essere almeno di classe C16/20 [secondo EN 1992]. Il sistema di illuminazione sarà limitato all'area di gestione dell'impianto.

















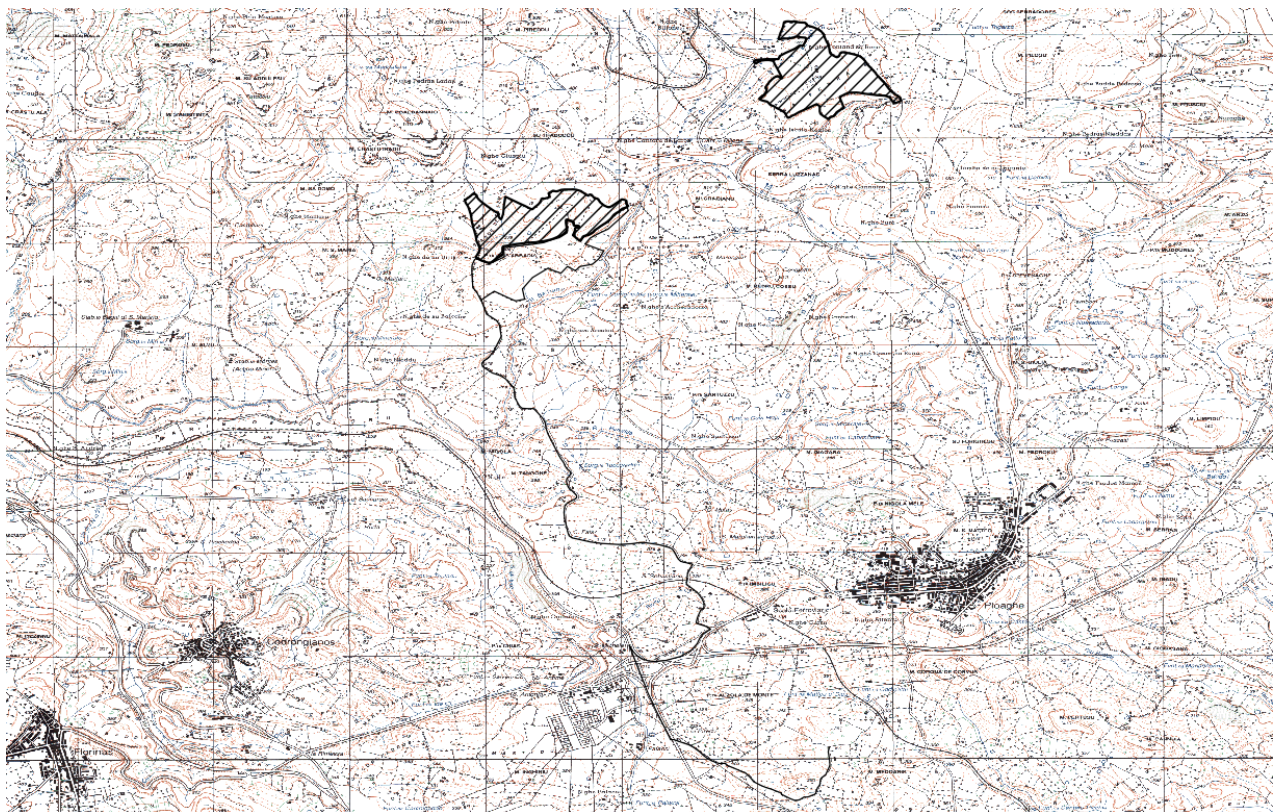
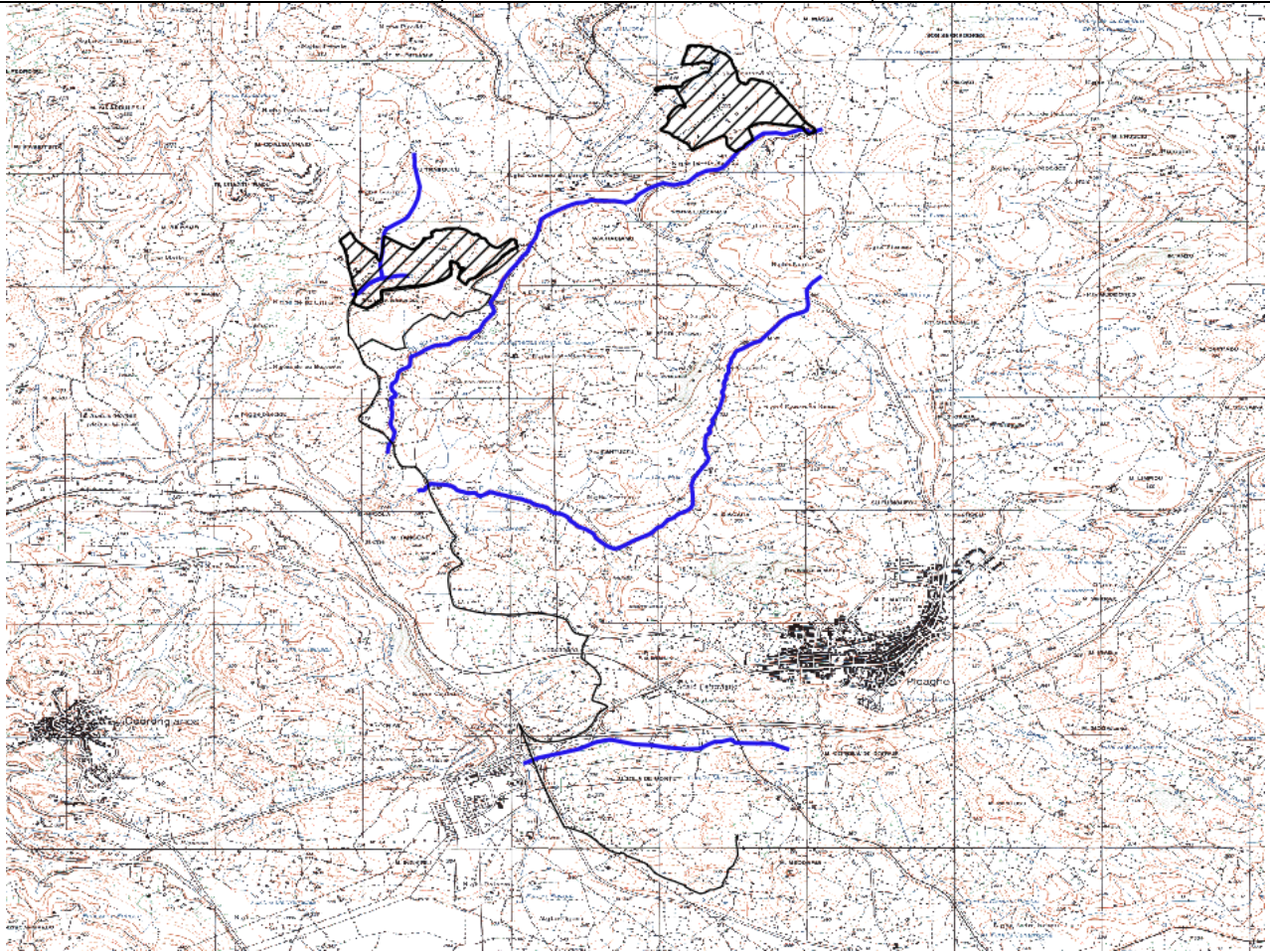
-  Recinzione
-  Accesso
-  Fascia di mitigazione (10 m)
-  Strutture 2x28
-  Strutture 2x14
-  T.U. 1280 kVA
-  T.U. 1600 kVA
-  T.U. 1920 kVA
-  T.U. 2880 kVA
-  T.U. 3200 kVA
-  Cabina SCADA
-  Cabina di raccolta
-  Viabilità interna
-  String Inverter Sungrow (SG350HX)

Figura 2 - Layout di impianto

#### 4. STATO DI FATTO E SOVRAPPOSIZIONE CON CARTOGRAFIA PAI

Il sito di intervento è ubicato in un contesto collinare, a tratti pianeggiante, costituito da campi soggetti a pratiche agricole. Così come rappresentato in Figura 3, in cui si riporta la sovrapposizione del reticolo idrografico con le opere in progetto, sussistono interferenze tra lo sviluppo del cavidotto e i corsi d'acqua esistenti.





