



INTERNAL CODE

**C21BLN001DWR05200**

PAGE

1 di/of 52

TITLE: RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA

AVAILABLE LANGUAGE: IT

**IMPIANTO EOLICO DI 31MW IN LOCALITA' "FERRALZOS"  
 COMUNI DI SUNI, SAGAMA E SCANO DI MONTIFERRO(OR),  
 SINDIA E MACOMER(NU)**

**Progetto definitivo  
 Relazione Idrologica-Idraulica**

Il Tecnico

Ing. Leonardo Sblendido



File:C21BLN001DWR05200\_Relazione Idrologica-Idraulica.pdf

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
00	30/06/2022	Prima emissione	V. Bertucci	M. Barresi	L. Sblendido

**VALIDATION**

COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY
---------------	-------------	--------------

PROJECT / PLANT EO SUNI	INTERNAL CODE <b>C21BLN001DWR05200</b>
----------------------------	---

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

## INDICE

1. INTRODUZIONE .....	3
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....	3
2.1. CARATTERIZZAZIONE CLIMATICA DELL'AREA DI INTERVENTO .....	4
2.2. BACINO IDROGRAFICO DI RIFERIMENTO .....	7
3. DATI IDROLOGICI DISPONIBILI .....	8
3.1. STAZIONI DI RIFERIMENTO .....	9
3.2. DATI DI PIOGGIA DISPONIBILI .....	10
4. ANALISI DEI DATI IDROLOGICI DISPONIBILI .....	24
4.1. GRINGORTEN .....	24
4.2. GUMBEL .....	24
4.2.1. Metodo dei momenti .....	25
4.2.2. Metodo L-moment .....	25
4.3. FUNZIONE DI VALORE ESTREMO GENERALIZZATO (gev) .....	26
4.3.1. Metodo dei momenti .....	27
4.3.2. Metodo L-moment .....	27
4.4. IMPOSTAZIONE SCELTA PER LE STAZIONE DI SUNI .....	29
5. METODO AFFLUSSI DEFLUSSI .....	30
5.1. METODO RAZIONALE .....	30
5.2. METODO SCS-CURVE NUMBER .....	31
6. ANALISI IDRAULICA E VERIFICA DELLE AREE ESONDABILI .....	35
6.1. INQUADRAMENTO DEL BACINO DI INTERESSE .....	35
6.2. CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE .....	36
6.3. APPLICAZIONE METODO SCS-CURVE NUMBER .....	37
6.4. VERIFICA DELLE AREE ESONDABILI .....	39
7. DIMENSIONAMENTO CUNETTA PER DRENAGGIO STRADALE .....	40
7.1. INDIVIDUAZIONE DEI BACINI DI INFLUENZA .....	40
7.2. CALCOLO DELLA PORTATA AL COLMO DI PIENA .....	44
7.3. VERIFICA IDRAULICA DELLE CUNETTE STRADALI .....	48
8. CONCLUSIONI .....	51

## 1. INTRODUZIONE

La presente si propone di configurare, nell'ambito della progettazione di un impianto eolico da realizzarsi in Sardegna, nel comune di Suni, Sagama e Scano di Montiferro in provincia di Oristano, Sindia e Macomer in provincia di Nuoro, un quadro conoscitivo circa i caratteri generali dell'idrologia al fine di caratterizzare la zona di intervento e i caratteri idraulici che ne derivano.

## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Le aree oggetto di intervento ricadono tra la provincia di Oristano e quella di Nuoro, nel nord-ovest della Sardegna. I siti sono localizzati in corrispondenza della demarcazione tra le aree geografiche denominate Oristano, circa 130 km a nord-ovest del capoluogo di Regione, 53 km da Alghero e 58 km da Oristano.

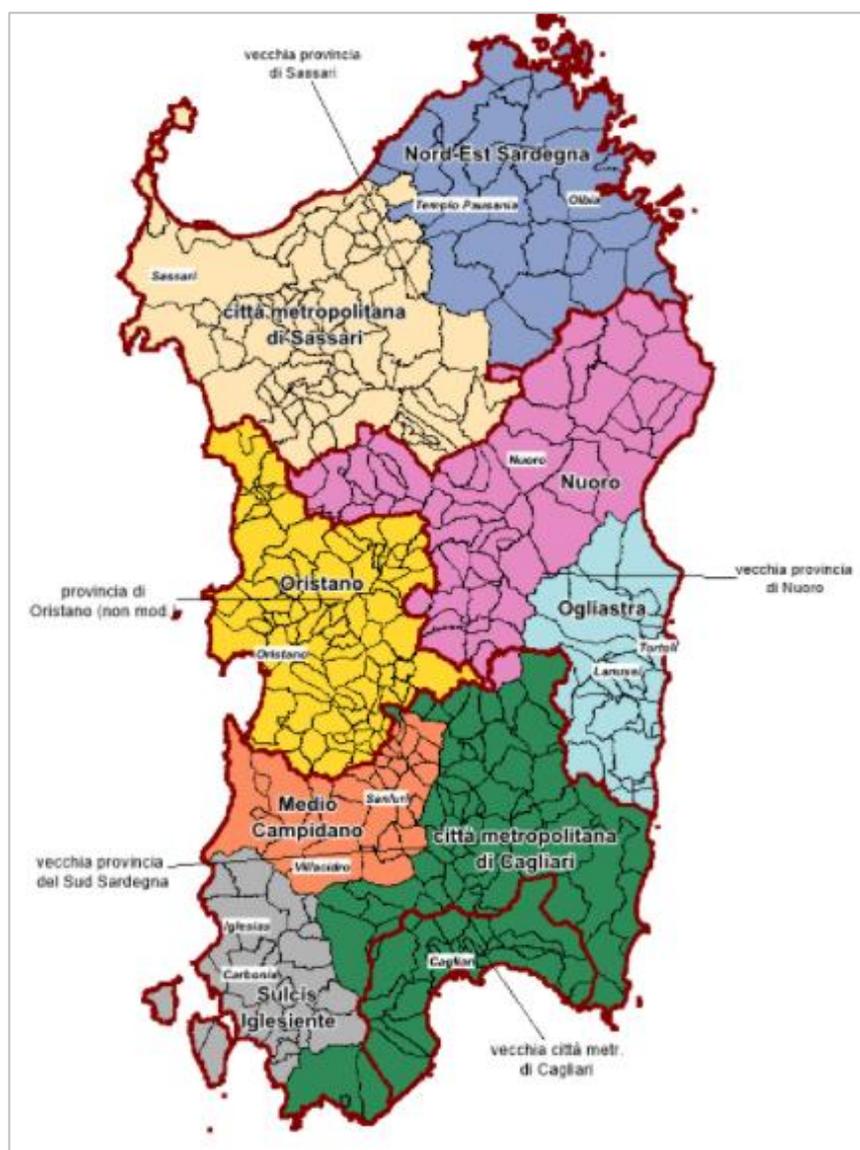


Figura 1 - Inquadramento aree oggetto di intervento nel comune di Suni

Nello specifico, le suddette aree denominate *SUNI 1*, *SUNI 2*, *SUNI 3*, *SUNI 4* e *SUNI 5* sono disposte sul territorio secondo lo schema di seguito indicato.

