

MARTE S.R.L.



Via degli Arredatori, 8 – 70026 Modugno - Italy  
www.bfpgroup.net - info@bfpgroup.net  
tel. (+39) 0805046361  
UNI EN ISO 9001:2015 - UNI EN ISO 14001:2015 UNI  
ISO 45001:2018

GRE CODE

GRE.EEC.R.21.IT.P.16703.00.057.01

PAGE

1 di/of 25

TTITLE: Relazione idrologica

AVAILABLE LANGUAGE: ITA

# IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI NULVI

## Progetto definitivo

## Relazione idrologica

File: GRE.EEC.R.21.IT.P.16703.00.057.01 Relazione idrologica.docx

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
01	12/09/2022	Revisione	BFP Matarrese	BFP Miglionico	BFP Biscotti
00	20/07/2022	Emissione	BFP Matarrese	BFP Miglionico	BFP Biscotti

### GRE VALIDATION

Name (GRE)	Competence Center EGP	PE EGP
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT Nulvi	GRE CODE																		
	GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT			SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION							
GRE	EEC	R	2	1	I	T	P	1	6	7	0	3	0	0	0	5	7	0	1

CLASSIFICATION	UTILIZATION SCOPE
----------------	-------------------

This document is property of Enel Green Power S.p.A. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power S.p.A.

**INDICE**

1. PREMESSA .....	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....	5
4. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO.....	6
5. ANALISI IDROLOGICA .....	14
5.1. ANALISI MORFOLOGICA.....	14
5.2. CRITERI GENERALI PER LA STIMA DELLE PORTATE AL COLMO.....	16
5.3. ANALISI PLUVIOMETRICA.....	16
5.4. METODO SCS-CN PER IL CALCOLO DELLA PIOGGIA NETTA.....	23
5.5. METODO SCS PER LA DEFINIZIONE DELLE PORTATE AL COLMO DI PIENA.....	23
6. CONCLUSIONI .....	25

**1. PREMESSA**

La presente relazione idrologica è relativa al progetto di realizzazione di un impianto fotovoltaico da realizzarsi nel territorio comunale di Nulvi (SS) e delle relative opere ed infrastrutture connesse da realizzarsi nei comuni di Nulvi, Sedini e Tergu (SS).

Il progetto prevede la realizzazione delle seguenti opere:

- Impianto fotovoltaico della potenza di 10,987 MW;
- Due cabine di consegna in prossimità dell'impianto fotovoltaico;
- Una cabina di sezionamento nel comune di Sedini;
- cavidotto interrato MT di connessione fino alla cabina primaria esistente a Tergu.

Lo studio di compatibilità idraulica, previsto all'art. 24 delle NTA del PAI, ha lo scopo di:

- valutare il progetto in riferimento agli effetti ambientali;
- analizzare le relazioni tra le trasformazioni del territorio derivanti dalla realizzazione dell'intervento proposto e le condizioni dell'assetto idraulico e del dissesto idraulico attuale e potenziale dell'area interessata;
- verificare e dimostrare la coerenza del progetto con le previsioni e norme del PAI;
- prevedere eventuali misure di mitigazione e compensazione all'eventuale incremento della pericolosità idraulica e del rischio associato agli interventi in progetto.

Lo studio, redatto ai sensi dell'Allegato E delle N.T.A. del P.A.I. "*Criteria per la predisposizione degli studi di compatibilità idraulica di cui all'art. 24 delle norme di attuazione del PAI*", comprende l'analisi idrologica finalizzata alla definizione delle portate di piena per i diversi tempi di ritorno relative al bacino di studio, completa di caratterizzazione idrogeologica del bacino stesso, nonché l'analisi idraulica consistente nella modellazione monodimensionale dell'asta fluviale, che porta alla determinazione dei tiranti idrici nelle varie sezioni di analisi e del profilo idraulico.

**2.       NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Il Piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico del bacino unico della Regione Sardegna (in seguito denominato PAI) è redatto, adottato e approvato ai sensi:

- della legge 18.5.1989, n. 183, "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo", ed in particolare dei suoi articoli 3, 17, 18, 20, 21 e 22;
- dell'articolo 1, commi 1, 4, 5 e 5-bis, del decreto legge 11.6.1998, n. 180, "Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania", convertito con modificazioni dalla legge 3.8.1998, n. 267;
- dell'articolo 1-bis, commi 1-4, del decreto legge 12.10.2000, n. 279, "Interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato e in materia di protezione civile, nonché a favore di zone colpite da calamità naturali", convertito con modificazioni dalla legge 11.12.2000, n. 365;
- del D.P.C.M. 29 settembre 1998, "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180";
- della legge della Regione Sardegna 22.12.1989, n. 45, "Norme per l'uso e la tutela del territorio regionale", e successive modifiche e integrazioni, tra cui quelle della legge regionale 15.2.1996, n.9.

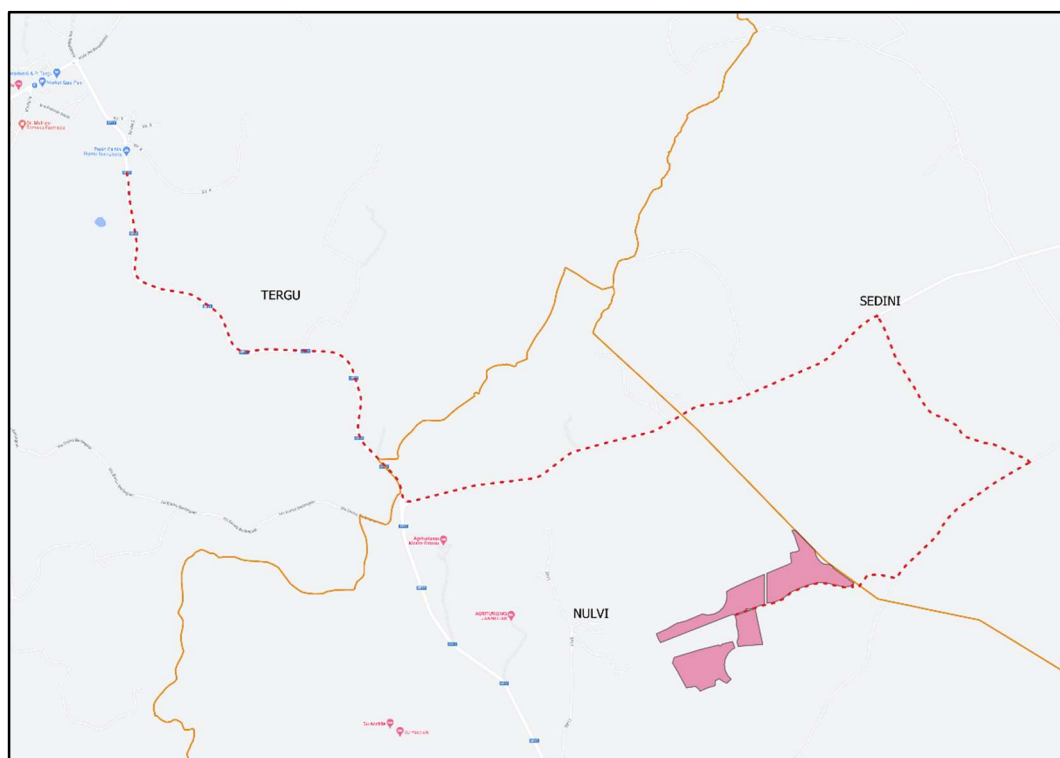
Il PAI si applica nel bacino idrografico unico regionale della Regione Sardegna, corrispondente all'intero territorio regionale, comprese le isole minori, che ai sensi della Deliberazione della Giunta regionale n. 45/57 del 30.10.1990 è suddiviso nei seguenti sette sottobacini: sub-bacino n.1 Sulcis, sub-bacino n.2 Tirso, sub-bacino n.3 Coghinas-Mannu-Temo, sub-bacino n.4 Liscia, sub-bacino n.5 Posada-Cedrino, sub-bacino n.6 Sud-Orientale, sub-bacino n.7 Flumendosa-Campidano-Cixerri.

Il PAI:

- a) prevede nel Titolo II delle presenti norme linee guida, indirizzi, azioni settoriali, norme tecniche e prescrizioni generali per la prevenzione dei pericoli e dei rischi idrogeologici nel bacino idrografico unico regionale e nelle aree di pericolosità idrogeologica;
- b) disciplina le aree di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1) perimetrate nei territori dei Comuni indicati nell'Allegato A;
- c) disciplina le aree di pericolosità da frana molto elevata (Hg4), elevata (Hg3), media (Hg2) e moderata (Hg1) perimetrate nei territori dei Comuni indicati nell'Allegato B;
- d) disciplina le aree a rischio idraulico molto elevato (Ri4), elevato (Ri3), medio (Ri2) e moderato (Ri1) perimetrate nei territori dei Comuni rispettivamente indicati nell'Allegato C;
- e) disciplina le aree a rischio da frana molto elevato (Rg4), elevato (Rg3), medio (Rg2) e moderato (Rg1) perimetrate nei territori dei Comuni rispettivamente indicati nell'Allegato D.

**3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE**

L'area oggetto di studio si colloca a nord del territorio comunale di Nulvi, a circa 5 km dal centro abitato di Nulvi, in provincia di Sassari. L'impianto è collocato ad un'altitudine media di ca. 450 m s.l.m. ed è individuabile dalle seguenti coordinate geografiche: Latitudine 40°50'23.54"N e Longitudine 8°45'26.78"E.