**Figura 3 - Stralcio da IGM con interferenza reticolo idrografico**





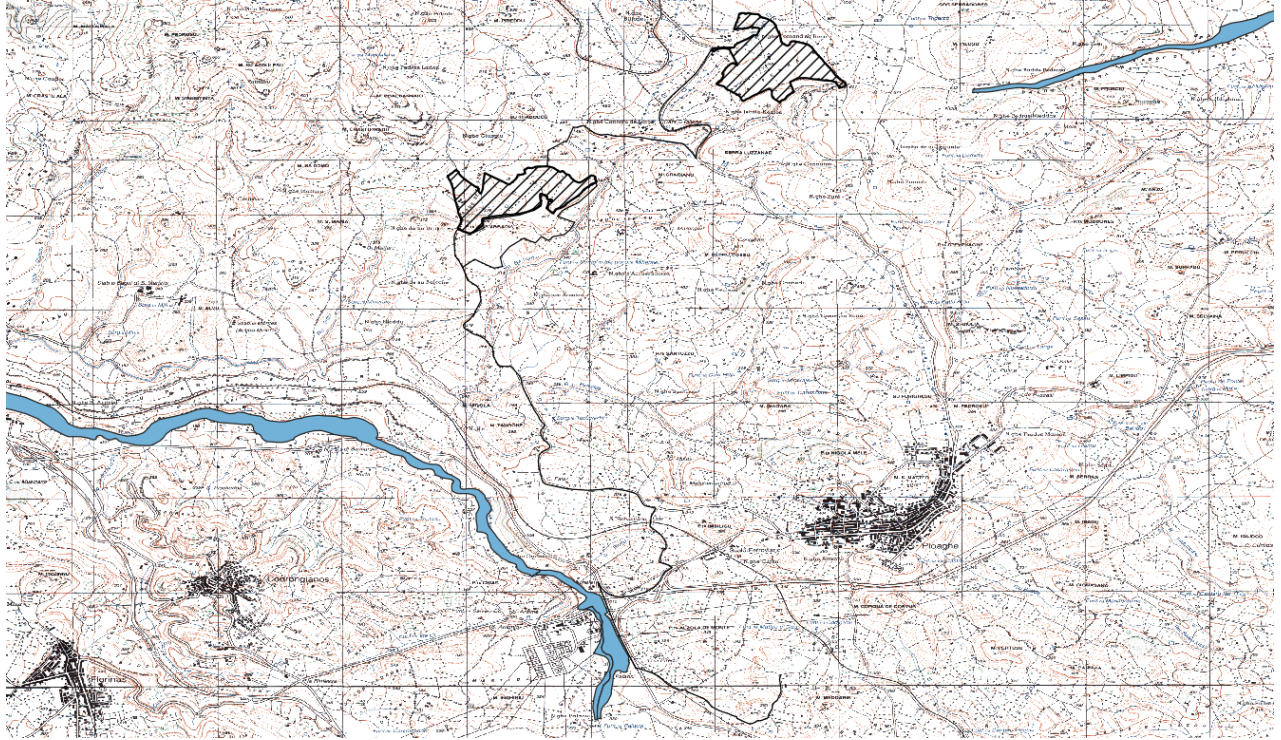


**Figura 4 - Foto rappresentative area di intervento**

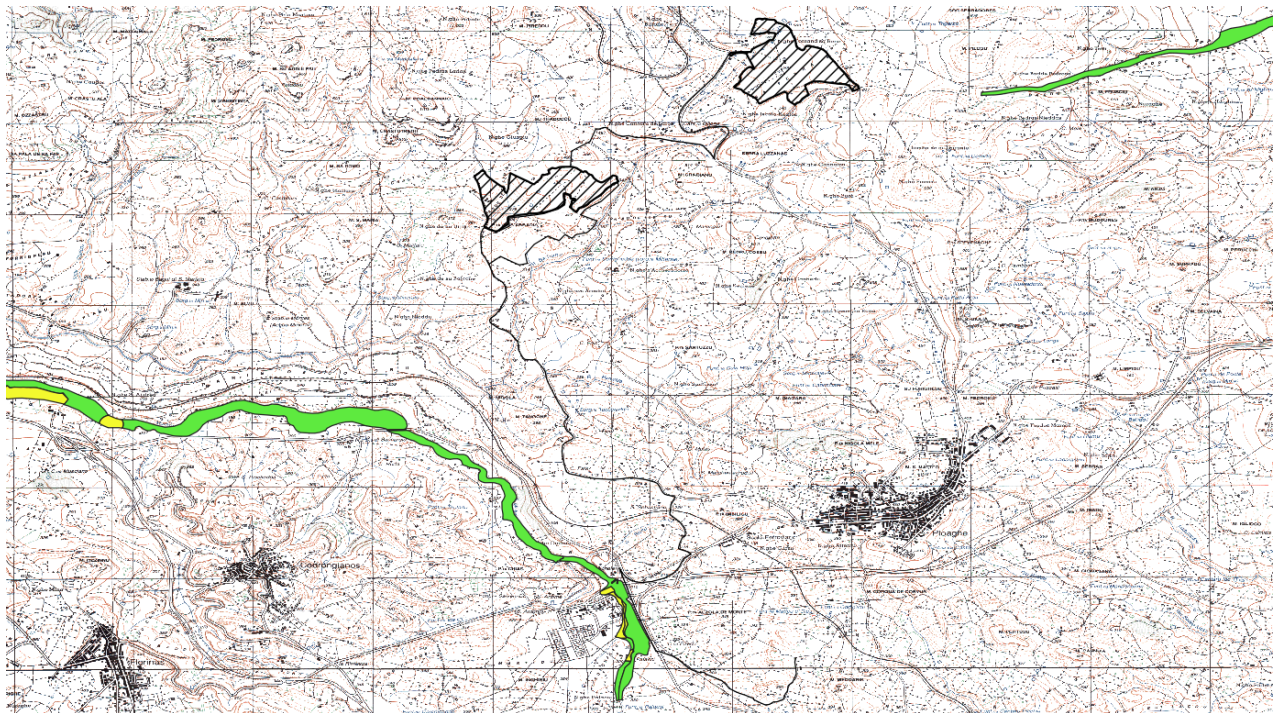
Gli interventi ricadono nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale della Sardegna. L'eventuale interferenza con le aree a rischio idraulico è stata verificata previa consultazione della cartografia della pericolosità/rischio idraulica/o messa a disposizione sul sito dell'Ente. Dalla figura di seguito rappresentata si evidenzia come:

- Le aree oggetto di intervento e lo sviluppo del cavidotto di connessione non interferiscono con aree a pericolosità/rischio idraulico.





**Figura 5 - Sovrapposizione opere con cartografia PAI/PGRA\_ pericolosità**



**Figura 6 - Sovrapposizione opere con cartografia PAI/PGRA\_ rischio**

## 5. ANALISI IDROLOGICA

Nei paragrafi a seguire verranno mostrati i vari step dello studio idrologico ed idraulico di dettaglio attraverso il quale, a partire dalla definizione delle curve di possibilità pluviometrica (CPP), esprimenti la relazione fra le altezze di precipitazione  $h$  e la loro durata  $t$ , e alla caratterizzazione dei bacini, è stato possibile effettuare la stima delle portate di progetto ad assegnato tempo di ritorno.

### 5.1. ANALISI PROBABILISTICA DELLE PIOGGE

Lo studio probabilistico delle piogge, necessario per la definizione delle Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP) è stato effettuato sull'analisi delle curve di frequenza cumulata (CDF) costruite per le serie storiche dei massimi annuali delle piogge di durata 1,3,6,12,24. Come modello è stato applicato il modello probabilistico TCEV (Two Component Extreme Value), la cui funzione di probabilità è del tipo

$$F_x(x) = \exp\left\{-\Lambda_1 \exp\left(-x/\theta_1\right) - \Lambda_2 \exp\left(-x/\theta_2\right)\right\} \quad x \geq 0$$

in cui è possibile distinguere una componente base (pedice 1), relativa agli eventi normali e più frequenti, ed una componente straordinaria (pedice 2), relativa ad eventi più gravosi e rari. La legge risulta essere funzione di 4 parametri  $\Lambda_1, \theta_1, \Lambda_2, \theta_2$ , esprimenti il numero medio di eventi indipendenti superiori ad una soglia delle due popolazioni ( $\Lambda_1$  e  $\Lambda_2$ ) e il loro valore medio ( $\theta_1$  e  $\theta_2$ ).

Ponendo

$$\theta_* = \theta_2/\theta_1 \text{ e } \Lambda_* = \Lambda_2/\Lambda_1^{1/\theta_*}$$

la funzione di probabilità diventa

$$F_x(x) = \exp\left\{-\Lambda_1 \exp\left(-x/\theta_1\right) - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\theta_*} \exp\left[-x/(\theta_* \theta_1)\right]\right\} \quad x \geq 0$$

e il valore della variabile casuale  $x$ , corrispondente al periodo di ritorno  $T$ , dipendente dai 4 parametri

$$\Lambda_* \theta_* \Lambda_1 \theta_1$$

la cui stima può essere effettuata con il metodo della massima verosimiglianza o dei momenti.

Per ridurre l'incertezza della stima ottenuta con le serie storiche disponibili, si utilizzano delle tecniche di analisi regionale che si basano sull'individuazione di vaste aree, indicate come zone o sottozone omogenee, all'interno delle quali è possibile assumere la costanza di alcuni parametri.

- Al 1° livello di regionalizzazione, i parametri  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$  del modello assumono un valore costante

all'interno di ampie zone omogenee.

- Al 2° livello di regionalizzazione, oltre alle zone omogenee vengono identificate anche delle sottozone omogenee, per cui oltre ai valori costanti di  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$  si può ritenere costante anche il parametro di scala  $\Lambda_1$ .
- Al 3° livello di regionalizzazione si persegue in modo regionale anche alla stima del 4° parametro, che, in dipendenza dal metodo che si vuole adottare, può essere  $\theta_1$  o  $\mu$ , quest'ultimo definito valore indice e rappresentante un valore caratteristico della distribuzione.

Le analisi idrologiche presentate all'interno del seguente studio, verranno condotte adoperando il terzo livello di regionalizzazione.

## 5.2. II VAPI SARDEGNA

Quanto di seguito riportato è una sintesi di quanto riportato nel rapporto regionale VAPI della REGIONE SARDEGNA.

Al primo livello di regionalizzazione è stata verificata ed accolta l'ipotesi che tutto il territorio regionale ricada in una unica Zona Omogenea, caratterizzata dalla costanza in tutti i punti del territorio del coefficiente d'asimmetria e dei parametri di modello  $\Lambda^*$  e  $\theta^*$ . Le loro stime, effettuate col metodo di massima verosimiglianza (MV), sono risultate:

$$\Lambda^* = 0.5717 ; \quad \theta^* = 2.207$$

Al secondo livello di regionalizzazione è stata riconosciuta la necessità di ripartire il territorio in tre sottozone omogenee (SZO), ognuna caratterizzata dalla costanza del coefficiente di variazione e del parametro  $\Lambda_1$ .