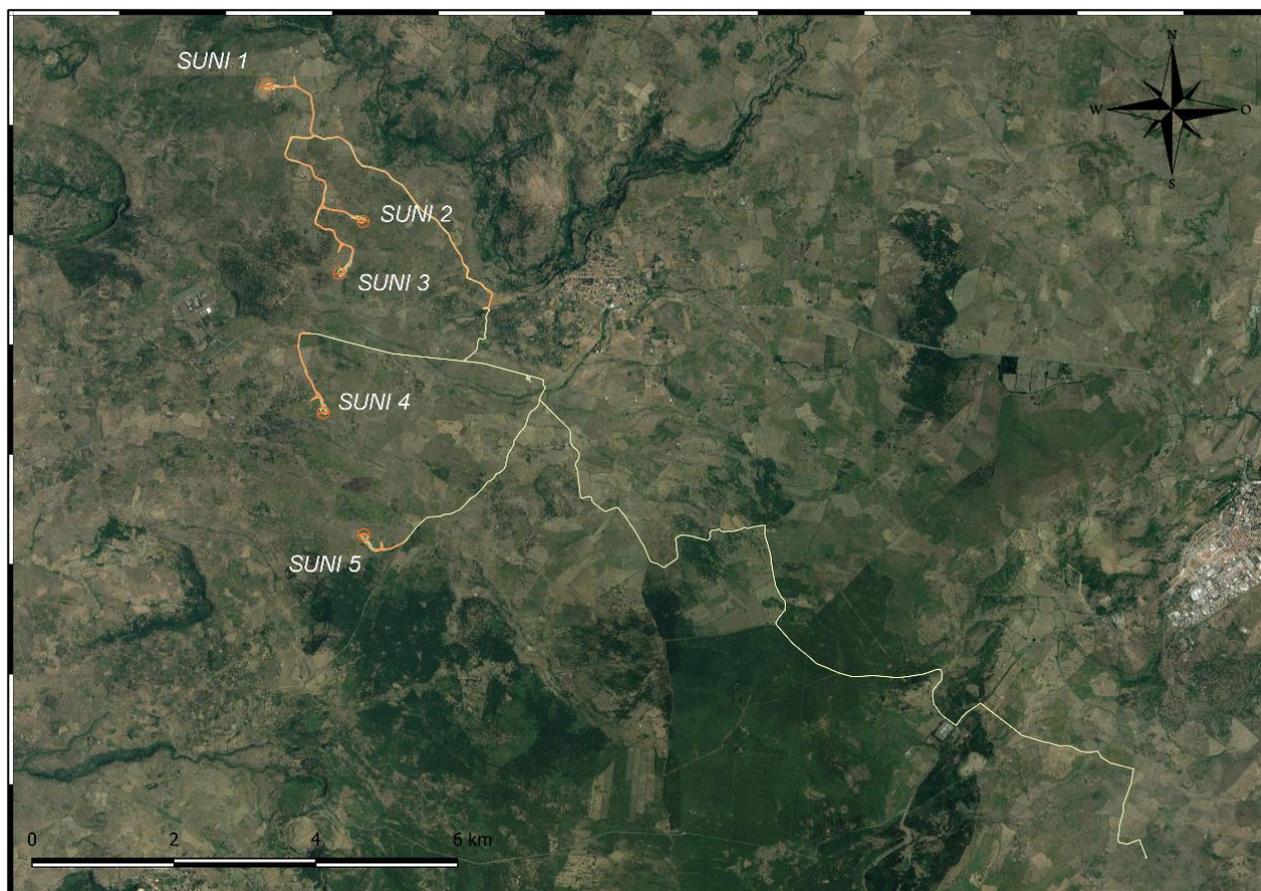
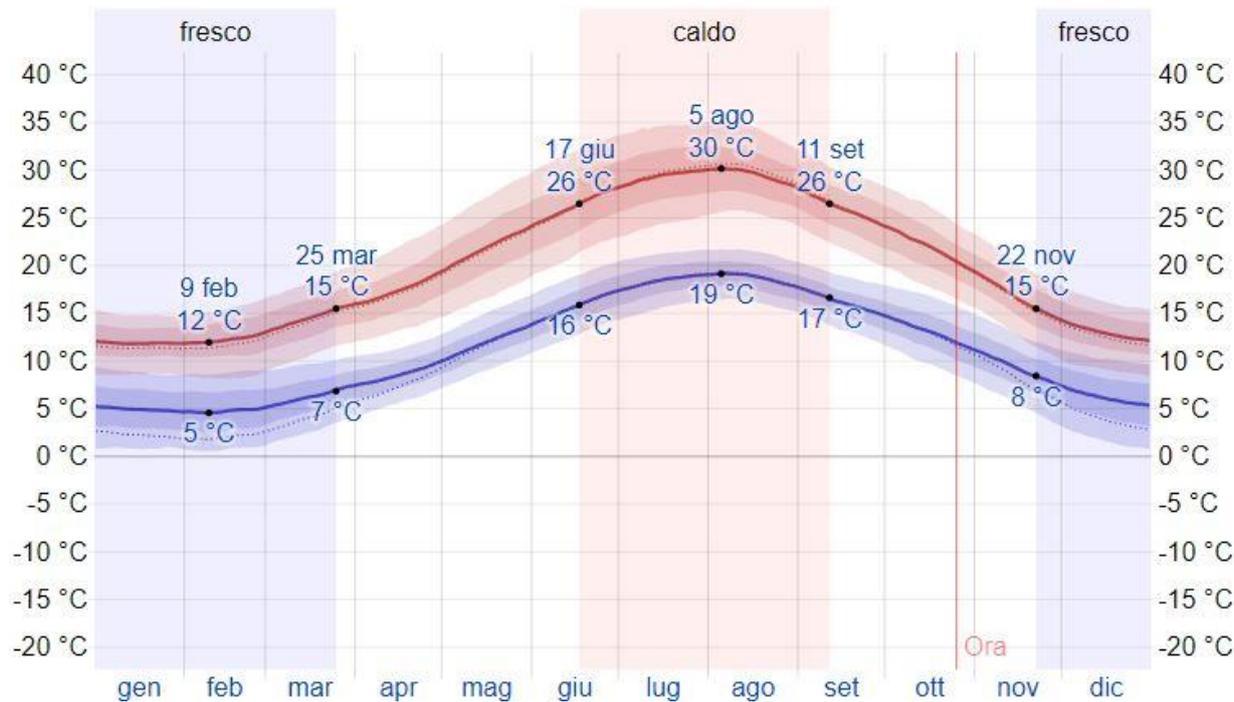