- Area impianto
- - - CAVIDOTTO
- area fotovoltaico
- Confini
- 09\_COMUNE
- Google Road

*Figura 1: Inquadramento area Impianto fotovoltaico e cavidotto di connessione*

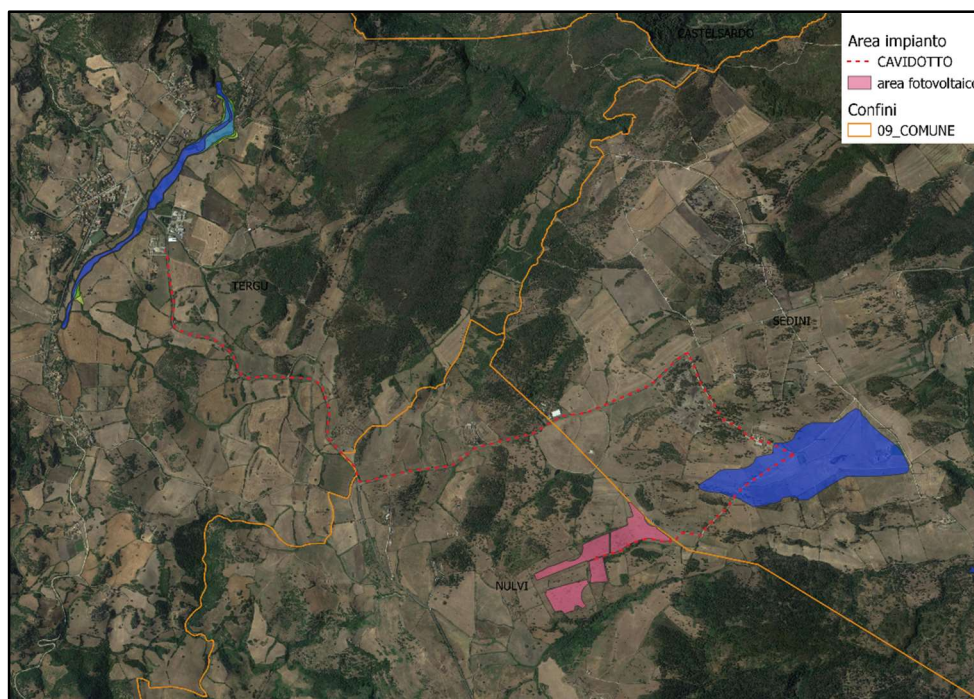
Il punto di connessione, la Cabina Primaria (CP) Tergu, dista circa 3,8 km in linea d'aria dall'impianto. Il cavidotto di connessione che corre principalmente su strade pubbliche esistenti, prevalentemente sulla SP n.17 e SP n.143, attraversa i seguenti territori comunali oltre a quello di Nulvi: Sedini (SS) e Tergu (SS).

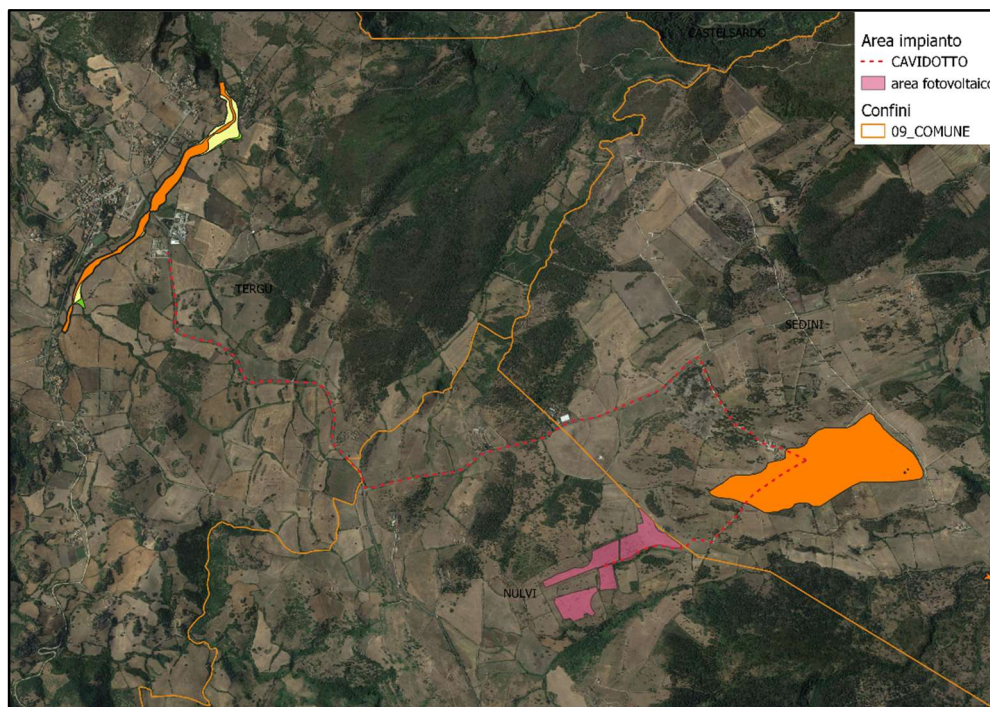
#### 4. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

Il **Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)** disciplina:

- All'art. 27 "Aree a pericolosità idraulica molto elevata (Hi4)" con  $Tr < 50$  anni;
- All'art. 28 "Aree a pericolosità idraulica elevata (Hi3)" con  $50 \text{ anni} < Tr < 100$  anni;
- All'art. 29 "Aree a pericolosità idraulica media (Hi2)" con  $100 \text{ anni} < Tr < 200$  anni;
- All'art. 30 "Aree a pericolosità idraulica moderata (Hi1)" con  $200 \text{ anni} < Tr < 500$  anni;
- All'art. 30bis "Aree di esondazione individuate con la sola analisi geomorfologica";
- All'art. 30ter "Identificazione delle aree di pericolosità quale misura di prima salvaguardia".

Secondo le perimetrazioni del PAI, il cavidotto di connessione attraversa un'area caratterizzata da pericolo idraulico Hi4 e rischio idraulico Ri3.





## Pericolo\_Idraulico\_Rev41



## Rischio\_Idraulico\_Rev41

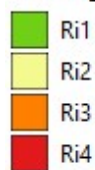


Figura 2: Perimetrazioni delle aree a pericolosità idraulica e rischio idraulico

Ai sensi dell'art.27 "Disciplina delle aree di pericolosità idraulica molto elevata (**Hi4**)" delle NTA del PAI:

[...] 3. In materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata sono consentiti esclusivamente:

- a. *interventi di manutenzione ordinaria;*
- b. *interventi di manutenzione straordinaria;*
- c. *gli interventi di adeguamento per l'integrazione di innovazioni tecnologiche;*
- d. *gli interventi di adeguamento per la sicurezza di esercizio richiesti da norme nazionali e regionali;*
- e. *gli interventi di ampliamento e ristrutturazione di infrastrutture a rete e puntuali riferite a servizi pubblici essenziali non delocalizzabili, che siano privi di alternative progettuali tecnicamente ed economicamente sostenibili e siano dichiarati essenziali;*
- f. *la ricostruzione di infrastrutture a rete distrutte o danneggiate da calamità naturali;*
- g. *le nuove infrastrutture a rete o puntuali previste dagli strumenti di pianificazione territoriale e dichiarate essenziali e non localizzabili;*
- h. *allacciamenti a reti principali e nuovi sottoservizi a rete interrati lungo tracciati stradali esistenti, ed opere connesse compresi i nuovi attraversamenti;*

- i. i nuovi interventi di edilizia cimiteriale purché realizzati nelle porzioni libere interne degli impianti cimiteriali esistenti;
- j. nuove infrastrutture, strutture di servizio ed insediamenti mobili, preferibilmente provvisori, destinati ad attrezzature per il tempo libero, la fruizione occasionale dell'ambiente naturale, le attività sportive e gli spettacoli all'aperto.

Lo studio di compatibilità idraulica di cui all'art. 24 è richiesto per gli interventi di cui al comma 3 suddetto per le lettere e, f, g, h, i, j.

Secondo le perimetrazioni derivanti da specifici studi comunali di assetto idrogeologico concernenti la pericolosità e il rischio idraulico per gli elementi idrici appartenenti al reticolo idrografico regionale, ai sensi dell'art. 8 delle NTA del PAI, il cavidotto di connessione attraversa un'area caratterizzata da pericolo idraulico Hi4 e Hi1.

## Art8C2\_Hi\_V09

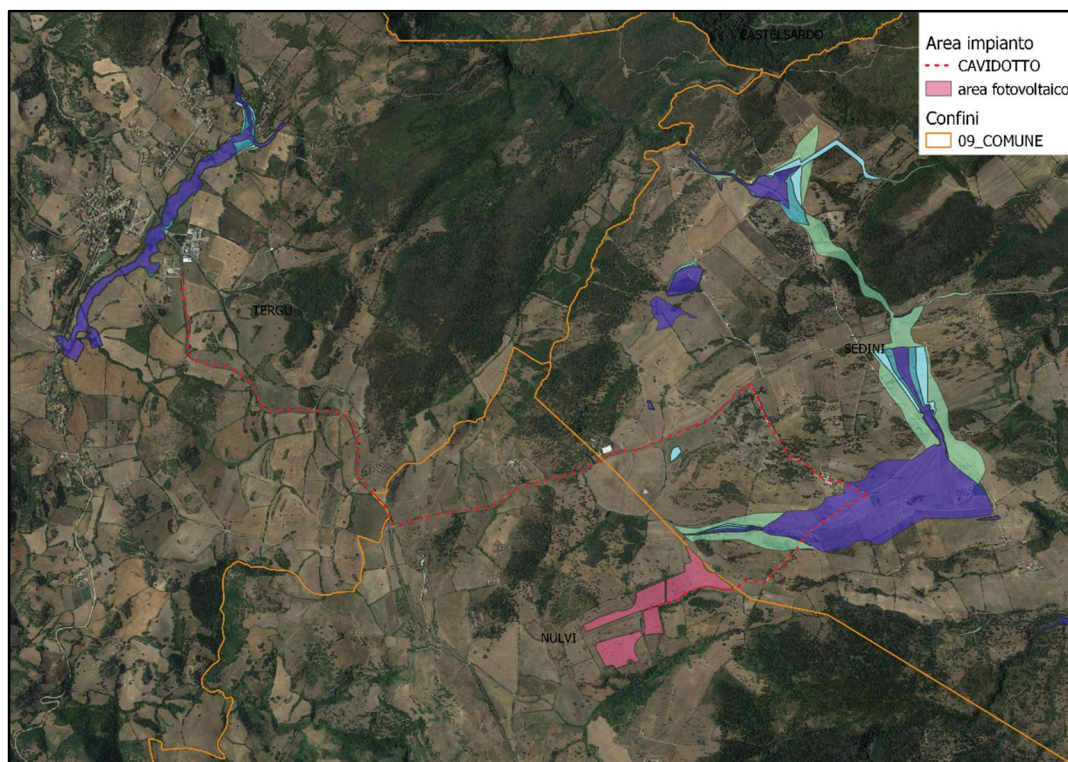
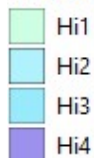