La delimitazione territoriale delle SZO è stata effettuata utilizzando anche i dati delle 111 stazioni con minor numero di osservazioni, le quali sono state attribuite ai tre gruppi mediante tecniche di analisi discriminante, ed è semplicemente basata sull'aggregazione dei topoi dei dati delle stazioni appartenenti ad una medesima SZO. La spezzata costituita dai lati di confine, che separano topoi appartenenti a diverse SZO, è stata regolarizzata con una spline function.

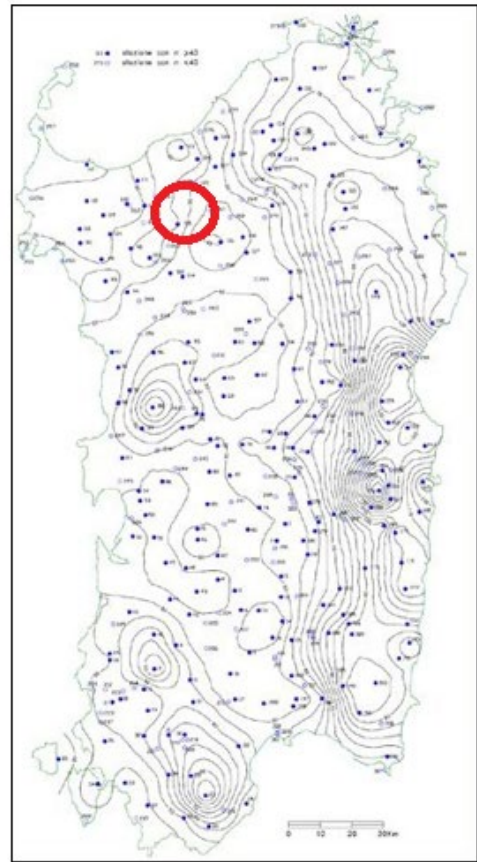
I valori del parametro  $\Lambda_1$  nelle tre SZO sono risultati:

$$1^a \text{ SZO} \quad \Lambda_1 = 74.50$$

$$2^a \text{ SZO} \quad \Lambda_1 = 21.20$$

$$3^a \text{ SZO} \quad \Lambda_1 = 6.68$$

mentre la delimitazione geografica delle tre sottozone è riportata nella Figura 7.



**Figura 7 - Sotto Zone Omogenee per le piogge brevi e intense in Sardegna (sin) e Altezza media dei massimi di pioggia giornaliera in Sardegna (dx). (fonte: Progetto VAPI**

Al terzo livello di regionalizzazione, viene presa in considerazione come pioggia indice la media del massimo annuale dell'altezza di precipitazione giornaliera  $m[h_g]$ .

Per definire la distribuzione sul territorio della pioggia indice sono stati formulati tre differenti modelli di trasposizione e sono state confrontate le relative prestazioni:

- il primo modello è basato sulla mappatura spaziale della grandezza di interesse, attraverso tecniche di Kriging;
- il secondo è fondato sull'identificazione di aree omogenee caratterizzate da correlazioni lineari tra il logaritmo della pioggia indice e la quota sul mare della stazione;
- il terzo è basato sull'applicazione di modelli neurali.

La taratura dei tre modelli è stata effettuata utilizzando le osservazioni delle 200 stazioni con base dati più estesa, mentre la loro verifica è stata condotta raffrontando i risultati con le osservazioni delle 111 stazioni con minor numero di dati, non impiegate nel processo di taratura. Le indagini hanno evidenziato la miglior capacità interpretativa del modello basato sulle tecniche di Kriging. Per facilitare l'impiego del modello, sono stati preliminarmente stimati i valori di  $m[h_g]$  in corrispondenza ai nodi di un reticolo di 1 km di lato, ricoprente l'intero territorio regionale. Il valore della pioggia indice in qualunque punto del territorio può essere facilmente stimato mediante interpolazione lineare tra i valori nei quattro nodi circostanti. Per le piogge brevi ed intense, il legame tra la pioggia indice  $m[h(d)]$  e la durata  $d$  è risultato ben descritto in tutti i siti considerati da una espressione monomia analoga a quella impiegata per rappresentare le curve di crescita:

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

Per trasferire i valori di  $a_0$  ed  $n_0$  a siti non osservati, dopo aver esplorato alcune ipotesi alternative basate su correlazioni con i parametri morfologici e sull'impiego di superfici interpolari, risultate non praticabili per l'esiguo numero di stazioni osservate, si è prescelto di ricercare delle relazioni generali con l'altezza di pioggia giornaliera media, che è facilmente calcolabile in tutti i punti del territorio. Le relazioni ritrovate risultano:

$$a_0 = m[h_g] / (0.88624 n_0)$$

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

In merito al calcolo del coefficiente di crescita, per le piogge brevi ed intense sono state ricavate delle espressioni approssimate di  $K_T$ , funzione della durata e del tempo di ritorno  $T$ . Per ottenere queste espressioni, sono stati calcolati in ciascuna delle tre SZO e per tempi di ritorno da 2 a 1000 anni i valori di  $K_T$  corrispondenti alle durate da 0.5 a 24 ore. Mentre per tempi di ritorno sino a 10 anni l'andamento di  $K_T$  al variare della durata  $d$  risulta adeguatamente interpretato in tutto il campo da un'unica espressione monomia del tipo:

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

dove i coefficienti  $a_1$  ed  $n_1$  dipendono dal tempo di ritorno  $T$ ;

al crescere di questa grandezza l'andamento presenta un ginocchio sempre più marcato in corrispondenza alla durata di 1 ora, dovuto ad un analogo andamento riscontrato nelle statistiche di ordine superiore, che ha imposto l'adozione di due differenti espressioni monomie valide rispettivamente per durate inferiori e superiori ad 1 ora:

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

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

Ovviamente, i valori dei coefficienti  $a_2'$  e  $a_2''$ , che rappresentano entrambi la stima dellapioggia oraria, debbono risultare uguali tra loro.

In particolare, i coefficienti  $a_1$  e  $n_1$  dell'espressione monomia relativa a tempi di ritorno non superiori a 10 anni risultano:

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

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

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

mentre, per tempi di ritorno da 10 a 1000 anni, i coefficienti delle due espressioni monomie valgono:

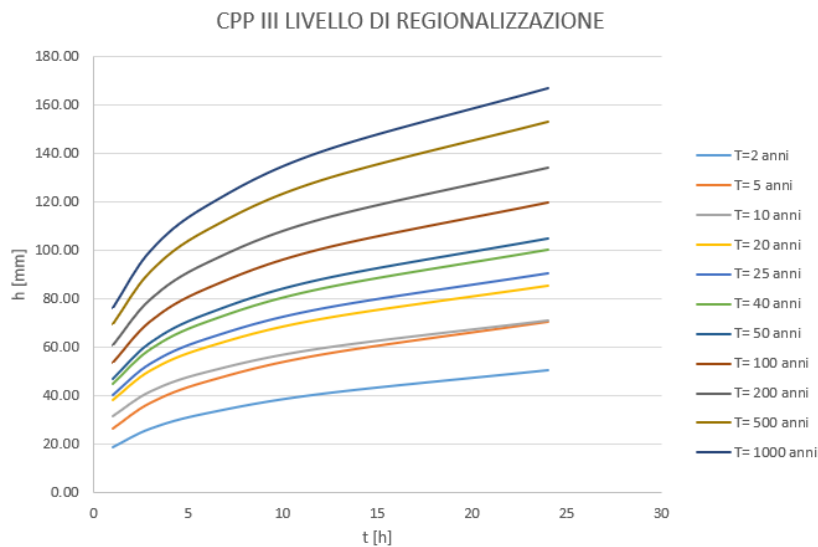
SZO	Durata ≤ 1 ora	Durata >1 ora
Sottozona 1	$a=0.46420+1.0376*\text{Log}(T)$ $n=-0.18488+0.22960*\text{Log}(T)-3.3216*10^{-2}*\text{Log}^2(T)$	$a=0.46420+1.0376*\text{Log}(T)$ $n=-1.0469*10^{-2}-7.8505*10^{-3}*\text{Log}(T)$
Sottozona 2	$a=0.43797+1.0890*\text{Log}(T)$ $n=-0.18722+0.24862*\text{Log}(T)-3.36305*10^{-2}*\text{Log}^2(T)$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

**Figura 8 - Parametri della curva di possibilità climatica (fonte: progetto VAPI Sardegna)**

Applicando la metodologia VAPI al III livello di regionalizzazione TCEV e considerando la SZO 2 sono stati ottenuti i seguenti risultati:

**Tabella 1 - Curve di pioggia a differente tempo di ritorno**

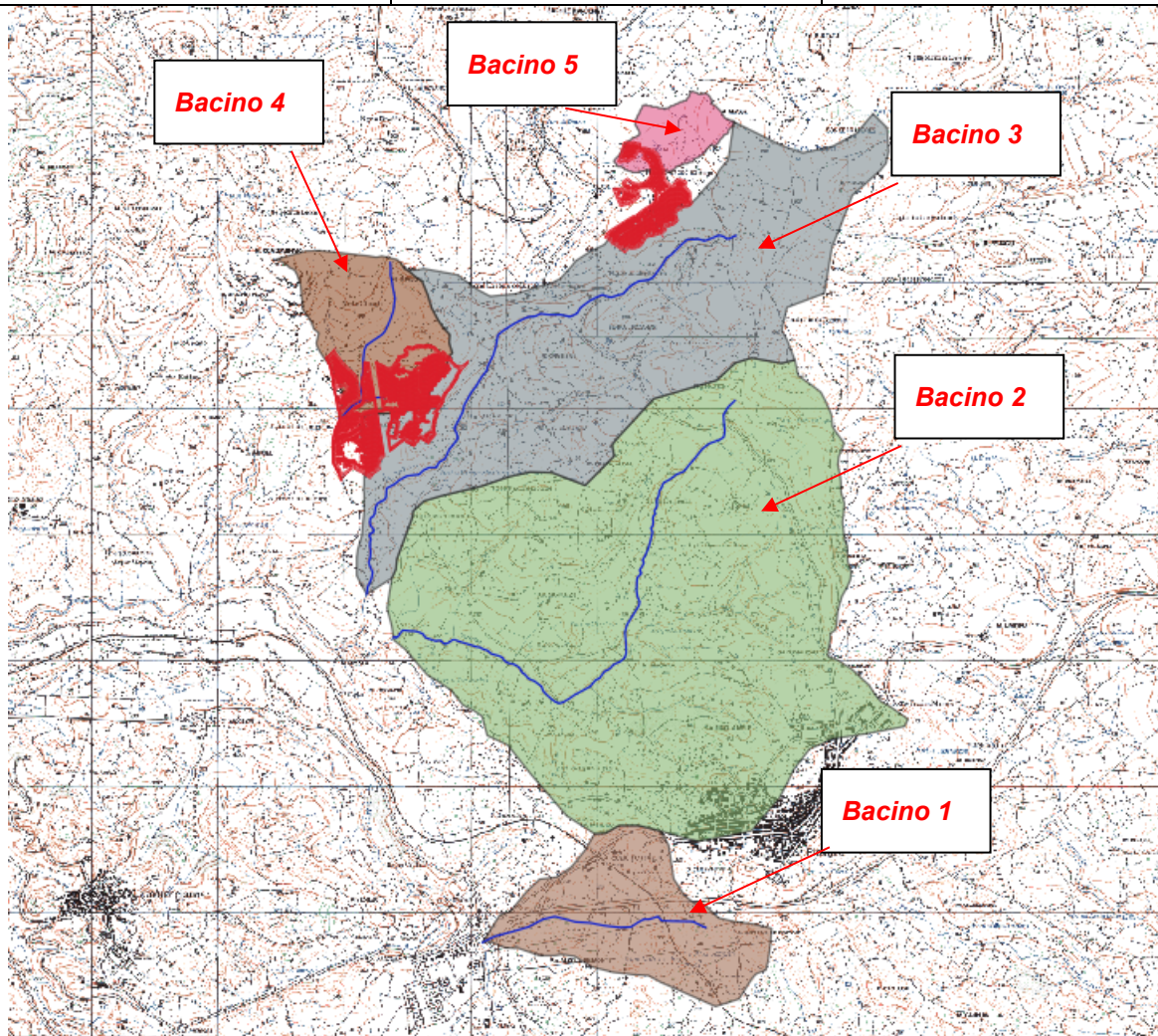
T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
a	18.97	26.33	31.52	38.26	40.43	45.00	47.17	53.91	60.64	69.55	76.29
n	0.31	0.31	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25



**Figura 9 - CPP III Livello di regionalizzazione TCEV**

### 5.3. BACINI IDROGRAFICI DI RIFERIMENTO

Le analisi idrologiche sono state condotte su n.5 bacini, la cui delimitazione è stata definita in funzione delle curve di livello estrapolate dal DTM 10x10, mediante strumentazione GIS, e successivamente rappresentate sulla ortofotocarta. Facendo riferimento alla figura di seguito rappresentata, si riportano le caratteristiche di ciascun bacino.



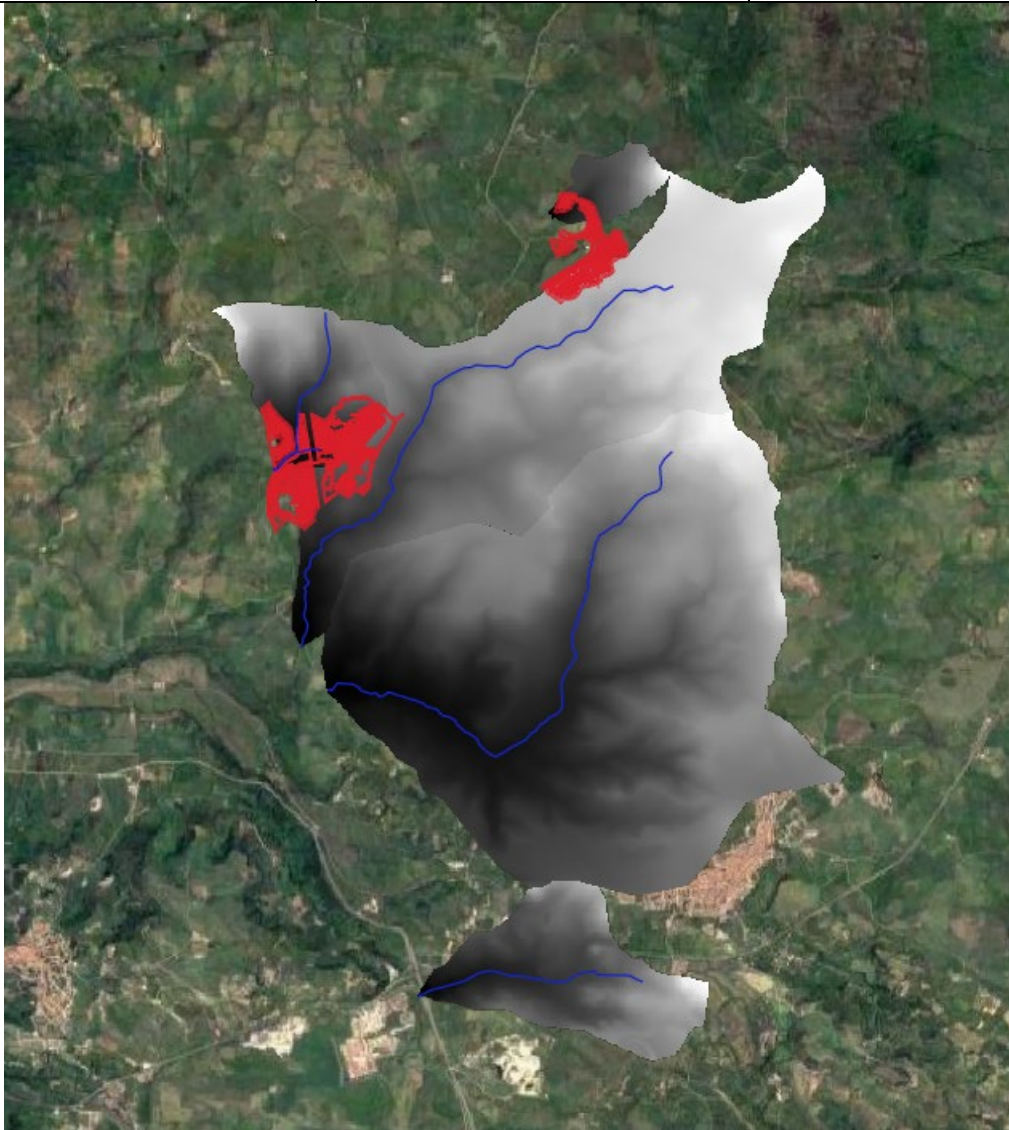
**Figura 10 - Bacini idrografici di riferimento**

**Tabella 2 - Caratteristiche dei bacini**

BACINO	A [mq]	A [Kmq]	L[m]	L [Km]
id	Area del bacino	Area del bacino	Lunghezza asta fluviale	Lunghezza asta fluviale
BACINO 1	1668061.92	1.67	1867.48	1.87
BACINO 2	9838197.2	9.84	4678.78	4.68
BACINO 3	5819448.4	5.82	4813.15	4.81
BACINO 4	1166038.9	1.17	1437.53	1.44
BACINO 5	360000	0.36	780	0.78

### 5.3.1. QUOTE CARATTERISTICHE E PENDENZE DEI BACINI

Per i bacini idrografici rappresentati nel paragrafo precedente sono state ricavate le quote caratteristiche e la pendenza media dei versanti ( $i_v$ ), mediante strumentazione GIS, a partire dal DTM 10 X 10, sfruttando un plugin del software.



**Figura 11 - Estrapolazione DTM del Bacino**

I risultati ottenuti sono stati i seguenti:

**Tabella 3 - Risultati Bacino di riferimento**

BACINO	A [Kmq]	H <sub>max</sub> [m s.l.m]	H <sub>med</sub> [m s.l.m]	H <sub>min</sub> [m s.l.m]
id	Area del bacino	Altitudine massima	Altitudine media	Altitudine minima
BACINO 1	1.67	407.25	341.90	302.79
BACINO 2	9.84	657.69	398.64	247.05
BACINO 3	5.82	680.81	510.72	265.16
BACINO 4	1.17	602.36	456.06	367.05
BACINO 5	0.36	674.00	587.00	540.00

### 5.3.2. PENDENZA MEDIA DEL CORSO D'ACQUA

Il profilo longitudinale delle aste principali dei bacini di riferimento sono state ottenute suddividendo i corpi idrici in una serie di tratti di lunghezza  $L_j$  con pendenza  $i_j$ . L'andamento delle pendenze dell'asta principale e in particolare la pendenza media è stata definita mediante la formula di Taylor-Schwartz.



$$i_m = \frac{L^2}{\left(\sum_i \frac{L_j}{\sqrt{i_j}}\right)^2}$$

I risultati ottenuti sono stati i seguenti:

**Tabella 4 - Calcolo pendenze medie delle aste fluviali**

BACINO	A [mq]	A [Kmq]	L <sub>asta</sub> [m]	L <sub>asta</sub> [km]	i <sub>asta</sub>
BACINO 1	1668061.92	1.67	1867.48	1.87	0.03
BACINO 2	9838197.2	9.84	4678.78	4.68	0.037
BACINO 3	5819448.4	5.82	4813.15	4.81	0.065
BACINO 4	1166038.9	1.17	1437.53	1.44	0.078
BACINO 5	360000	0.36	780	0.78	0.05