Figura 2 - Inquadramento delle aree oggetto di intervento

### 2.1. CARATTERIZZAZIONE CLIMATICA DELL'AREA DI INTERVENTO

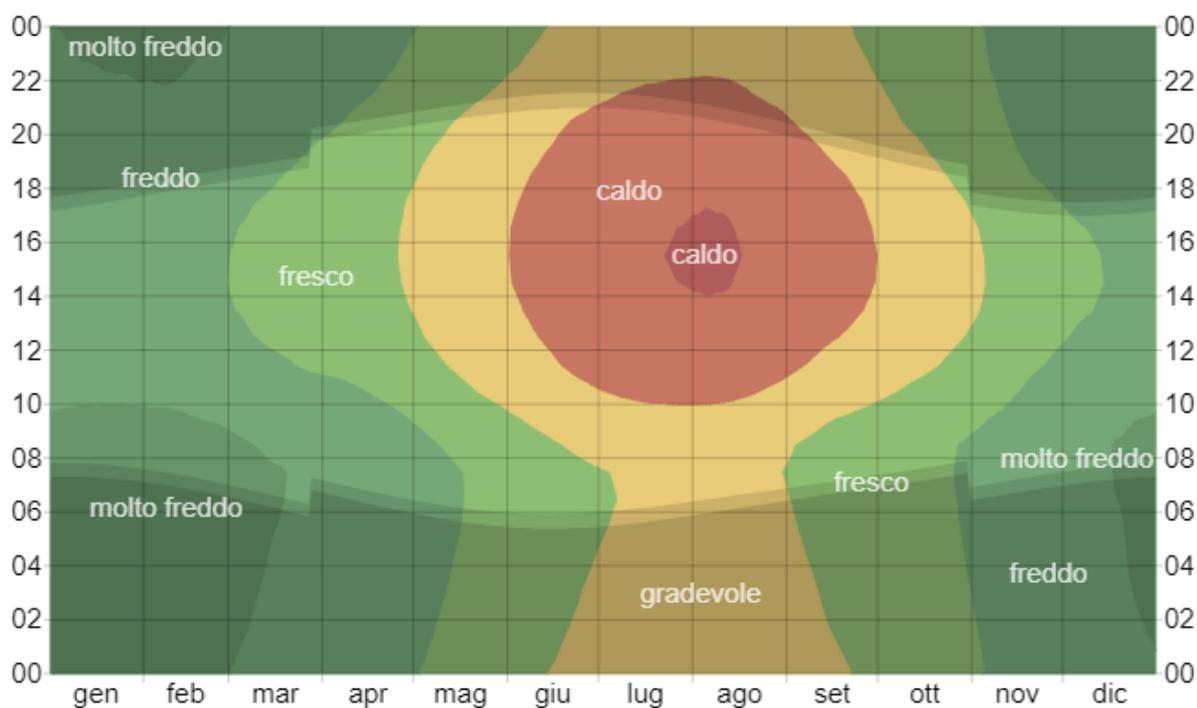
Il comune di Suni, nel quale ricadono le aree oggetto di intervento, è caratterizzato da una stagione calda che dura dal 17 luglio al 11 Settembre, con una temperatura giornaliera massima oltre 26 °C. Il mese più caldo dell'anno è agosto, con una temperatura massima di 30 °C e minima di 19 °C.

Per quanto riguarda invece la stagione fresca essa ricopre un arco temporale che dura dal 22 novembre al 25 Marzo, con una temperatura massima giornaliera media inferiore pari a 15 °C. Il mese più freddo dell'anno è febbraio, con una temperatura minima media di 5 °C e massima di 12 °C.



**Figura 3 - La temperatura massima (riga rossa) e minima (riga blu) giornaliere medie**

La figura a seguire mostra una caratterizzazione compatta delle temperature medie orarie per tutto l'anno. L'asse orizzontale rappresenta il giorno dell'anno, l'asse verticale rappresenta l'ora del giorno e il colore rappresenta la temperatura media per quell'ora e giorno.

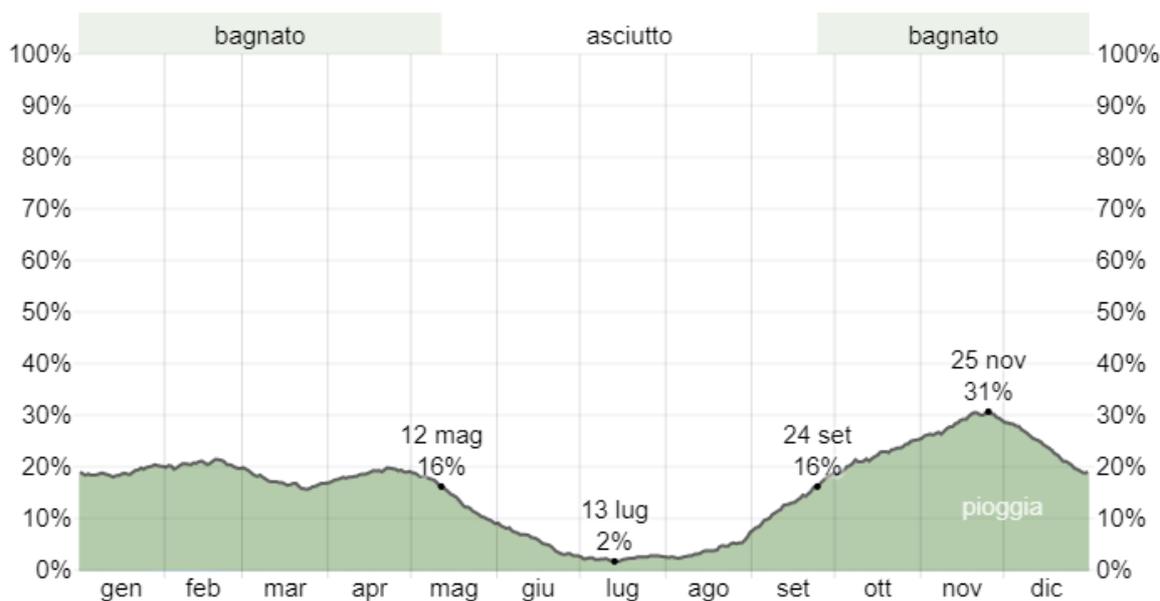


**Figura 4 - La temperatura oraria media, con fasce di diversi colori. L'ombreggiatura indica la notte e il crepuscolo civile.**