Figura 3: Perimetrazioni delle aree a pericolosità idraulica secondo l'art. 8 delle NTA del PAI

Per tali aree si applicano le norme degli articoli 27, 28, 29 e 30 per i corrispondenti tempi di ritorno e livelli di pericolosità.

Ai sensi dell'art. 30ter "Identificazione e disciplina delle aree di pericolosità quale misura di prima Salvaguardia" delle N.T.A. del P.A.I.:

1. Per i singoli tratti dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico dell'intero territorio



regionale per i quali non siano state ancora determinate le aree di pericolosità idraulica, con esclusione dei tratti le cui aree di esondazione sono state determinate con il solo criterio geomorfologico di cui all'articolo 30 bis, quale misura di prima salvaguardia finalizzata alla tutela della pubblica incolumità, è istituita una fascia su entrambi i lati a partire dall'asse, di profondità L variabile in funzione dell'ordine gerarchico del singolo tratto:

ordine gerarchico (numero di Horton- Strahler)	profondità L (metri)
1	10
2	25
3	50
4	75
5	100
6	150
7	250
8	400

- 2. Per le opere e per gli interventi da realizzare all'interno della fascia di cui al comma 1, i Comuni, anche su istanza dei proponenti, sono tenuti ad effettuare apposito studio idrologico-idraulico volto a determinare le effettive aree di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1); tale studio, obbligatorio per i tratti di ordine maggiore di due, dovrà contemplare i corsi d'acqua interessati nella loro interezza o almeno i tronchi degli stessi idraulicamente significativi in relazione alle opere e agli interventi da realizzare.*
- 3. Anche in assenza degli studi di cui al comma 2, nelle aree interne alla fascia di cui al comma 1, sono consentiti gli interventi previsti dall'articolo 27 delle NTA.*
- 4. Gli studi di cui al comma 2 sono approvati dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino e per le aree a pericolosità idraulica così determinate si applicano le relative norme di salvaguardia di cui all'art. 65, comma 7 del Decreto Legislativo 152/2006.*

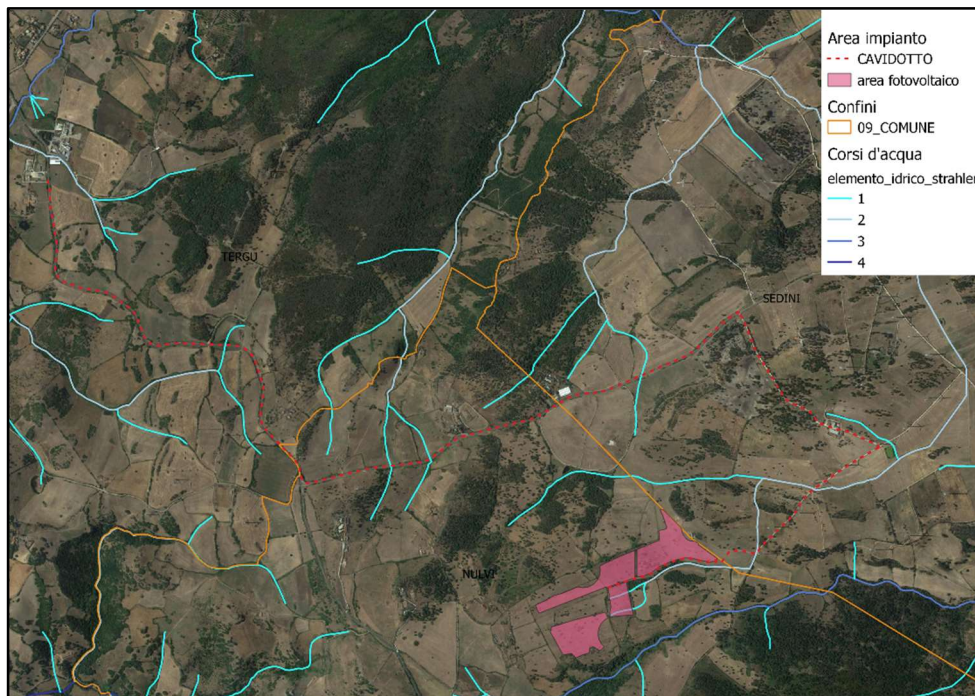
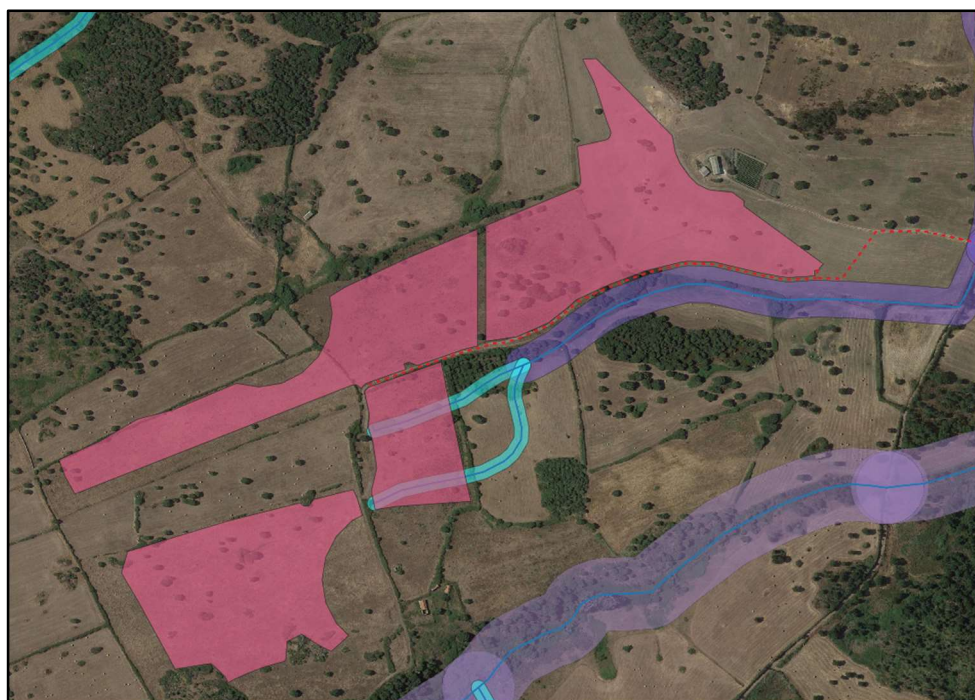


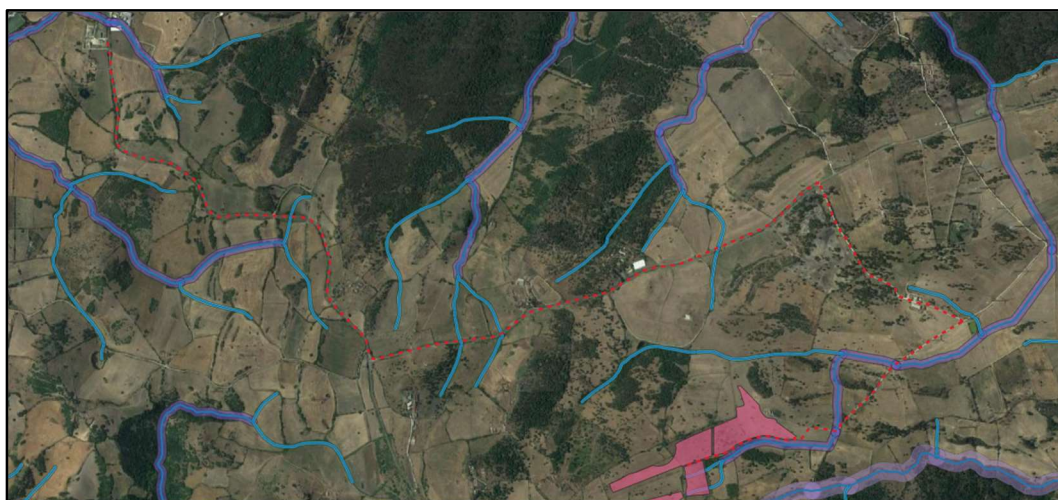
Figura 4: Elementi idrici Strahler

Le fasce di rispetto per i reticoli in prossimità dell'impianto fotovoltaico, secondo l'art. 30ter, sono di 10, 25 e 50 metri, rispettivamente per un numero di Strahler pari a 1, 2 e 3.