### 5.3.3. CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

Per procedere al calcolo della portata di piena ad assegnato tempo di ritorno è stato necessario valutare il tempo di corrivazione, inteso come il tempo impiegato da una goccia d'acqua, caduta nel punto più sfavorito, per raggiungere la sezione di chiusura. Considerate le dimensioni del bacino, la stima di tale parametro è stata effettuata facendo riferimento sia alla formula di Puglisi:

$$t_c = 6L^{\frac{2}{3}} * (H_{max} - H_{min})^{-\frac{1}{3}}$$

in cui  $t_c$  è misurato in ore, L (lunghezza dell'asta principale) in Km,  $H_{max}$  e  $H_{min}$  sono rispettivamente la quota massima e minima del bacino;

Applicando tali formule sono stati ottenuti i seguenti valori di tempo di corrivazione:

**Tabella 5 - Valori tempo di corrivazione espresso in ore**

BACINO	Tc (h)
id	<b>Puglisi</b>
BACINO 1	1.93
BACINO 2	2.26
BACINO 3	2.29
BACINO 4	1.24
BACINO 5	0.95

## 5.4. STIMA DELLE PORTATE

La stima delle portate ad assegnato tempo di ritorno è stata effettuata mediante la formula razionale, il cui approccio si basa sull'utilizzo della curva di possibilità pluviometrica e sull'ipotesi che a parità di tempo di ritorno, la portata al colmo maggiore è prodotta dall'evento la cui durata è identica al tempo di corrivazione.

$$Q = \frac{\Phi i_c A}{3.6}$$

in cui

- $\Phi$  è il coefficiente di deflusso, indicante il rapporto tra i deflussi e gli afflussi [ad]
- $i_c$  è l'intensità di pioggia di un evento avente durata  $d = t_c$  [mm/ora]
- $A$  è la superficie del bacino (o area scolante) [Km<sup>2</sup>]
- $Q$  è la portata al colmo di piena che defluisce alla sezione di chiusura in corrispondenza di un evento di durata  $t_c$  e tempo di ritorno  $T$  [m<sup>3</sup>/s].

### 5.4.1. COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

Considerata la descrizione dei luoghi precedentemente riportata si è deciso di adottare cautelativamente un valore di  $\phi$  pari 0.33, corrispondente a terreni permeabili e soggetti alle pratiche agricole di cui alla tabella di seguito riportata, INSERITA NELLA Deliberazione n.1/2016 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino.

	<i>Valori dimensionali in mm</i>	<b>Sardegna</b>
1922-23 / 1974-75	<b>Afflussi</b>	779.3
	Deflussi	256.4
	<b>A</b> Perdite	522.9
	<b>Coefficiente di deflusso</b>	<b>0.33</b>
1986-87 / 2001-02	<b>B</b> Afflussi	639.0
	Deflussi	121.7
	Perdite	517.3
	Coefficiente di deflusso	0.19

**Figura 12 - Coefficienti di deflusso da letteratura**

### 5.4.2. RISULTATI OTTENUTI

Si riportano di seguito i risultati ottenuti in termini di portata:

**Tabella 6 - Calcolo portate con metodo razionale**

BACINO id	A [mq] Area del bacino	A [Kmq] Area del bacino	tc [h] tempo di corrivazione	Φ coeff. Deflusso	Q <sub>T</sub> [mc/s]			
					50	100	200	500
BACINO 1	1668061.92	1.67	1.93	0.33	4.41	5.03	5.66	6.48
BACINO 2	9838197.19	9.84	2.26	0.33	23.13	26.41	29.68	34.00
BACINO 3	5819448.43	5.82	2.29	0.33	13.53	15.45	17.36	19.89
BACINO 4	1166038.92	1.17	1.24	0.33	4.30	4.91	5.52	6.33
BACINO 4	1166038.92	0.36	0.95	0.33	1.62	1.85	2.08	2.38

## 6. VERIFICHE IDRAULICHE

Nei paragrafi a seguire verranno mostrate le analisi idrauliche in moto permanente monodimensionale, effettuate per i tratti d'asta prossimi alle aree di impianto. Nello specifico, si è proceduto ad effettuare la modellazione dei corsi d'acqua che defluiscono in prossimità dei campi fotovoltaici, come i fossi minori relativi al Bacino 4 denominati Sadde de sa Femina. Le interferenze idrauliche dei primi 3 bacini, d'altronde, non interessano le aree dei campi fotovoltaici ma soltanto i cavidotti di connessione interrati.

Infine, per il Bacino 5, considerate le esigue dimensioni dello stesso, è stato effettuato un dimensionamento di un canale trapezio in terra in moto uniforme applicando la formula di Gauckler-Strickler.

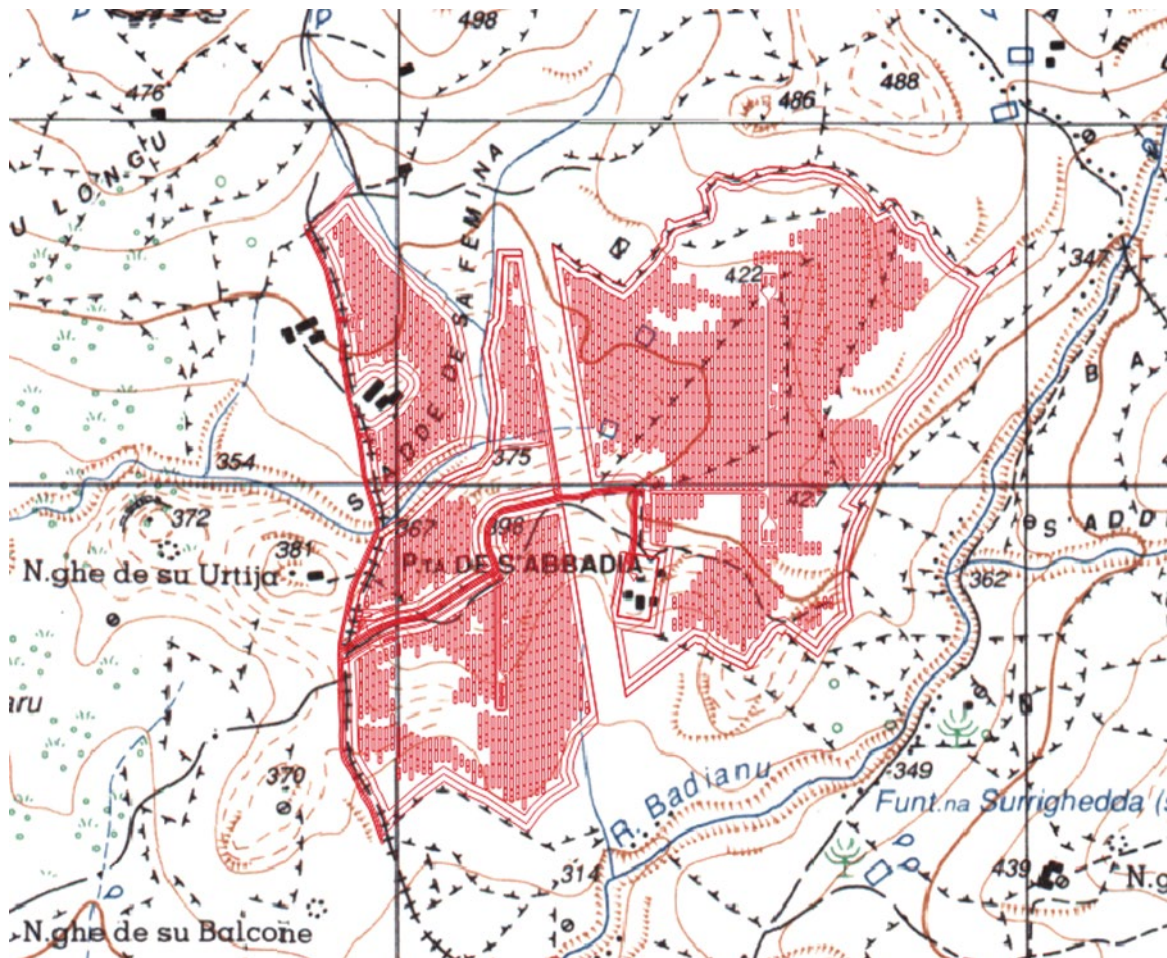


Figura 13 - Sadde de Sa Femina nel contesto dell'impianto fotovoltaico (Bacino 4)

### 6.1. SCELTA DEL TEMPO DI RITORNO

I tempi di ritorno adottati sono i seguenti:

- 50,100,200 e 500 Anni per le verifiche idrauliche dei tratti inerenti al Bacino 4;
- 200 anni per la riprofilatura del canale del Bacino 5.

### 6.2. IL MODELLO HEC RAS

La definizione dei profili di corrente, è stata condotta in moto permanente monodimensionale, utilizzando il codice di calcolo HEC-RAS versione 6.0, sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers. HEC-RAS è l'abbreviazione di Hydrologic Engineering Center's River Analysis System.