Il clima della provincia può essere classificato come clima mediterraneo, con inverni miti e in alcuni casi freddi molto umidi ed estati calde e secche, ma è un clima molto influenzato dalle correnti atlantiche che fanno cambiare radicalmente le temperature e con delle precipitazioni talvolta molto abbondanti. Le precipitazioni infatti si concentrano principalmente nei mesi autunnali e invernali e assumono carattere nevoso soprattutto nei mesi di dicembre, gennaio e febbraio nei rilievi delle montagne più elevate e in alcuni casi eccezionali quando la temperatura raggiunge lo zero termico anche a bassa quota per via delle correnti fredde che arrivano sulle coste e anche più all'interno.

Per quanto riguarda invece le precipitazioni, la possibilità di giorni piovosi a Suni varia durante l'anno.

La stagione *più piovosa* dura dal *24 settembre* al *12 maggio*, con una probabilità di oltre *16%* che un dato giorno sia piovoso, mentre la stagione *più asciutta* dura dal *12 maggio* al *24 settembre*. Fra i giorni piovosi, facciamo la differenza fra giorni con *solo pioggia*, *solo neve*, o un *misto* dei due. In base a questa categorizzazione, la forma più comune di precipitazioni durante l'anno è *solo pioggia*, con la massima probabilità di *31%* il *25 novembre*.



**Figura 5 - Probabilità giornaliera di precipitazioni**

Per mostrare le variazioni nei mesi e non solo il totale mensile, mostriamo la pioggia accumulata in un periodo mobile di 31 giorni centrato su ciascun giorno. Suni ha *alcune* variazioni stagionali di piovosità mensile.

Il mese più piovoso è novembre con un accumulo totale medio di *59 millimetri*, mentre quello meno piovoso è *luglio* con un accumulo totale medio di *3 millimetri*.

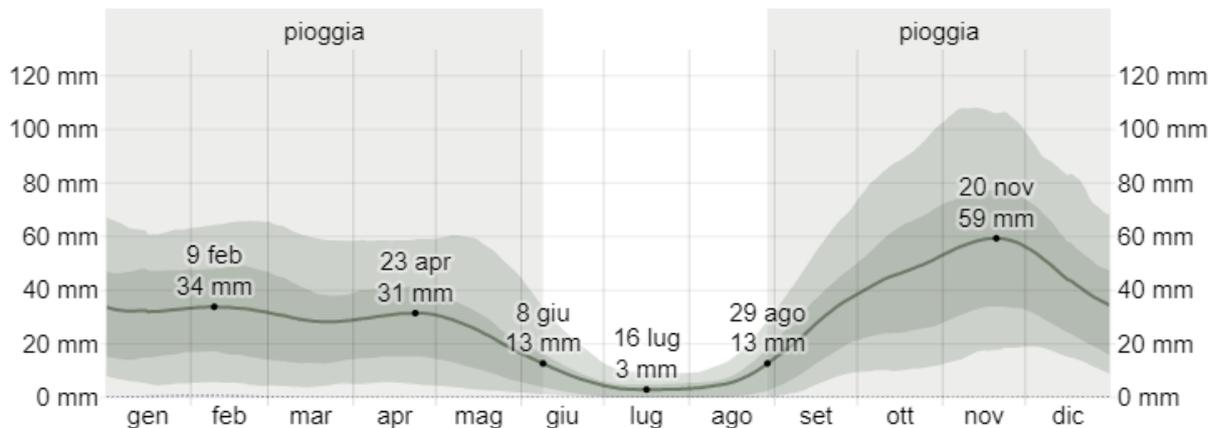


Figura 6 - Precipitazioni mensili medie

## 2.2. BACINO IDROGRAFICO DI RIFERIMENTO

Il Piano stralcio delle Fasce Fluviali suddivide il bacino regionale della Sardegna in sette sub-bacini, individuabili per le caratteristiche morfologiche e fisiche del territorio.