- PAI\_elemento idrico 1\_buffer 10m
- PAI\_elemento idrico 2\_buffer 25m
- PAI\_elemento idrico 3\_buffer 50m

Figura 5: Fasce di rispetto per gli elementi idrici di studio per l'area di impianto fotovoltaico



PAI\_elemento idrico 1\_buffer 10m  
 PAI\_elemento idrico 2\_buffer 25m

Figura 6: Fasce di rispetto per gli elementi idrici di studio per il cavidotto

L'area di impianto fotovoltaico è interessata unicamente dalla perimetrazione della fascia per due elementi idrici di ordine Strahler pari a 1, per i quali, secondo l'art. 30ter, comma 2 soprariportato, non è richiesto uno specifico studio di compatibilità idraulica.

I buffer di 10 m per l'elemento idrico con Strahler n.1 sono stati considerati come area d'esclusione per l'installazione dei moduli fotovoltaici.

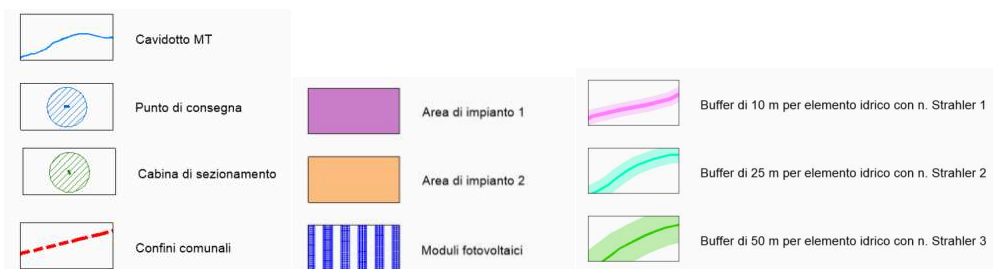
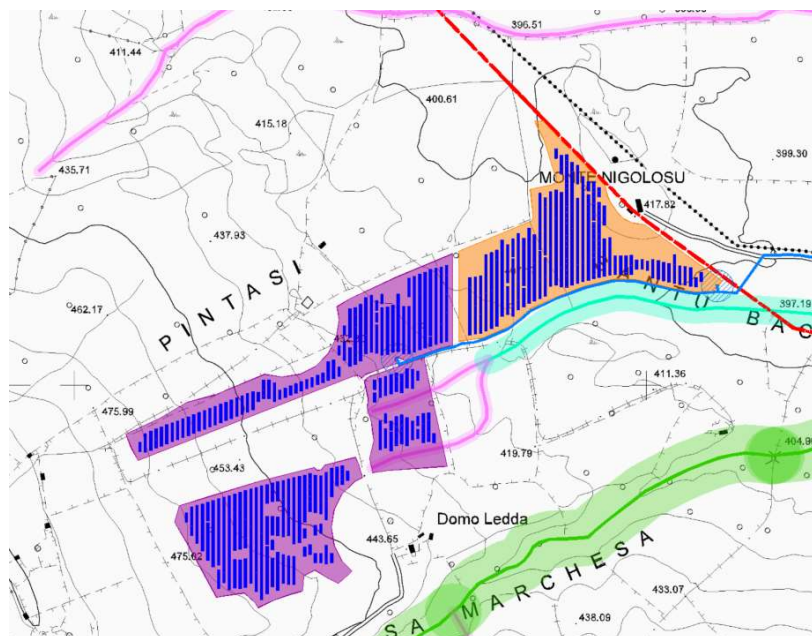


Figura 7 – Stralcio di inquadramento dell'area d'impianto rispetto ai reticoli idrografici

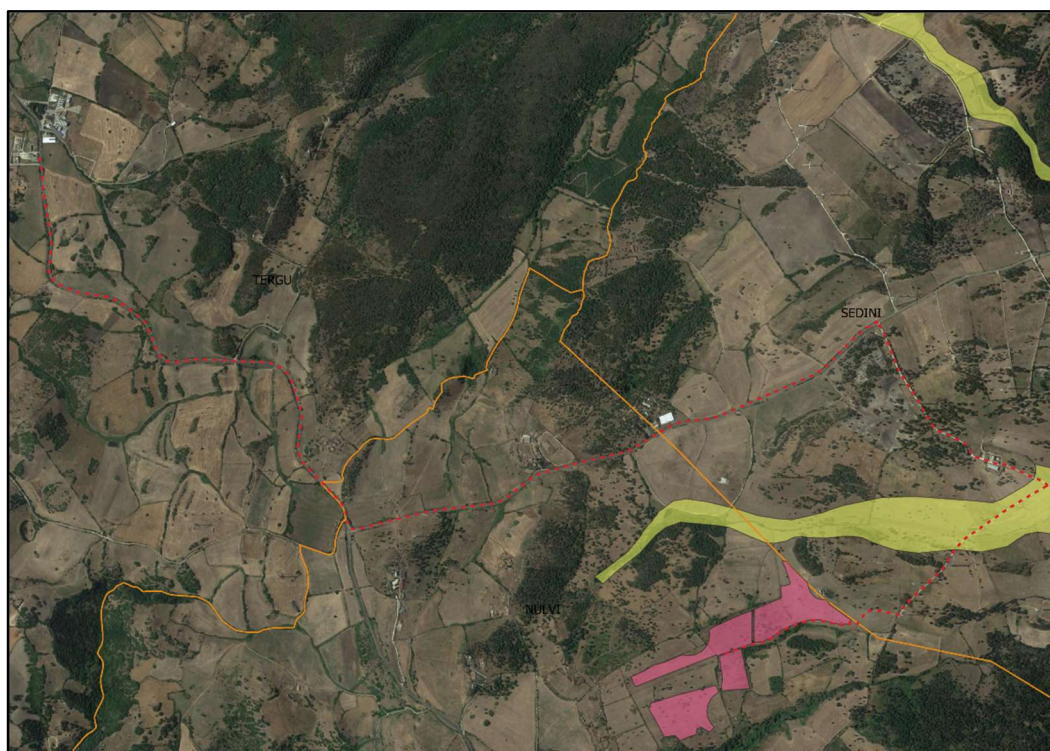
Il **Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)** è redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6 della legge 19 maggio 1989 n. 183, quale Piano Stralcio del Piano di Bacino Regionale relativo ai settori funzionali individuati dall'art. 17, comma 3 della L. 18 maggio 1989, n. 183.

Il PSFF ha valore di Piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo, mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti le fasce fluviali. Il PSFF costituisce un approfondimento ed una integrazione necessaria al Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) in quanto è lo strumento per la delimitazione delle regioni fluviali funzionale a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il conseguimento di un assetto fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli ed industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali.

Per tutti i corsi d'acqua analizzati dal P.S.F.F. sono state individuate le seguenti fasce d'inondazione:

- Fascia A2: aree inondabili con tempo di ritorno  $T=2$  anni (pericolosità  $Hi_4$  del P.A.I.);
- Fascia A50: aree inondabili con tempo di ritorno  $T=50$  anni (pericolosità  $Hi_4$  del P.A.I.);
- Fascia B100: aree inondabili con tempo di ritorno  $T=100$  anni (pericolosità  $Hi_3$  del P.A.I.);
- Fascia B200: aree inondabili con tempo di ritorno  $T=200$  anni (pericolosità  $Hi_2$  del P.A.I.);
- Fascia C: aree inondabili con tempo di ritorno  $T=500$  anni o superiore, comprensiva anche di eventi storici eccezionali, e, nel caso siano più estese, comprendenti anche le aree storicamente inondate e quelle individuate mediante analisi geomorfologica.

L'area di impianto fotovoltaico e la sottostazione non sono interessate da tali perimetrazioni, mentre il cavidotto ricade parzialmente in Fascia geomorfologica C, come di seguito illustrato.



## PSFF\_2015

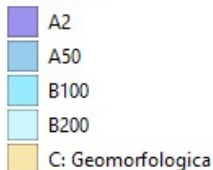


Figura 8: Perimetrazioni del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali

Ai sensi dell'art.2 della DELIBERAZIONE N.2 DEL 17.12.2015:

*[...] le aree di pericolosità idraulica individuate dal solo PSFF sono assoggettate alle vigenti norme di attuazione del PAI in riferimento al rispettivo livello di pericolosità definito dai corrispondenti tempi di ritorno;*

Ai sensi dell'art. 30bis delle NTA del PAI "Disciplina delle aree di esondazione individuate con la sola analisi geomorfologica":

- 1. Per tutti i corsi d'acqua o per i tratti degli stessi nei quali, nell'ambito di studi dell'assetto idrogeologico, a scala regionale o locale, sono state determinate aree di esondazione con la sola analisi di tipo geomorfologico, i Comuni sono tenuti ad effettuare un apposito studio idrologico idraulico di approfondimento, coerentemente con quanto indicato nelle presenti norme, al fine di determinare le aree di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1).*
- 2. Nelle more degli studi di approfondimento di cui al comma 1, per le opere o per gli interventi che ricadono all'interno delle aree di esondazione, afferenti a uno o più corsi d'acqua, determinate con il solo criterio geomorfologico, i Comuni sono tenuti preliminarmente ad effettuare apposito studio idrologico-idraulico volto a determinare le aree di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1); tale studio dovrà contemplare i corsi d'acqua interessati nella loro interezza o almeno i tronchi degli stessi idraulicamente significativi.*
- 3. Gli studi di cui ai commi 1 e 2 sono approvati dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino e per le aree a pericolosità idraulica così determinate si applicano le relative norme di salvaguardia di cui all'art. 65, comma 7 del Decreto Legislativo 152/2006;*
- 4. Per le aree di esondazione dei corsi d'acqua o dei tratti degli stessi individuate mediante analisi di tipo geomorfologico e oggetto degli studi di cui ai commi 1 e 2, che si estendono oltre le fasce di pericolosità moderata determinate con i richiamati studi, si applica la disciplina di cui all'articolo 30, comma 1.*

Secondo la normativa vigente, nel caso in esame, l'area di impianto e l'area della sottostazione sono esterne a tutte le perimetrazioni dei piani di assetto idrogeologico, solo un tratto del cavidotto di connessione attraversa l'area a pericolosità molto elevata Hi4, moderata Hi1 e la fascia C del PSFF, per questo è necessario lo studio di compatibilità idraulica ai sensi dell'art. 24 delle NTA del PAI.