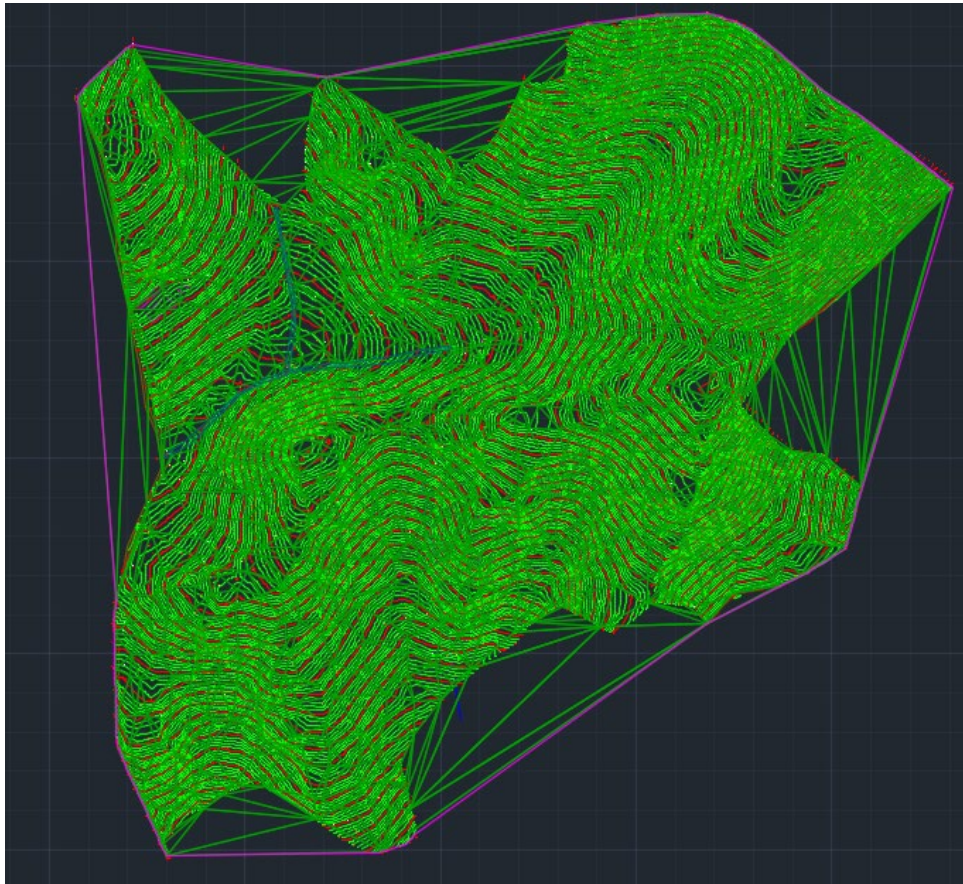
Attraverso il software possono essere analizzate condizioni di moto in corrente lenta, condizioni di moto critiche e condizioni di regime misto. Il codice di calcolo permette di descrivere in maniera dettagliata la geometria delle singole sezioni idrauliche, tenendo conto di scabrezze differenti, non solo in diversi tratti del corso d'acqua, ma anche all'interno della stessa sezione (ad esempio per differenziare le zone golenali e il canale principale). Esso consente inoltre di modellare l'andamento meandriforme di un corso d'acqua, indicando differenti lunghezze del tratto che separano due sezioni adiacenti, sia per la golenale in sponda sinistra, che per la golenale in sponda destra, che per il canale principale. Nello specifico il calcolo dei profili di corrente viene effettuato all'interno del software attraverso la risoluzione dell'equazione dell'energia tra due sezioni consecutive, mediante un processo iterativo (standard step method).

### 6.2.1. LA MODELLAZIONE DI PROGETTO

- GEOMETRIA DELLO STATO DI FATTO

- BACINO 4

La geometria dello stato di fatto è stata modellata sulla base del rilievo effettuato in sito, attraverso il quale è stato possibile estrapolare le curve di livello tridimensionali e procedere alla modellazione del tratto d'asta esistente, previa importazione delle geometrie nel software HEC RAS.



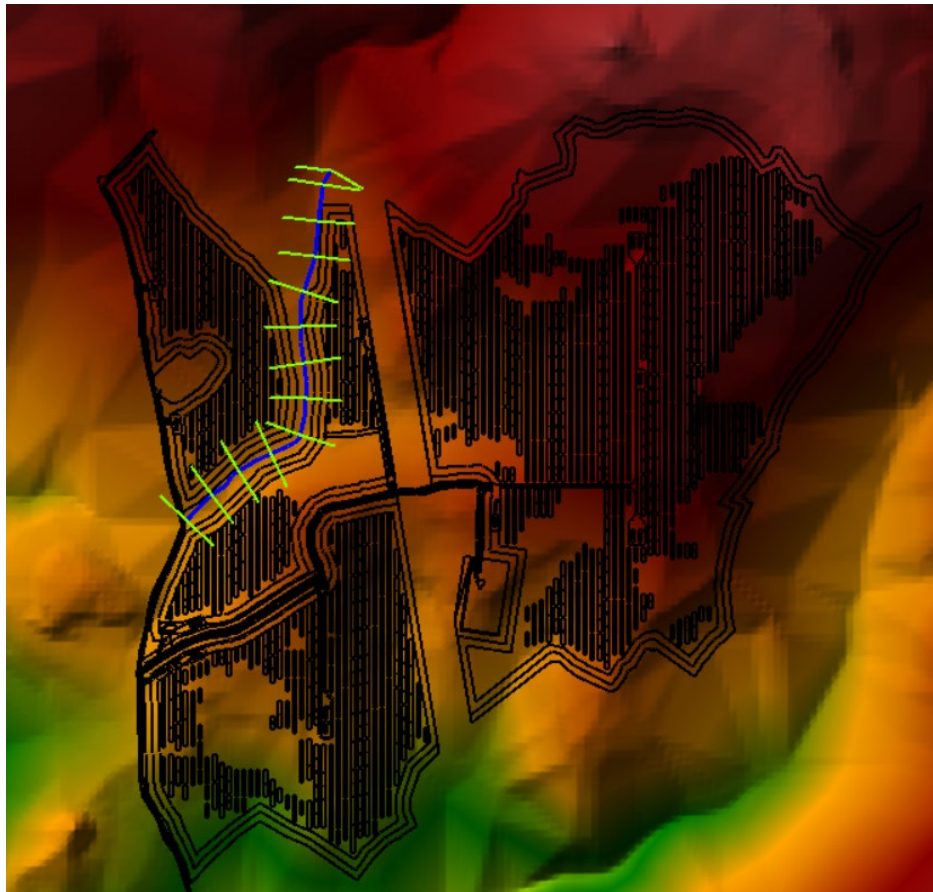
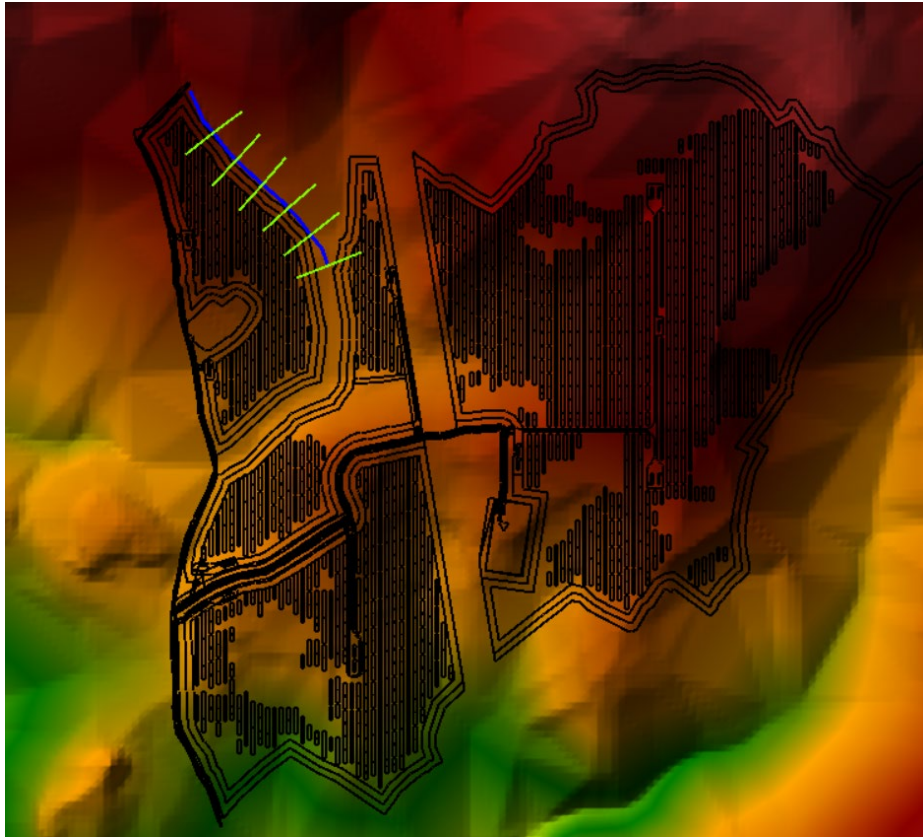


Figura 14 - Modellazione HEC RAS

- SCABREZZE DEI CORSI D'ACQUA

Per la determinazione del coefficiente di scabrezza, si è fatto riferimento alla seguente tabella

tipo di superficie	Minimo	Normale	Massimo
<b>ALVEI DI PIANURA</b>			
non vegetati, rettilinei, corrente regolare	0.025	0.030	0.033
come sopra ma con pietre e alghe	0.030	0.035	0.040
non vegetati, tortuosi con mollienti e rapide	0.033	0.040	0.045
come sopra ma con pietre e alghe	0.035	0.045	0.050
come sopra, in magra	0.040	0.048	0.055
non vegetati, tortuosi, pietre, mollienti e rapide	0.045	0.050	0.060
molto irregolari e alghe molto fitte	0.075	0.100	0.150
<b>ALVEI DI MONTAGNA (SPONDE CON ALBERI E CESPUGLI)</b>			
sul fondo: ghiaia, ciotoli e massi radi	0.030	0.040	0.050
sul fondo: ciotoli e grandi massi	0.040	0.050	0.070
<b>GOLENE E PIANE INONDABILI</b>			
prato senza cespugli, erba bassa	0.025	0.030	0.035
prato senza cespugli, erba alta	0.030	0.035	0.050
campi incolti	0.020	0.030	0.040
coltivazioni a filari	0.025	0.035	0.045
colture di cereali in pieno sviluppo	0.030	0.040	0.050
aree con cespugli sparsi e erba alta	0.035	0.050	0.070
aree con cespugli bassi e alberi, in inverno	0.035	0.050	0.060
aree con cespugli bassi e alberi, in estate	0.040	0.060	0.080
cespugli fitti, in inverno	0.045	0.070	0.110
cespugli fitti, in estate	0.070	0.100	0.160