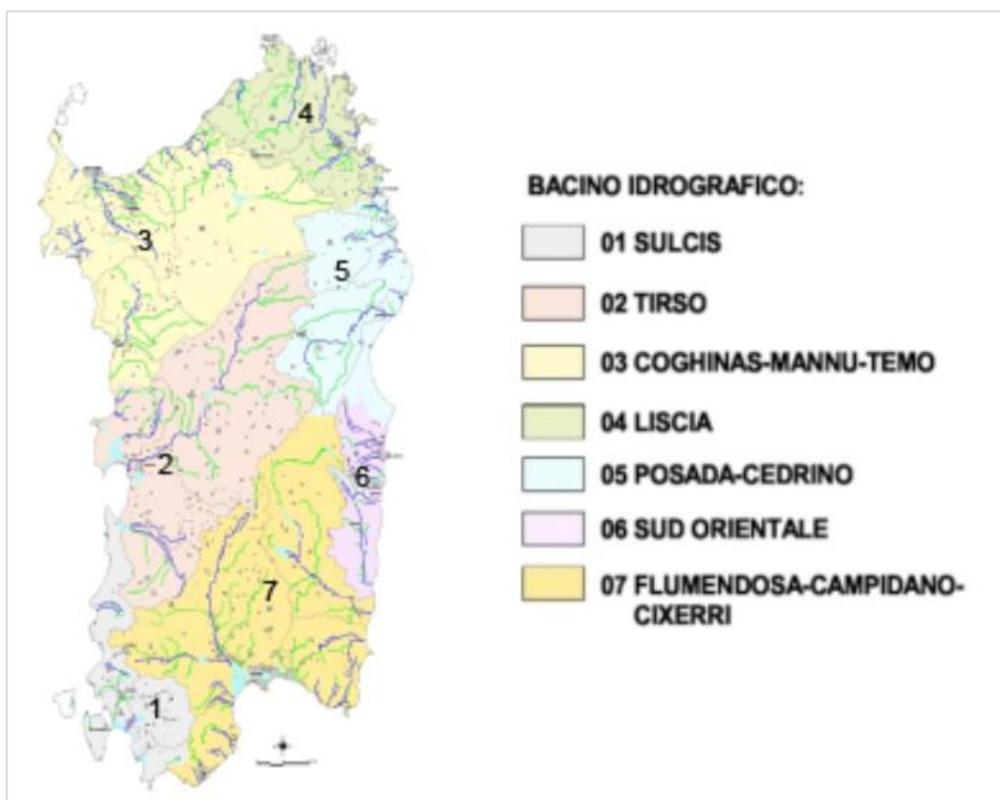


Figura 7 - Bacini idrografici della Sardegna

Le aree interessate dal presente studio idrologico-idraulico ricadono all'interno del sub-bacino denominato Coghinas-Mannu-Temo.

Il Coghinas-Mannu-Temmo si estende per 5402 Km<sup>2</sup>, pari a circa il 23% dell'intero territorio sardo, ed è interessato da due invasi in esercizio.

Dal punto di vista idrografico, i corsi d'acqua più rilevanti sono i seguenti:

- Fiume Coghinas.
- Riu Mannu di Porto Torres.
- Fiume Temo.



Figura 8 - Sub-bacino Coghinas-Mannu-Temmo

I sottobacini di riferimento sono tre: Riu Mannu, fiume Coghinas e fiume Temo.

### 3. DATI IDROLOGICI DISPONIBILI

L'analisi statistica degli estremi idrologici è stata condotta partendo innanzitutto dalla ricerca e dalla modellazione dei dati idrologici disponibili, effettuata scegliendo le stazioni di riferimento e analizzando le serie storiche collezionate. In particolare, come sarà possibile vedere nel seguito, tra le stazioni presenti all'interno dell'area, le serie storiche a cui si è fatto riferimento sono quelle che contenevano le altezze massime di pioggia cadute ogni anno, per il bacino di interesse.

### 3.1. STAZIONI DI RIFERIMENTO

Le stazioni di riferimento sono state individuate considerando le stazioni prossime ai sottobacini di interesse ed aventi serie storiche statisticamente significative.

Nello specifico le suddette stazioni sono state scelte sulla base di diversi criteri:

- Un criterio discriminante è stata la consistenza delle serie storiche al fine di ottenere una maggiore affidabilità nell'elaborazione statistica dei dati;
- Un ulteriore criterio è stato quello di considerare stazioni rappresentative del bacino di interesse;
- Un ultimo criterio è stato quello di scegliere stazioni che, seppure con un quantitativo di dati meno cospicuo, fosse più rappresentativo, in termini di caratteristiche morfologiche e quota della stazione, a quelle dell'area di intervento.

Ai fini del presente studio le stazioni di riferimento prese in considerazione sono quattro:

- Stazione di **Sindia**, in provincia di Nuoro;
- Stazione di **Borore**, in provincia di Nuoro;
- Stazione di **Cuglieri**, in provincia di Oristano;
- Stazione di **Silanus**, in provincia di Nuoro;

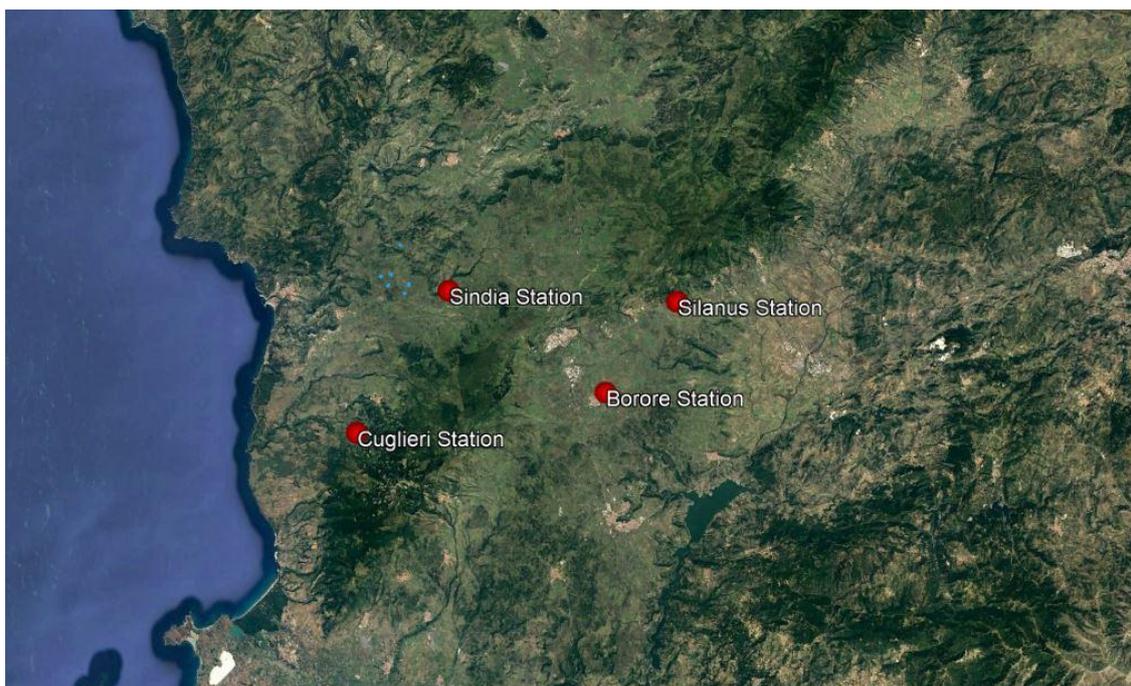


Figura 9 - Stazioni pluviometriche di riferimento

Le serie storiche dei dati di pioggia sono state desunte dagli annali idrologici della Sardegna a cura dell'ARPAS.

Per quanto concerne i sottobacini considerati, ai fini del presente studio si è ritenuto statisticamente significativo ed idrologicamente cautelativo, considerare i dati di pioggia di tutte le stazioni precedentemente citate, al fine di aumentare la dimensione del campione di dati fino ad ottenere un campione di dati pari a circa 90 anni.