Per tutti gli altri reticoli idrografici attraversati dal cavidotto MT, secondo l'art. 21, comma 2, non è richiesto uno specifico studio di compatibilità idraulica, tuttavia la realizzazione delle nuove opere deve essere tale da conservare le funzioni e il livello naturale del corso d'acqua e non creare impedimenti al naturale deflusso delle acque.

**5. ANALISI IDROLOGICA**

Lo studio idrologico ha la finalità di definire le portate generate da un bacino idrografico in conseguenza ad eventi meteorici con prefissato tempo di ritorno. Nello specifico, il P.A.I. della Regione Sardegna ha individuato i tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni, per la definizione degli scenari rispettivamente di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1).

Lo studio idrologico si compone delle seguenti fasi:

- analisi morfologica per la determinazione delle caratteristiche morfometriche dei bacini idrografici;
- analisi pluviometrica per la definizione dell'altezza totale di precipitazione;
- definizione della precipitazione netta o efficace, ovvero la componente di precipitazione che partecipa al ruscellamento superficiale, pari alla pioggia totale depurata da quella persa in conseguenza a perdite idrologiche (immagazzinamento superficiale, vegetazione, evaporazione, infiltrazione);
- trasformazione afflussi - deflussi per il calcolo della portata di piena.

**5.1. Analisi morfologica**

L'analisi morfologica consiste nella delimitazione dei bacini idrografici affluenti e nella determinazione delle caratteristiche morfometriche degli stessi. I bacini sono determinati sulla base del modello digitale del terreno (Digital Elevation Model – DEM), mediante procedure automatiche in ambiente GIS. È stato utilizzato il DTM 10x10 m disponibile sul Geoportale della Regione Sardegna.

Bacini	Area (Kmq)	L <sub>asta</sub> (Km)	H <sub>max</sub> (m.s.l.m)	H <sub>min</sub> (m.s.l.m)	H <sub>mean</sub> (m.s.l.m)	Dislivello (m)	i <sub>media</sub> bacino (%)	i <sub>asta</sub> (%)
Bacino 1	6.67	5.50	530.20	360	405.05	170.20	5.78	3.09

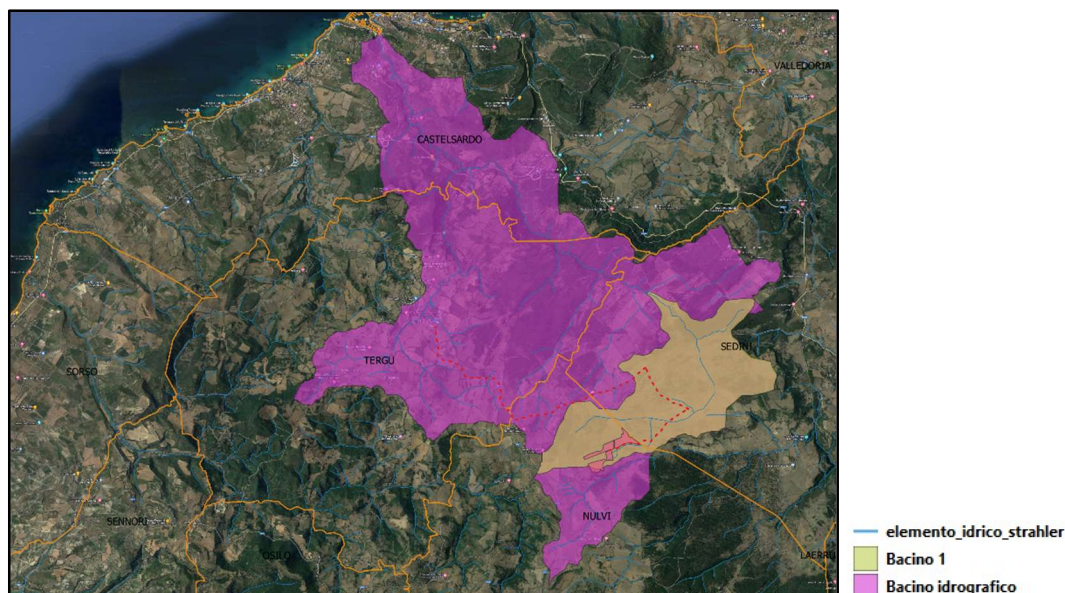
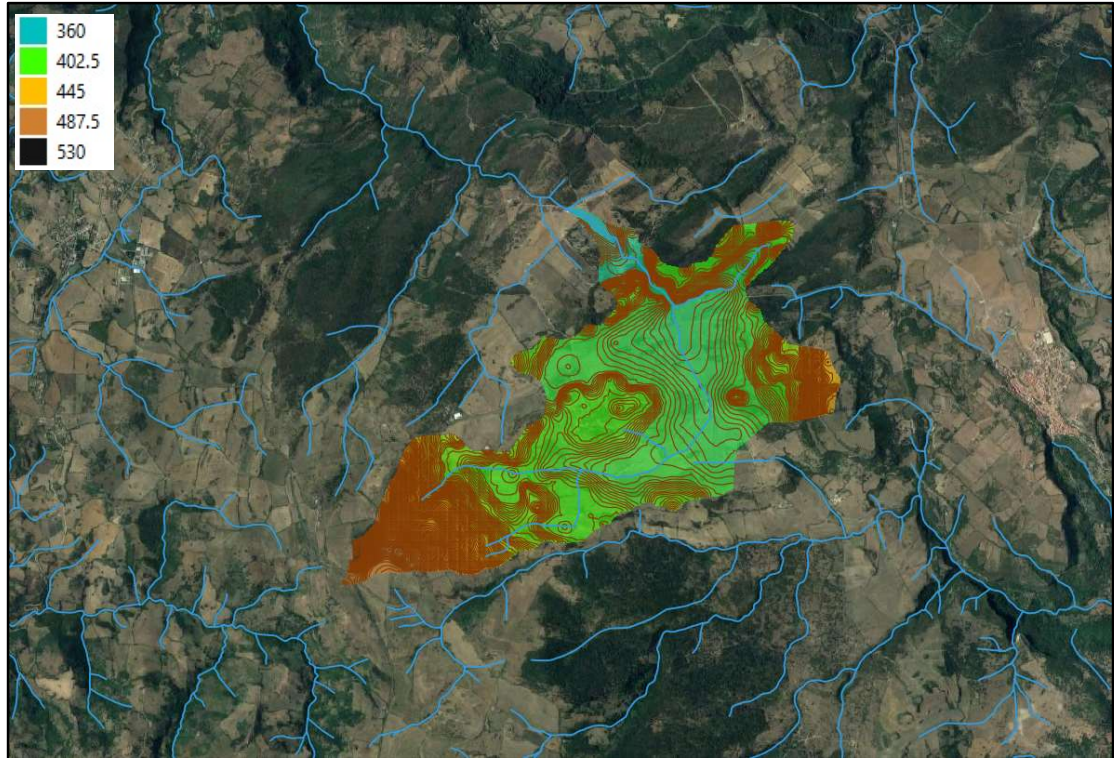
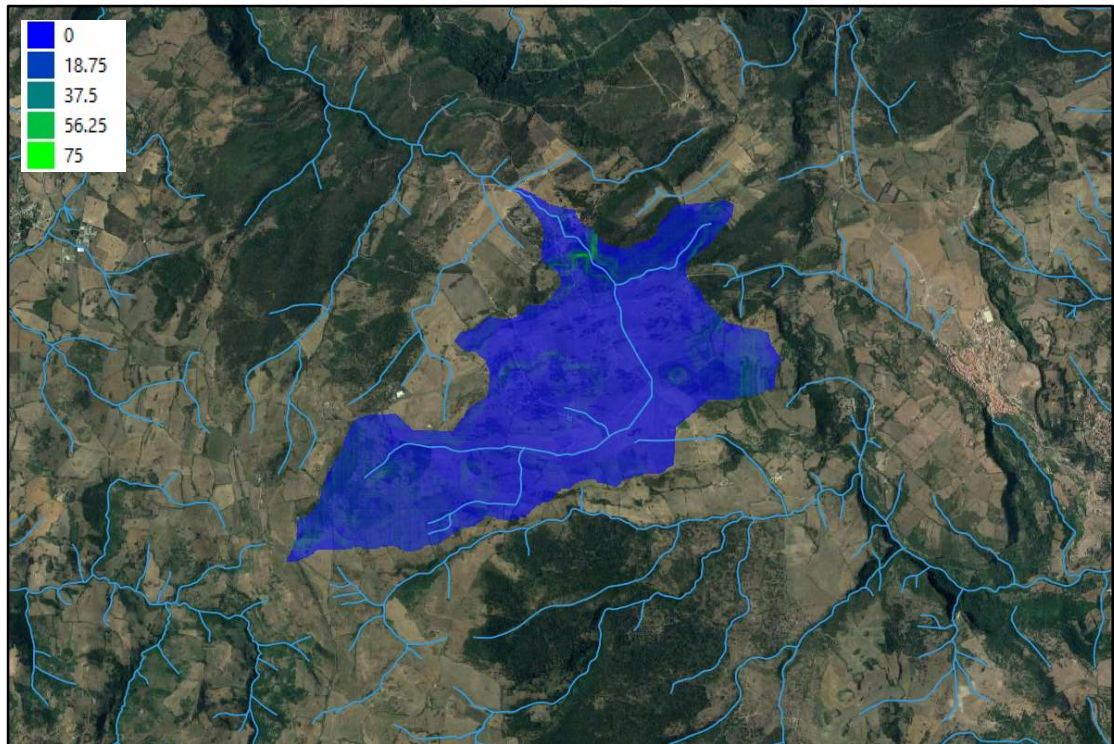


Figura 9: Bacino idrografico di studio

Di seguito si riportano le mappe del DTM e della Pendenza del bacino idrografico di studio, da cui sono state estratte le informazioni morfometriche.