<b>CANALI CON FONDO IN GHIAIA E SPONDE IN</b>			
lastre di calcestruzzo	0.017	0.020	0.025
pietrame con giunti stilati	0.020	0.023	0.026
scogliera	0.023	0.033	0.036
<b>CANALI IN TERRA NON RIVESTITI</b>			
rettilinei, non vegetati, buona manutenzione	0.016	0.018	0.020
rettilinei, non vegetati, mediocre manutenzione	0.018	0.022	0.025
rettilinei, non vegetati, con ghiaia	0.022	0.025	0.030
rettilinei, poco inerbiti, rare alghe	0.022	0.027	0.033
<b>ALVEI IN TERRA REGOLARIZZATI O ROGGE</b>			
non vegetati	0.023	0.025	0.030
poco inerbiti, rare alghe	0.025	0.030	0.033
molto vegetati, molte alghe	0.028	0.030	0.035
con sponde in pietrame	0.028	0.030	0.035
con sponde ben inerbite	0.025	0.035	0.040
con fondo in ciotoli e sponde non vegetate	0.030	0.040	0.050
<b>CANALI MANTENUTI CON DRAGAGGIO</b>			
non vegetati	0.025	0.028	0.033
poco inerbiti, rare alghe	0.035	0.050	0.060
<b>ALVEI IN ROCCIA</b>			
con sezione ben regolarizzata	0.025	0.035	0.040
irregolari	0.035	0.040	0.050
<b>CANALI IN TERRA RINATURALIZZATI (CON ALGHE E CESPUGLI)</b>			
con sezione interamente occupata da alghe	0.050	0.080	0.120
con rare alghe e sponde mediamente cespugliate	0.045	0.070	0.110
con alghe e sponde fortemente cespugliate	0.080	0.100	0.140

Considerati lo stato di fatto e le soluzioni progettuali sopra riportate, l'analisi è stata svolta adottando i seguenti coefficienti di Manning:

**Tabella 7 - Valori di scabrezza adottati**

MODELLAZIONE	CANALE CENTRALE	SPONDE DX, SX	Tratti rivestiti in cls
STATO DI FATTO	0.033 m <sup>1/3</sup> /s	0.040 m <sup>1/3</sup> /s	0.015 m <sup>1/3</sup> /s

- CONDIZIONI AL CONTORNO

Come condizioni al contorno si è deciso di definire sia a monte che a valle una "normal depth" ovvero un valore noto di pendenza dell'energia, approssimativamente assunto pari alla pendenza di fondo alveo nelle sezioni più a monte e più a valle del tratto oggetto di intervento.

- PORTATE STATO DI FATTO E DI PROGETTO

Come portate di riferimento sono state adottate quelle di cui al paragrafo 5.4.2.

- BACINO 5

Allo stato attuale, da un punto di vista idraulico, l'impluvio non presenta un vero e proprio corpo idrico come da foto allegate:



**Figura 15 - Foto relative all'impluvio del Bacino 5; si nota l'assenza di un canale**

Pertanto, al fine di rendere sicuro l'impluvio, è stato ripristinato il fosso in terra prevedendo dimensioni trapezie pari a larghezza di base  $B=0.60\text{m}$  e altezza variabile fino a  $h=0.60\text{m}$  con sponde a  $45^\circ$  e pendenza del canale pari a quella dell'asta (5%). Il dimensionamento della sezione di riprofilatura è stato effettuato facendo riferimento alla formula di moto uniforme di Gauckler-Strickler:

$$Q = K * A * R^{\frac{2}{3}} * i^{0.5}$$

Dove

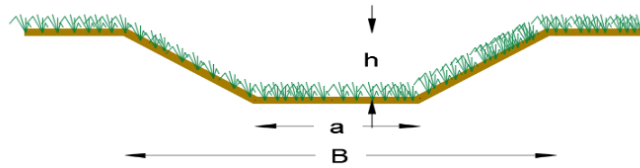
- K è un coefficiente di scabrezza, assunto pari a 33 per i fossi in terra [ $\text{m}^{\frac{1}{3}}/\text{s}$ ];
- A è l'area della sezione idraulica [ $\text{m}^2$ ];
- i è la pendenza del canale;
- R è il raggio idraulico [m];

Considerando una sezione tipo a geometria trapezia e una pendenza longitudinale pari a 0.05 e una portata di riferimento  $T=200$  anni, sono state verificate le dimensioni di progetto:

**Tabella 8 - Verifica sezione trapezia per Q200**

a [m]	h [m]	B [m]	A [mq]	P [m]	R [m]	K [m <sup>1/3</sup> /s]	i	Q [mc/s]
0.6	0.6	1.6	0.55	2.01	0.27	33	0.05	2.06





**Figura 16 - Sezione Trapezia tipo**

Le dimensioni di cui alla Tabella 6 saranno prese come riferimento per l'eventuale ripristino dell'efficienza idraulica dei fossi esistenti.

### **6.2.2. RISULTATI DELLE MODELLAZIONI**

I risultati delle modellazioni sono riportati nella sezione allegati.

## 7. RISULTATI E CONCLUSIONI

Come meglio descritto all'interno della seguente relazione, l'impianto di progetto è ubicato a Nord-dei comuni di Ploaghe e Codrongianos, in provincia di Sassari. Il reticolo idraulico è costituito da una serie di fossi minori, alcuni dei quali interferiscono con tratti del cavidotto interrato; altri defluiscono in prossimità degli impianti. Considerata l'ubicazione planimetrica rispetto all'area di impianto, si è proceduto ad effettuare la modellazione per un tratto d'asta Sadde de Sa Femina, che defluisce nei pressi dell'intervento. Da quanto emerso dalle modellazioni in moto permanente monodimensionale, i deflussi con tempo di ritorno 50, 100, 200 e 500 anni non interferiscono con le aree pannellate di impianto.

- ASTA EST BACINO 4



Figura 17 - Simulazione T=50 anni Asta Est Bacino 4



**Figura 18 - Simulazione T=100 anni Asta Est Bacino 4**



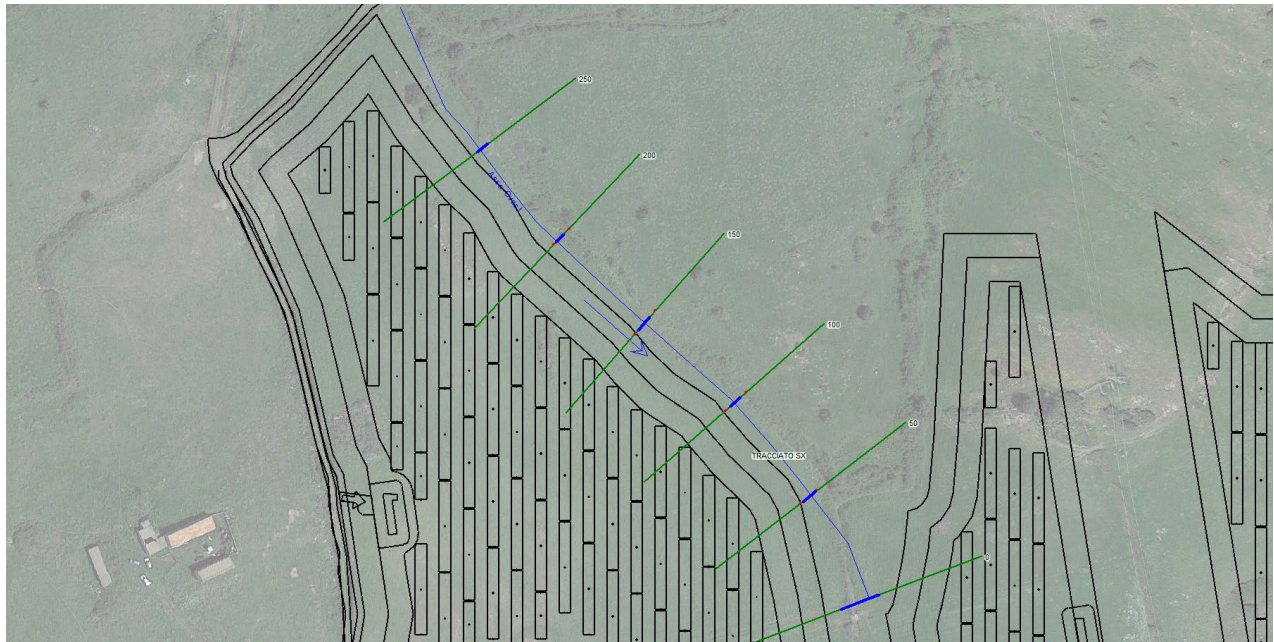
**Figura 19 - Simulazione T=200 anni Asta Est Bacino 4**