### 3.2. DATI DI PIOGGIA DISPONIBILI

Le tabelle seguenti riportano le serie storiche rilevate presso le stazioni di riferimento e registrate negli annali idrologici della regione Sardegna, in relazione ad eventi di pioggia di massima intensità, registrati in termini di altezze massime di pioggia cadute negli anni di cui si dispone la registrazione.

Le serie storiche riportate di seguito sono state scelte sulla base dei criteri precedentemente definiti.

**Tabella 1 - Altezze di pioggia (mm) corrispondenti ad eventi di pioggia di massima intensità per durate di 24h registrate presso la stazione di Sindia, consultabili negli annali idrologici della Sardegna.**

Stazione Sindia	
Anno	P max giornaliera annuale
1922	15.50
1923	25.18
1924	18.40
1925	18.67
1926	14.33
1927	27.17
1928	26.00
1929	29.00
1930	26.00
1931	28.25
1932	29.00
1933	20.38
1934	20.57
1935	16.58
1936	23.92
1937	17.81
1938	22.29

<b>1939</b>	20.51
<b>1940</b>	13.67
<b>1941</b>	18.84
<b>1942</b>	14.64
<b>1943</b>	16.80
<b>1944</b>	28.50
<b>1945</b>	13.20
<b>1946</b>	13.00
<b>1947</b>	22.00
<b>1948</b>	22.24
<b>1949</b>	21.71
<b>1950</b>	29.45
<b>1951</b>	26.69
<b>1952</b>	21.53
<b>1953</b>	25.80
<b>1954</b>	15.66
<b>1955</b>	15.42
<b>1956</b>	29.17
<b>1957</b>	22.01
<b>1958</b>	28.55
<b>1959</b>	40.09
<b>1960</b>	20.10
<b>1961</b>	35.80
<b>1962</b>	25.62
<b>1963</b>	22.94
<b>1964</b>	34.33
<b>1965</b>	12.86
<b>1966</b>	22.86
<b>1967</b>	24.50
<b>1968</b>	49.70
<b>1969</b>	23.33
<b>1970</b>	14.70
<b>1971</b>	17.20
<b>1972</b>	20.44
<b>1973</b>	15.65
<b>1974</b>	14.00

<b>1975</b>	15.74
<b>1976</b>	14.49
<b>1977</b>	40.63
<b>1978</b>	17.22
<b>1979</b>	13.82
<b>1980</b>	20.70
<b>1981</b>	24.18
<b>1982</b>	17.76
<b>1983</b>	13.96
<b>1984</b>	22.25
<b>1985</b>	13.39
<b>1986</b>	30.67
<b>1987</b>	18.52
<b>1989</b>	23.22
<b>1990</b>	18.27
<b>1991</b>	17.07
<b>1992</b>	22.37
<b>1993</b>	18.90
<b>1994</b>	18.20
<b>1995</b>	26.07
<b>1996</b>	19.31
<b>1997</b>	17.70
<b>1998</b>	11.51
<b>1999</b>	12.90
<b>2000</b>	16.74
<b>2001</b>	8.94
<b>2002</b>	32.50
<b>2003</b>	21.10
<b>2004</b>	13.71
<b>2005</b>	34.63
<b>2006</b>	15.63
<b>2007</b>	22.00
<b>2008</b>	14.66
<b>2009</b>	14.40
<b>2010</b>	28.35
<b>2011</b>	20.74

**Tabella 2 - Altezze di pioggia (mm) corrispondenti a eventi di pioggia di massima intensità per durate di 24h registrate presso la stazione di Borore), consultabili negli annali idrologici della Sardegna.**

<b>Stazione Borore</b>	
<b>Anno</b>	<b>P max giornaliera annuale</b>
1931	16.36
1932	13.00
1933	28.78
1934	15.67
1935	19.24
1936	12.70
1937	27.00
1938	18.60
1939	24.43
1940	16.93
1941	22.50
1942	16.00
1943	31.00
1944	13.50
1945	10.72
1946	20.55
1947	26.00
1948	24.67
1949	25.22
1950	20.00
1951	13.03
1952	15.00
1953	23.19
1954	10.00
1955	15.67
1956	24.50
1957	13.47
1958	16.00
1959	18.13
1960	13.61

<b>1961</b>	13.59
<b>1962</b>	21.67
<b>1963</b>	18.75
<b>1964</b>	21.25
<b>1965</b>	18.25
<b>1966</b>	24.40
<b>1967</b>	14.50
<b>1968</b>	24.00
<b>1969</b>	19.50
<b>1970</b>	13.50
<b>1971</b>	11.31
<b>1972</b>	19.29
<b>1973</b>	21.00
<b>1974</b>	11.91
<b>1975</b>	13.25
<b>1976</b>	12.33
<b>1977</b>	15.80
<b>1978</b>	15.67
<b>1979</b>	15.80
<b>1980</b>	21.25
<b>1981</b>	21.00
<b>1982</b>	11.58
<b>1983</b>	9.44
<b>1984</b>	14.71
<b>1985</b>	14.70
<b>1986</b>	14.70
<b>1987</b>	19.00
<b>1988</b>	15.90
<b>1989</b>	19.30
<b>1990</b>	13.23
<b>1991</b>	17.90
<b>1992</b>	16.75
<b>1993</b>	12.76
<b>1994</b>	20.20
<b>1995</b>	14.35
<b>1996</b>	14.23

<b>1997</b>	13.75
<b>1998</b>	10.13
<b>1999</b>	9.80
<b>2000</b>	16.67
<b>2001</b>	7.75
<b>2002</b>	14.86
<b>2003</b>	29.20
<b>2004</b>	17.33
<b>2005</b>	19.47
<b>2006</b>	31.60
<b>2007</b>	9.65
<b>2008</b>	14.33
<b>2009</b>	19.00
<b>2010</b>	12.49
<b>2011</b>	23.77

**Tabella 3 - Altezze di pioggia (mm) corrispondenti a eventi di pioggia di massima intensità per durate di 24h registrate presso la stazione di Cuglieri, consultabili negli annali idrologici della Sardegna.**

<b>Stazione Cuglieri</b>	
<b>Anno</b>	<b>P max giornaliera annuale</b>
<b>1922</b>	13.47
<b>1923</b>	17.50
<b>1924</b>	24.14
<b>1925</b>	18.85
<b>1926</b>	16.07
<b>1927</b>	18.21
<b>1928</b>	20.84
<b>1929</b>	14.28
<b>1930</b>	25.90
<b>1931</b>	14.51
<b>1932</b>	27.50
<b>1933</b>	27.50
<b>1934</b>	19.40