*Figura 10: DTM del bacino di studio*



*Figura 11: Carta della pendenza (slope) del bacino di studio*

### 5.2. Criteri generali per la stima delle portate al colmo

L'analisi idrologica consiste nella determinazione delle *curve di possibilità pluviometrica* per i diversi tempi di ritorno propri del PAI e nella definizione delle *portate al colmo di piena* per tempi pari a 50, 100, 200 e 500 anni.

Per la stima delle portate di piena, per bacini con superficie superiore ai 60 km<sup>2</sup>, si ricorre al metodo diretto della regionalizzazione VAPI delle portate al colmo per la Sardegna secondo la distribuzione TCEV, per i bacini con superficie inferiore ai 60 km<sup>2</sup>, invece, si procede con metodo indiretto mediante applicazione del metodo razionale, si fa riferimento al metodo S.C.S. Nel nostro caso, avendo il bacino di studio superficie < 60 km<sup>2</sup> si utilizza la formula empirica del Soil Conservation Service (S.C.S.).

### 5.3. Analisi pluviometrica

La curva di possibilità climatica esprime il legame esistente tra l'altezza di pioggia (espressa in mm) e la sua durata (espressa in ore), per un assegnato valore del tempo di ritorno.

Per la definizione delle precipitazioni è necessario definire la sottozona omogenea SZO della Regione Sardegna di appartenenza del bacino in esame, secondo la seguente suddivisione.



Figura 12: Divisione delle sottozone omogenee SZO della Regione Sardegna



La pioggia indice  $h(t)$  di durata  $t$  può essere espressa in forma monomia:  $h(t) = a_1 \cdot t^{n_1}$ , dove i coefficienti  $a_1$  e  $n_1$  si possono determinare in funzione della pioggia indice giornaliera  $\mu_g$ , espressa in mm, secondo le seguenti espressioni:

$$a_1 = \frac{\mu_g}{0.886 \cdot 24^{n_1}}$$

$$n_1 = -0.493 + 0.476 \cdot \text{Log}(\mu_g)$$

La pioggia indice giornaliera  $\mu_g$  viene stimata sulla base della carta delle isoiete.

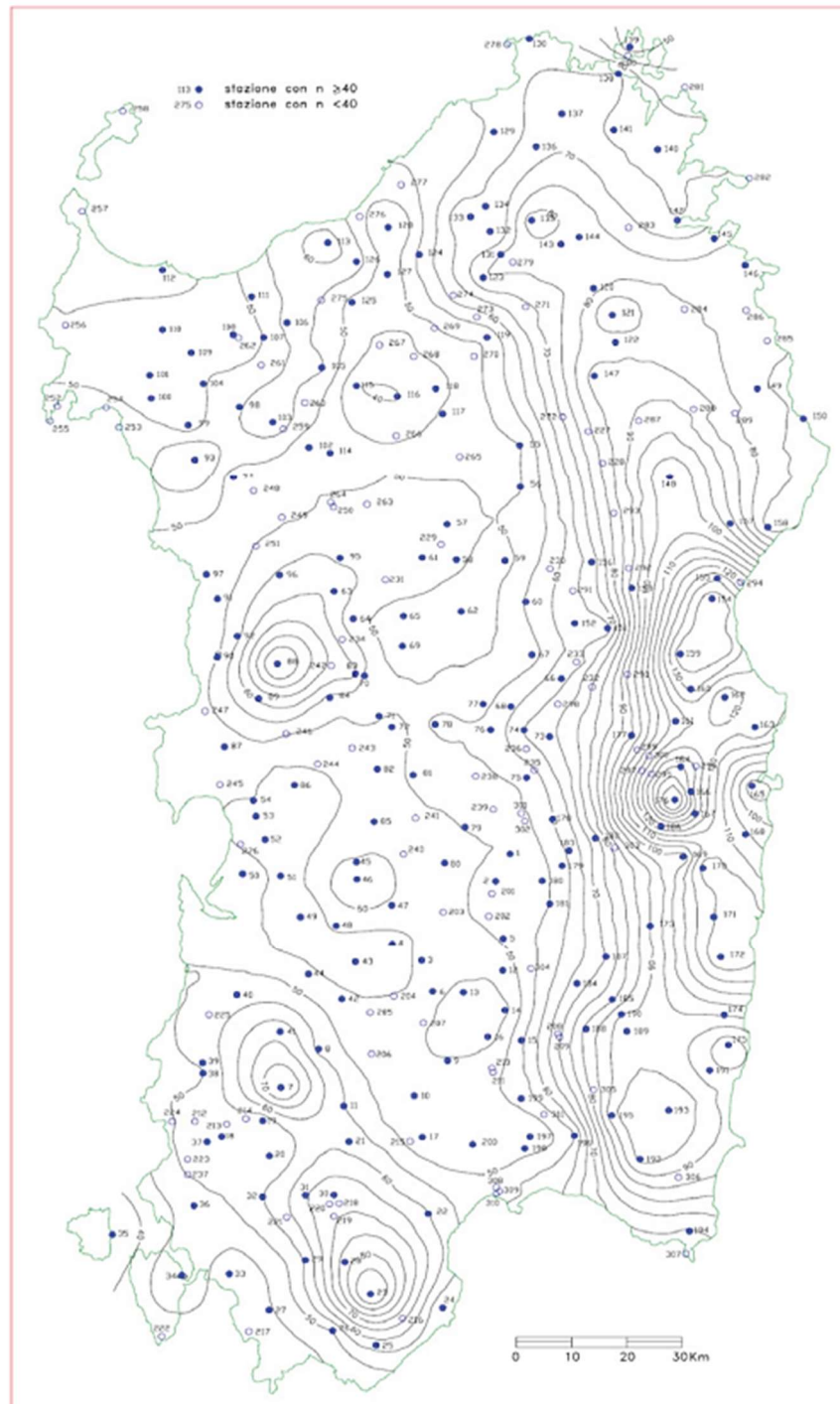


Figura 13: Carta delle isoiete per identificare la pioggia indice giornaliera

L'altezza di pioggia  $h(t, T)$  di durata  $t$  (ore) e assegnato tempo di ritorno  $T$  (anni) si ottiene moltiplicando la pioggia indice  $h(t)$  per un coefficiente di crescita  $K_T$  pari a  $K_T = a_2 * t^{n_2}$ .

L'espressione dell'altezza di pioggia totale è pari a:  $h(t, T) = h(t) * K_T = (a_1 * a_2) * t^{(n_1+n_2)}$ , dove i coefficienti  $a_2$  e  $n_2$  si determinano con le seguenti relazioni, distinte per sottozona e per differenti tempi di ritorno  $T$  e durate  $t$ .

a) per tempi di ritorno  $T \leq 10$  ANNI

- SZO 1  $a_2 = 0,66105 + 0,85994 \text{ Log}_{10} T$  ;  
 $n_2 = -1,3558 \cdot 10^{-4} - 1,3660 \cdot 10^{-2} \text{ Log}_{10} T$  ;
- SZO 2  $a_2 = 0,64767 + 0,89360 \text{ Log}_{10} T$  ;  
 $n_2 = -6,0189 \cdot 10^{-3} + 3,2950 \cdot 10^{-4} \text{ Log}_{10} T$  ;
- SZO 3  $a_2 = 0,62408 + 0,95234 \text{ Log}_{10} T$  ;  
 $n_2 = -2,5392 \cdot 10^{-2} + 4,7188 \cdot 10^{-2} \text{ Log}_{10} T$  ;

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

- SZO 1  $a_2 = 0,46378 + 1,0386 \text{ Log}_{10} T$   
 $n_2 = -0,18449 + 0,23032 \text{ Log}_{10} T - 3,3330 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2$  (per  $\tau \leq 1$  ora)  
 $n_2 = -1,0563 \cdot 10^{-2} - 7,9034 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T$  (per  $\tau > 1$  ora)
- SZO 2  $a_2 = 0,44182 + 1,0817 \text{ Log}_{10} T$   
 $n_2 = -0,18676 + 0,24310 \text{ Log}_{10} T - 3,5453 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2$  (per  $\tau \leq 1$  ora)  
 $n_2 = -5,6593 \cdot 10^{-3} - 4,0872 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T$  (per  $\tau > 1$  ora)
- SZO 3  $a_2 = 0,41273 + 1,1370 \text{ Log}_{10} T$   
 $n_2 = -0,19055 + 0,25937 \text{ Log}_{10} T - 3,8160 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2$  (per  $\tau \leq 1$  ora)  
 $n_2 = 1,5878 \cdot 10^{-2} + 7,6250 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T$  (per  $\tau > 1$  ora)

Nel caso in esame, si assume un valore della pioggia indice giornaliera  $\mu g$  pari a 50 mm.