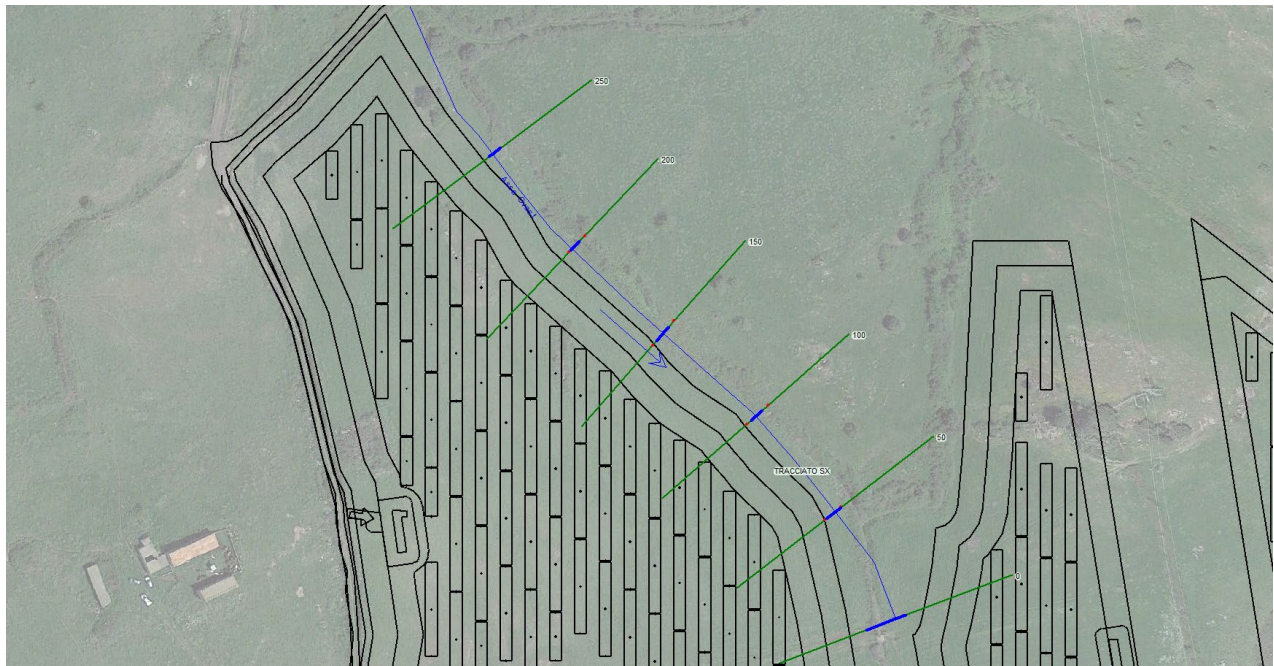
**Figura 20 - Simulazione T=500 anni Asta Est Bacino 4**

Per l'asta Est del Bacino 4, alcune sezioni (350-200-100-50) le acque interessano la zona oggetto di intervento. In tali sezioni, d'altronde, vengono interessate le opere di mitigazione con un tirante pari a circa 30 cm, ritenuti accettabili per la mitigazione ambientale.

- ASTA OVEST BACINO 4



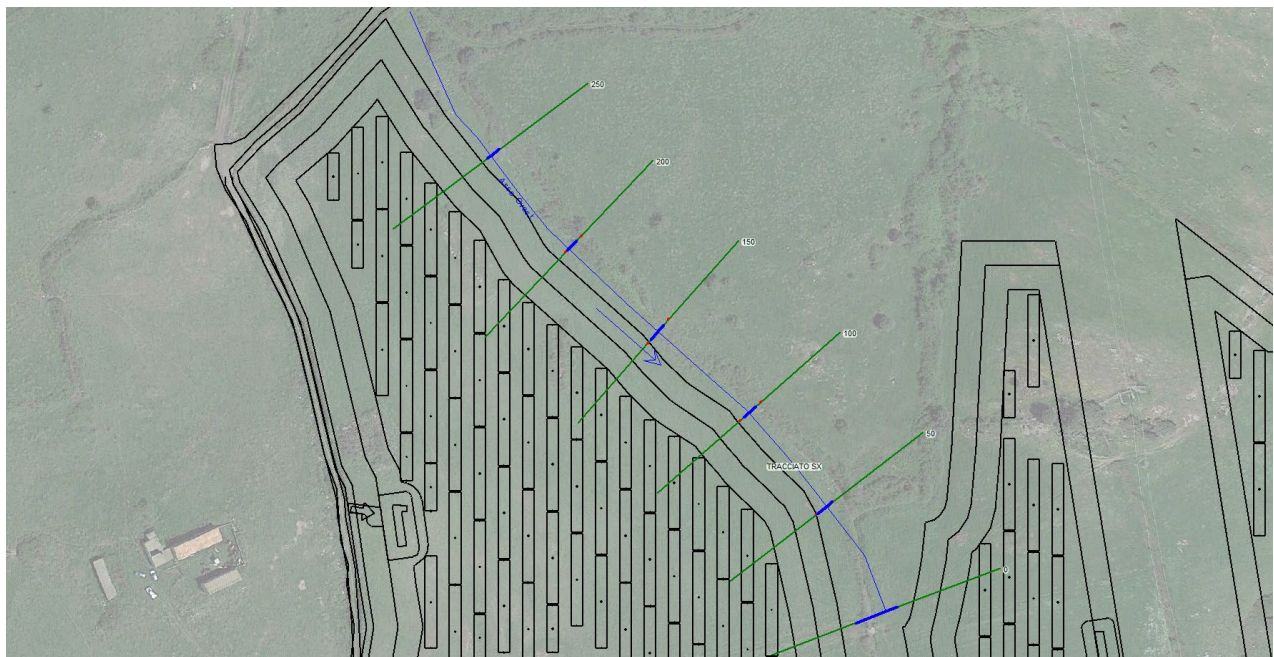
**Figura 21 - Simulazione T=50 anni Asta Ovest Bacino 4**



**Figura 22 - Simulazione T=100 anni Asta Ovest Bacino 4**



**Figura 23 - Simulazione T=200 anni Asta Ovest Bacino 4**



**Figura 24 - Simulazione T=500 anni Asta Ovest Bacino 4**

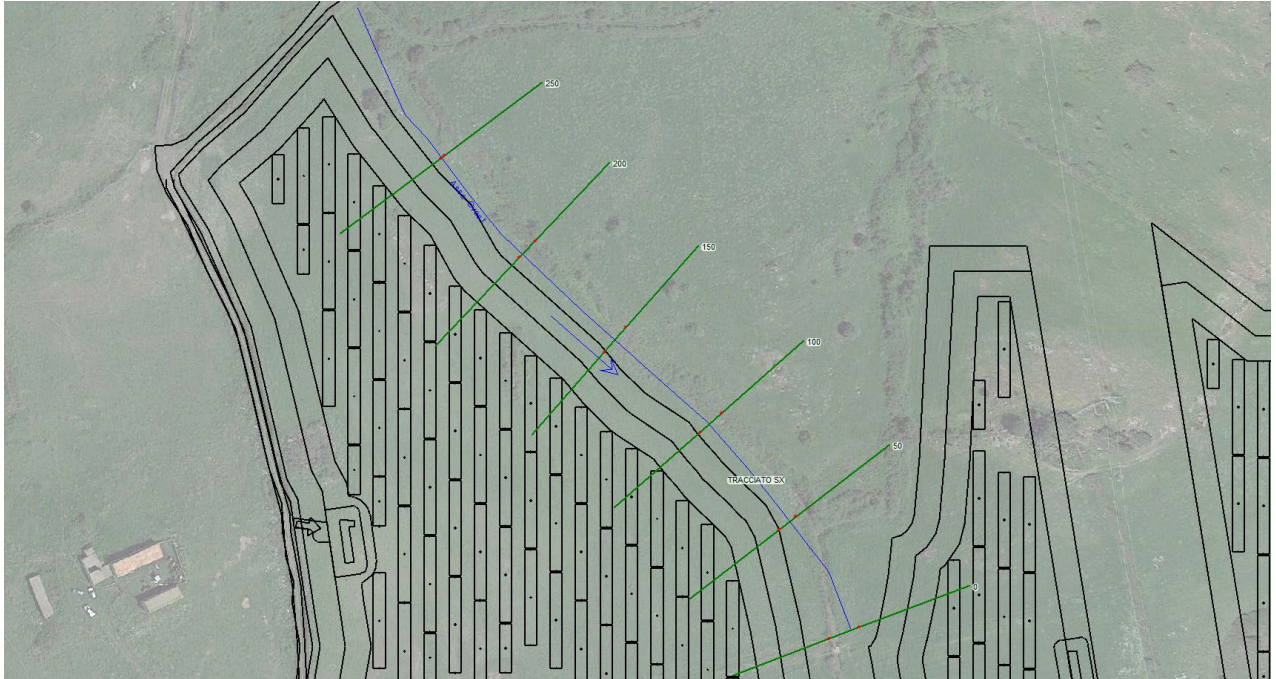
Per l'asta Ovest, in nessuna sezione e per nessun tempo di ritorno vengono interessate le aree oggetto di intervento.

In merito alle interferenze del cavidotto con tratti del reticolo esistente (BACINO 1 2 e 3), lo stesso, essendo interrato e staffato/ancorato alle strutture esistenti in corrispondenza dei punti di attraversamento, non costituisce un ostacolo al libero deflusso delle acque o un peggioramento dell'attuale livello di rischio. In fase di realizzazione dell'opera, dovranno essere effettuati tutti gli studi necessari per poter definire le attività di cantiere in modo da non comportare incrementi delle condizioni di pericolosità/rischio durante l'esecuzione dei lavori.

## 8. ALLEGATI

### 8.1. RISULTATI MODELLAZIONI IN MOTO PERMANENTE MONODIMENSIONALE

ASSE OVEST



ASSE EST