<b>1935</b>	20.71
<b>1936</b>	27.94
<b>1937</b>	21.88
<b>1938</b>	25.50
<b>1939</b>	15.80
<b>1940</b>	11.95
<b>1941</b>	23.50
<b>1942</b>	15.50
<b>1943</b>	17.50
<b>1944</b>	15.50
<b>1945</b>	14.75
<b>1946</b>	13.90
<b>1947</b>	15.44
<b>1948</b>	20.13
<b>1949</b>	32.00
<b>1950</b>	19.43
<b>1951</b>	30.20
<b>1952</b>	16.46
<b>1953</b>	12.85
<b>1954</b>	10.12
<b>1955</b>	14.25
<b>1956</b>	15.29
<b>1957</b>	13.32
<b>1958</b>	13.40
<b>1959</b>	13.37
<b>1960</b>	17.83
<b>1961</b>	16.18
<b>1962</b>	11.76
<b>1963</b>	19.85
<b>1964</b>	17.20
<b>1965</b>	13.73
<b>1966</b>	15.04
<b>1967</b>	22.00
<b>1968</b>	31.30
<b>1969</b>	20.50
<b>1970</b>	12.48

<b>1971</b>	14.71
<b>1972</b>	34.52
<b>1973</b>	19.90
<b>1974</b>	13.21
<b>1975</b>	15.15
<b>1976</b>	10.71
<b>1977</b>	34.05
<b>1978</b>	18.07
<b>1979</b>	20.40
<b>1980</b>	15.58
<b>1981</b>	17.86
<b>1982</b>	22.10
<b>1983</b>	17.68
<b>1984</b>	12.68
<b>1985</b>	10.84
<b>1986</b>	47.30
<b>1987</b>	22.14
<b>1988</b>	15.12
<b>1989</b>	14.17
<b>1990</b>	18.92
<b>1991</b>	20.78
<b>1992</b>	17.83
<b>1993</b>	18.43
<b>1994</b>	23.15
<b>1995</b>	12.76
<b>1996</b>	17.54
<b>1997</b>	18.40
<b>1998</b>	9.49
<b>1999</b>	15.40
<b>2000</b>	22.66
<b>2001</b>	10.03
<b>2002</b>	17.77
<b>2003</b>	14.62
<b>2004</b>	18.00
<b>2005</b>	25.60
<b>2006</b>	14.00

<b>2007</b>	13.64
<b>2008</b>	16.46
<b>2009</b>	16.02
<b>2010</b>	14.49
<b>2011</b>	31.71

**Tabella 4 - Altezze di pioggia (mm) corrispondenti a eventi di pioggia di massima intensità per durate di, 24h registrate presso la stazione di Silanus, consultabili negli annali idrologici della Sardegna**

<b>Stazione Silanus</b>	
<b>Anno</b>	<b>P max giornaliera annuale</b>
<b>1936</b>	23.33
<b>1937</b>	28.20
<b>1938</b>	14.74
<b>1939</b>	22.39
<b>1940</b>	39.35
<b>1941</b>	22.15
<b>1942</b>	16.67
<b>1944</b>	22.50
<b>1945</b>	23.47
<b>1946</b>	9.40
<b>1947</b>	20.71
<b>1948</b>	23.82
<b>1949</b>	31.40
<b>1950</b>	27.13
<b>1951</b>	26.00
<b>1952</b>	24.35
<b>1953</b>	38.00
<b>1954</b>	20.17
<b>1955</b>	18.63
<b>1956</b>	32.50
<b>1957</b>	18.00
<b>1958</b>	17.35
<b>1959</b>	28.30
<b>1960</b>	13.55

<b>1961</b>	14.81
<b>1962</b>	27.90
<b>1963</b>	23.73
<b>1964</b>	17.53
<b>1965</b>	20.00
<b>1966</b>	35.82
<b>1967</b>	14.29
<b>1968</b>	37.00
<b>1969</b>	21.58
<b>1970</b>	19.00
<b>1971</b>	24.50
<b>1972</b>	30.00
<b>1973</b>	17.00
<b>1974</b>	16.25
<b>1975</b>	20.71
<b>1976</b>	19.81
<b>1977</b>	63.00
<b>1978</b>	38.00
<b>1979</b>	17.05
<b>1980</b>	19.42
<b>1981</b>	30.50
<b>1982</b>	22.25
<b>1983</b>	14.44
<b>1984</b>	25.83
<b>1985</b>	14.01
<b>1986</b>	23.33
<b>1987</b>	21.65
<b>1988</b>	15.94
<b>1989</b>	25.07
<b>1990</b>	13.34
<b>1991</b>	23.52
<b>1992</b>	16.96
<b>1993</b>	13.37
<b>1994</b>	20.83
<b>1995</b>	13.20
<b>1996</b>	15.46

<b>1997</b>	14.87
<b>1998</b>	17.90
<b>1999</b>	13.00
<b>2000</b>	22.77
<b>2001</b>	9.40
<b>2002</b>	18.47
<b>2003</b>	30.00
<b>2004</b>	14.30
<b>2005</b>	20.24
<b>2006</b>	27.60
<b>2007</b>	30.17
<b>2008</b>	12.13
<b>2009</b>	20.44
<b>2010</b>	18.20
<b>2011</b>	17.05

Per poter ottenere una serie storica consistente e quindi utilizzabile ai fini della modellazione idrologica e al fine di tenere in debita considerazione tutti i dati di pioggia disponibili, si è fatto ricorso al *Metodo delle Distanze Inverse Pesate* in cui il valore stimato in un punto è influenzato dalle stazioni più vicine di conseguenza la stima risulta essere inversamente proporzionale alla distanza dei punti di misura attraverso la relazione proposta di seguito. Pertanto, dalle serie storiche disponibili per eventi di intensità massima, sono state ricavate altezze di pioggia risultanti da medie pesate come nella formula che segue:

$$P = \frac{\sum_1^N \left( \frac{P_i}{d_i^2} \right)}{\sum_1^N \left( \frac{1}{d_i^2} \right)}$$

Dove:

- P = altezza di pioggia ottenuta da media pesata sulle distanze inverse [mm];
- P<sub>i</sub> = altezza di pioggia della stazione “i-esima” [mm];
- D<sub>i</sub> = distanza della stazione “i-esima” dal sito di progetto [m].