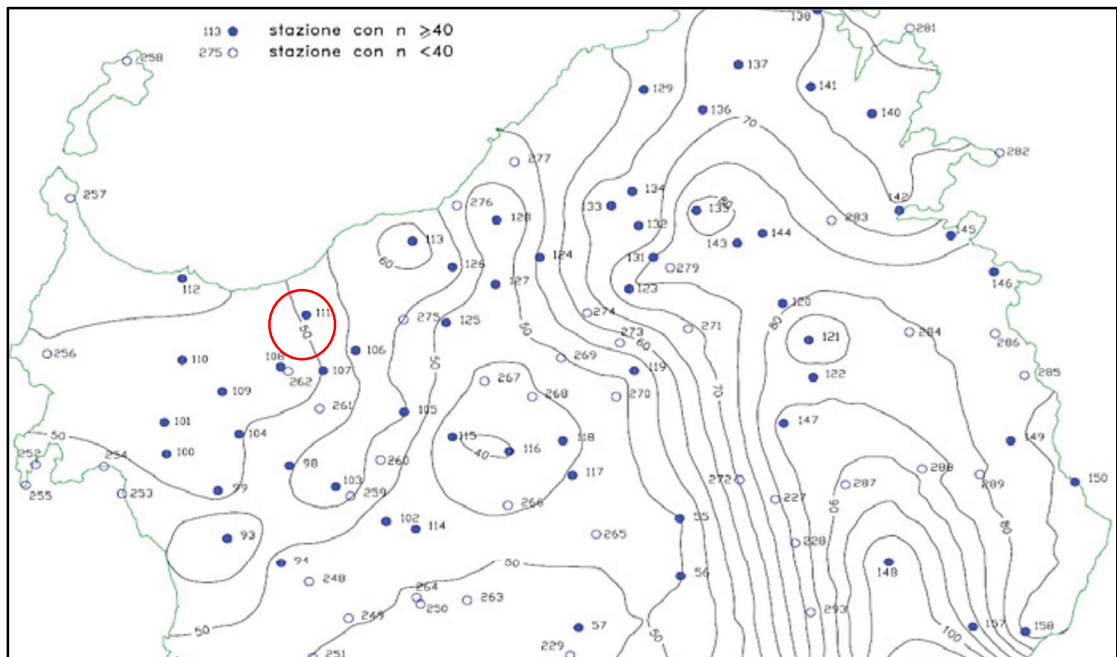


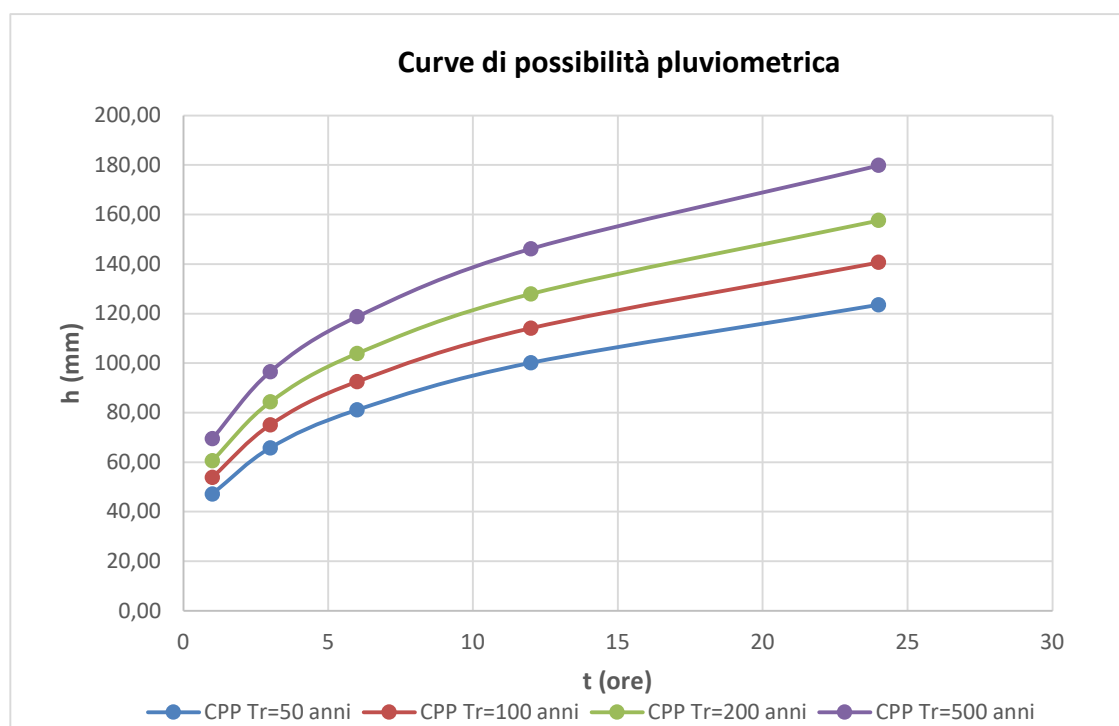
Figura 14: Dettaglio della carta delle isoiete nell'area di impianto (in rosso)

L'impianto ricade nella zona omogenea SZO II, quindi, i coefficienti  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $n_1$ ,  $n_2$  sono pari a:

$\mu g$	$n_1$ ( $\mu g$ )	$a_1$ ( $\mu g$ )	$Tr$	$a_2$	$n_2$	$Tr$	$a_2$	$n_2$	$Tr$	$a_2$	$n_2$	$Tr$	$a_2$	$n_2$
50	0.316	20.7	50	2.28	-0.013	100	2.60	-0.014	200	2.93	-0.015	500	3.36	-0.017

Determinati i vari coefficienti, è possibile ricavare le curve di possibilità pluviometrica (C.P.P.) per i diversi tempi di ritorno pari a 50, 100, 200 e 500 anni.

t (ore)	$h_{50}$ (mm)	$h_{100}$ (mm)	$h_{200}$ (mm)	$h_{500}$ (mm)
1	47.17	53.91	60.64	69.55
3	65.81	75.10	84.38	96.60
6	81.19	92.58	103.93	118.84
12	100.17	114.13	128.01	146.22
24	123.59	140.70	157.67	179.89



La durata di pioggia critica, per il quale calcolare l'altezza di pioggia totale al lordo delle perdite, è assunta pari al tempo di corrivazione  $t_c$ . Il tempo di corrivazione può essere ottenuto con la formula del Soil Conservation Service (SCS):

$$t_c = \frac{100 L^{0.8}}{1900 s^{0.5}} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} \text{ [minuti]}$$

Dove:

- L = lunghezza dell'asta principale (ft - piede);
- s = pendenza media del bacino (%);
- CN = parametro di assorbimento (adimensionale).

In ore, la stessa formula può essere espressa come:

$$t_c = 1.67 * 2.587 \frac{L^{0.8}}{1900 s^{0.5}} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} \text{ [ore]}$$

Dove:

- L = lunghezza dell'asta principale (m);
- s = pendenza media del bacino (%);
- CN = parametro di assorbimento (adimensionale).

I valori del parametro del curve number CN dipende dalle informazioni sull'uso del suolo, sulla litologia e permeabilità del terreno.

Nello specifico, ad ogni tipologia di copertura del territorio è stato assegnato un valore di CN, secondo la classificazione sottostante:

Tabella 1 - Assegnazione dei valori di Curve Number alle diverse tipologie di uso del suolo

Descrizione	CN
1111 - TESSUTO RESIDENZIALE COMPATTO E DENSO	95
1112 - TESSUTO RESIDENZIALE RADO	95
1121 - TESSUTO RESIDENZIALE RADO E NUCLEIFORME	95
1122 - FABBRICATI RURALI	95
1211 - INSEDIAMENTO INDUSTRIALI/ARTIG. E COMM. E SPAZI ANNESSI	95
1212 - INSEDIAMENTO DI GRANDI IMPIANTI DI SERVIZI	95
1221 - RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI	95
1222 - RETI FERROVIARIE E SPAZI ANNESSI	95
1223 - GRANDI IMPIANTI DI CONCENTRAMENTO E SMISTAMENTO MERCI	99
1224 - IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE	95
123 - AREE PORTUALI	95
124 - AREE AEROPORTUALI ED ELIPORTI	95
131 - AREE ESTRATTIVE	75
1321 - DISCARICHE	75
1322 - DEPOSITI DI ROTTAMI A CIELO APERTO, CIMITERI DI AUTOVEICOLI	75
133 - CANTIERI	95
141 - AREE VERDI URBANE	70
1421 - AREE RICREATIVE E SPORTIVE	95
1422 - AREE ARCHEOLOGICHE	75
143 - CIMITERI	95

Descrizione	CN
2111 - SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	60
2112 - PRATI ARTIFICIALI	75
2121 - SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE ORTICOLE A PIENO CAMPO	60
2122 - RISAIE	99
2123 - VIVAI	70
2124 - COLTURE IN SERRA	75
221 - VIGNETI	60
222 - FRUTTETI E FRUTTI MINORI	60
223 - OLIVETI	60
231 - PRATI STABILI	75
2411 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE ALL'OLIVO	60
2412 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AL VIGNETO	99
2413 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD ALTRE COLTURE PERMANENTI	60
242 - SISTEMI COLTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI	60
243 - AREE PREV. OCCUPATE DA COLTURE AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI IMPORTANTI	70
244 - AREE AGROFORESTALI	70
3111 - BOSCHI DI LATIFOGIE	50
31121 - PIOPPETI SALICETI EUCALITTETI	50
31122 - SUGHERETE	65
31123 - CASTAGNETI DA FRUTTO	50
31124 - ALTRO	50
3121 - BOSCHI DI CONIFERE	70
3122 - CONIFERE A RAPIDO ACCRESCIMENTO	70
313 - BOSCHI MISTI DI CONIFERE E LATIFOGIE	60
321 - AREE A PASCOLO NATURALE	75
3221 - CESPUGLIETI ED ARBUSTETI	65
3222 - FORMAZIONI DI RIPA NON ARBOREE	65
3231 - MACCHIA MEDITERRANEA	65
3232 - GARIGA	65
3241 - AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE	70
3242 - AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE	70
3311 - SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	40
3312 - AREE DUNALI NON COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	40
3313 - AREE DUNALI COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	40
3315 - LETTI DI TORRENTI DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	99
332 - PARETI ROCCIOSE E FALESIE	75
333 - AREE CON VEGETAZIONE RADA > 5% E < 40%	75
411 - PALUDI INTERNE	99
421 - PALUDI SALMASTRE	99
422 - SALINE	75
423 - ZONE INTERTIDALI	99
5111 - FIUMI, TORRENTI E FOSSI	99

Descrizione	CN
5112 - CANALI E IDROVIE	99
5121 - BACINI NATURALI	99
5122 - BACINI ARTIFICIALI	99
5211 - LAGUNE, LAGHI E STAGNI COSTIERI A PRODUZIONE ITTICA NATURALE	99
5212 - ACQUACOLTURE IN LAGUNE, LAGHI E STAGNI COSTIERI	99
522 - ESTUARI E DELTA	99
5231 - AREE MARINE A PROD. ITTICA NATURALE	99
5232 - ACQUACOLTURE IN MARE LIBERO	99

È stata desunta la carta del CN per il bacino di studio in funzione del solo Uso del Suolo (fonte Geoportale della Sardegna). Il valor medio del CN (Corine Land) è pari a 69,40.

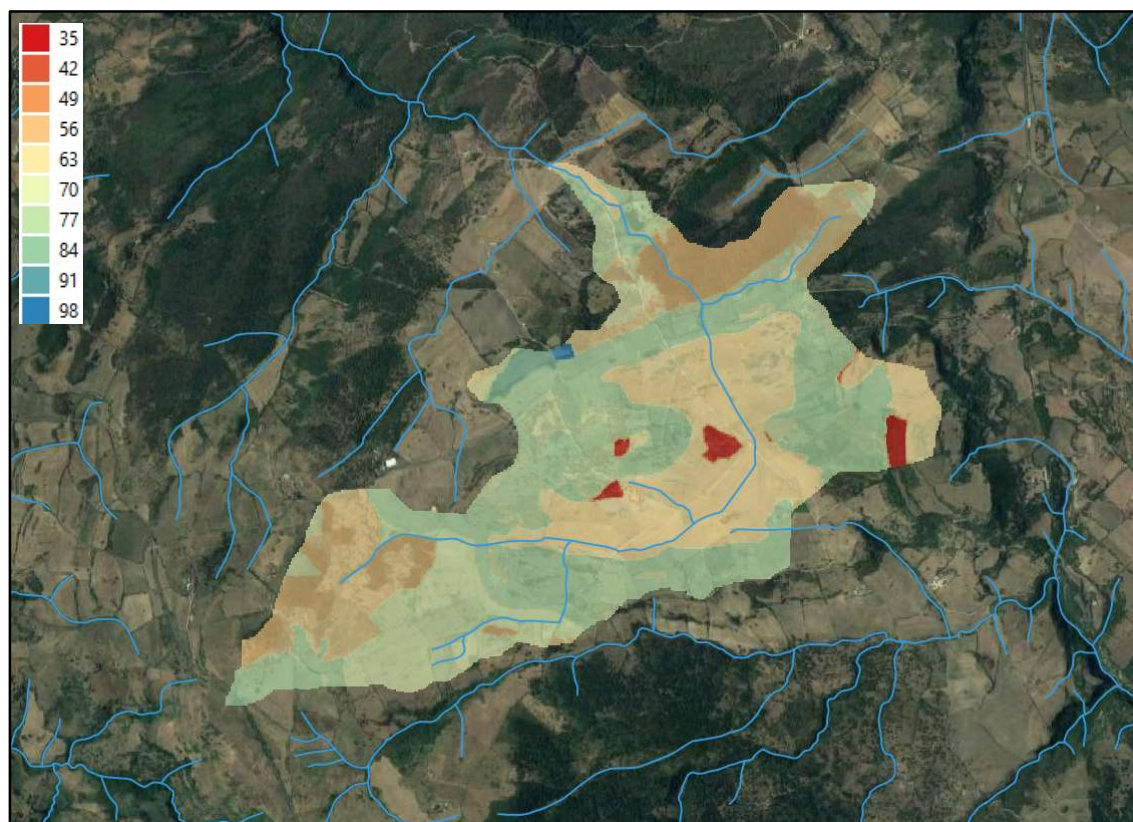


Figura 15: Carta del CN del bacino idrografico

I valori del CN associati attraverso le caratteristiche dell'uso del suolo sono stati corretti considerando i fattori di variazione del CN derivanti dall'analisi delle informazioni geologiche. Il CN correttivo è pari a 5 per la classe delle "Dolomie e calcari dolomitici di tipo lacustri". Il valore del CN è dato dalla somma algebrica dei due contributi ed è pari a 74,40.

È possibile determinare, anche, le altezze di pioggia di durata pari al tempo di corrivazione.

Bacini	L (m)	s (%)	CN	tc (ore)	h <sub>50</sub> (mm)	h <sub>100</sub> (mm)	h <sub>200</sub> (mm)	h <sub>500</sub> (mm)
Bacino 1	5500	5.78	74.40	2.64	63.29	72.25	81.18	92.96

#### 5.4. Metodo SCS-CN per il calcolo della pioggia netta

Per la stima della pioggia netta o efficace, ovvero la componente di precipitazione che partecipa al ruscellamento superficiale pari alla pioggia totale depurata dalla parte di pioggia persa in conseguenza a perdite idrologiche (immagazzinamento superficiale, vegetazione, evaporazione, infiltrazione) si è utilizzata la metodologia del Soil Conservation Service (S.C.S.) che prevede la determinazione del Curve Number (CN).

Assumendo che l'invaso per infiltrazione nel suolo in ogni istante sia proporzionale al valore massimo dello stesso e che la precipitazione efficace sia proporzionale all'afflusso meteorico, si ha la seguente equazione (USDA – SCS, 1986) per la definizione del *volume netto di pioggia per unità di superficie, espresso in mm. Il volume è pari a:  $R_o = (h_r - 0.2 S)^2 / (h_r + 0.8 S)$ .*

Dove:

- $h_r$  = precipitazione meteorica ragguagliata (mm);
- $S$  = massima capacità di assorbimento del bacino per infiltrazione (mm). Il valore  $S$  è stato calcolato mediante l'equazione:  $S = 25 * ((1000 / CN) - 10)$ .

La precipitazione meteorica ragguagliata viene calcolata nel modo seguente:  $h_r = r * h$ . La pioggia ottenuta viene ragguagliata all'area tramite il parametro  $r$ , secondo la formulazione utilizzata nel VAPI, che fa riferimento al Flood Studies Report:

$$r = 1 - (0,0394 A^{0.354}) d^{(-0.40+0.0208 \ln(4.6-\ln(A)))} \text{ per } A < 20 \text{ km}^2$$

$$r = 1 - (0,0394 A^{0.354}) d^{(-0.40+0.003832 (4.6-\ln(A)))} \text{ per } A > 20 \text{ km}^2$$

Dove:

- $d$  = durata della precipitazione (ore);
- $A$  = superficie del bacino (km<sup>2</sup>);
- $r$  = coefficiente di ragguaglio delle piogge.

Bacini	$d=t_c$ (ore)	$A$ (km <sup>2</sup> )	$r$	$hr_{50}$ (mm)	$hr_{100}$ (mm)	$hr_{200}$ (mm)	$hr_{500}$ (mm)
Bacino 1	2.64	6.67	0.95	59.91	68.39	76.85	87.99

Bacini	$A$ (km <sup>2</sup> )	CN	$S$ (mm)	$Ro_{50}$ (mm)	$Ro_{100}$ (mm)	$Ro_{200}$ (mm)	$Ro_{500}$ (mm)
Bacino 1	6.67	74.40	86.02	14.17	19.09	24.42	31.96

#### 5.5. Metodo SCS per la definizione delle portate al colmo di piena

Secondo il metodo SCS, la portata al colmo di piena è pari a:  $Q_c = 0.280 * Ro * A / t_p$  (mc/s), dove i parametri sono:

- $Ro$  = volume netto di pioggia (mm);
- $A$  = superficie del bacino (km<sup>2</sup>);
- $t_p$  = tempo di crescita dell'onda di piena (ore).

La stima del tempo di crescita dell'onda di piena è ricavata con la seguente formula:

$$t_p = D/2 + t_{lag}$$

dove:

- D = durata della pioggia (in ore);
- $t_{lag}$  = intervallo di tempo tra il centroide della pioggia e il colmo (in ore).

Si assume:

- $D = 0.133 * t_c$ ;
- $t_{lag} = 0.6 * t_c$ .

Si ha quindi:  $t_p = (0.133/2) t_c + 0.6 t_c$

$t_c$ (ore)	$t_p$ (ore)
2.64	1.76

Bacini	A (km <sup>2</sup> )	Ro <sub>50</sub> (mm)	Ro <sub>100</sub> (mm)	Ro <sub>200</sub> (mm)	Ro <sub>500</sub> (mm)
Bacino 1	6.67	14.17	19.09	24.42	31.96

Bacini	Q <sub>50</sub> (mc/s)	Q <sub>100</sub> (mc/s)	Q <sub>200</sub> (mc/s)	Q <sub>500</sub> (mc/s)
Bacino 1	15.05	20.28	25.94	33.94



**6. CONCLUSIONI**

Lo studio idrologico svolto ha portato alla definizione delle portate di piena per i tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni, relative al bacino sotteso dalla sezione di controllo. Per la stima delle portate di piena è stato utilizzato il metodo indiretto della regionalizzazione VAPI mediante applicazione del metodo del Soil Conservation Service (S.C.S.).

Il presente studio costituisce la base per la modellazione idraulica per l'area a pericolosità idraulica Hi4 e Hi1, lungo il tracciato del cavidotto interrato di connessione.