A valle dell'applicazione del metodo delle distanze inverse pesate alle stazioni di riferimento sono state ottenute le serie di dati riportate nella seguente tabella per ciascuna durata e per ogni annata interessata dai campioni statistici:

**Tabella 5 - Altezza di pioggia (mm) corrispondenti a eventi piovosi di massima intensità per durate di 24h ricavate dall'applicazione del metodo delle distanze inverse ai dati registrati presso le stazioni di riferimento nel caso in esame.**

<b>Dati di pioggia derivanti dal metodo distanze inverse</b>	
<b>Anno</b>	<b>P max giornaliera annuale</b>
1922	15.28
1923	24.36
1924	19.01
1925	18.69
1926	14.52
1927	26.21
1928	25.45
1929	27.43
1930	25.99
1931	26.33
1932	28.15
1933	21.47
1934	20.24
1935	17.12
1936	23.83
1937	18.90
1938	22.23
1939	20.26
1940	14.38
1941	19.55
1942	14.84
1943	16.98
1944	26.40
1945	13.55
1946	13.30
1947	21.48
1948	22.17
1949	23.17
1950	27.99

<b>1951</b>	26.44
<b>1952</b>	20.83
<b>1953</b>	24.76
<b>1954</b>	15.00
<b>1955</b>	15.41
<b>1956</b>	27.69
<b>1957</b>	20.67
<b>1958</b>	26.19
<b>1959</b>	36.16
<b>1960</b>	19.41
<b>1961</b>	32.31
<b>1962</b>	24.14
<b>1963</b>	22.48
<b>1964</b>	31.58
<b>1965</b>	13.38
<b>1966</b>	22.52
<b>1967</b>	23.53
<b>1968</b>	46.42
<b>1969</b>	22.84
<b>1970</b>	14.55
<b>1971</b>	16.92
<b>1972</b>	22.07
<b>1973</b>	16.34
<b>1974</b>	13.90
<b>1975</b>	15.72
<b>1976</b>	14.18
<b>1977</b>	39.58
<b>1978</b>	17.84
<b>1979</b>	14.65
<b>1980</b>	20.18
<b>1981</b>	23.60
<b>1982</b>	18.06
<b>1983</b>	14.15
<b>1984</b>	21.09
<b>1985</b>	13.21
<b>1986</b>	31.44

<b>1987</b>	18.99
<b>1988</b>	2.64
<b>1989</b>	22.21
<b>1990</b>	17.98
<b>1991</b>	17.66
<b>1992</b>	21.53
<b>1993</b>	18.43
<b>1994</b>	18.85
<b>1995</b>	23.88
<b>1996</b>	18.81
<b>1997</b>	17.52
<b>1998</b>	11.44
<b>1999</b>	13.02
<b>2000</b>	17.50
<b>2001</b>	9.01
<b>2002</b>	29.89
<b>2003</b>	21.06
<b>2004</b>	14.31
<b>2005</b>	32.67
<b>2006</b>	16.48
<b>2007</b>	20.89
<b>2008</b>	14.75
<b>2009</b>	14.93
<b>2010</b>	26.01
<b>2011</b>	21.85

#### 4. ANALISI DEI DATI IDROLOGICI DISPONIBILI

L'analisi statistica degli estremi idrologici è stata condotta secondo due diversi approcci, non necessariamente alternativi tra loro:

1. Metodo non parametrico di Gringorten.
2. La funzione Gumbel che stima i parametri con il metodo dei momenti.
3. La funzione di Gumbel che stima i parametri utilizzando il metodo degli L-Moments.
4. La funzione GEV che stima i parametri usando il metodo dei momenti.
5. La funzione GEV che stima i parametri usando il metodo L-Moments.

Una volta effettuato il calcolo, verrà determinata la funzione che meglio si adatta ai dati di precipitazione disponibili. Nel seguito, la formulazione corrispondente sarà sviluppata per ciascuna delle funzioni scelte per il calcolo

##### 4.1. GRINGORTEN

Il metodo non parametrico di Gringorten consiste nell'assegnare una probabilità di non superamento per ogni dato di pioggia in ogni pluviometro. Il metodo applica la seguente formulazione:

$$P(X < x_m) = 1 - \frac{m - b}{n + 1 - 2b}$$

Dove:

- $m$  Posizione  $m$  del valore nella tabella ordinata dal più alto al più basso.  
 $n$  Numero totale di valori della variabile  $x_i$ .  
 $x_i$  Valori massimi di precipitazione giornaliera.  
 $b = 0.44$  Costante di metodo Gringorten.

Infine, tracciamo le precipitazioni in funzione del periodo di ritorno corrispondente, tenendo conto che il periodo di ritorno è calcolato come l'inverso della probabilità di superamento come segue:

$$Tr = \frac{1}{P(X > x_m)} = \frac{1}{1 - P(X < x_m)}$$

##### 4.2. GUMBEL

Questa è una distribuzione di valori estremi, formulata da Gumbel nel 1941 e successivamente da Chow nel 1954. È un metodo poco flessibile perché ha una curvatura imposta. È un caso particolare della funzione di valore estremo generalizzato (GEV). Il metodo utilizza due parametri per eseguire la stima:

$u = \text{Parametro di localizzazione}$

$\alpha = \text{Parametro di scala}$

In questo caso, i quantili sono calcolati come segue:

$$Q_T = x_T = u - \alpha * \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right]$$

Per stimare i parametri  $u$  e  $\alpha$  della funzione di Gumbel usiamo due metodi diversi: il metodo dei momenti e il metodo degli L-Momenti, al fine di ottenere due diverse leggi di frequenza.

#### 4.2.1. METODO DEI MOMENTI

Per il calcolo dei parametri con il metodo dei momenti, usiamo i momenti campione, in questo caso calcoliamo  $m_1, m_2$  nel modo seguente:

$$m_1 = \text{media del campione} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \bar{x} = \mu$$

$$m_2 = \text{varianza del campione} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sigma^2$$

$$u = \text{Parametro di localizzazione} = m_1 - 0.45005 * \sqrt{m_2}$$

$$\alpha = \text{Parametro di scala} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * \sqrt{m_2}$$

In questo modo, i due parametri della funzione di Gumbel  $u$  e  $\alpha$  sono ottenuti, utilizzando il metodo dei momenti.

#### 4.2.2. METODO L-MOMENT

Questo metodo si basa sul calcolo di momenti pesati probabilisticamente. La procedura di calcolo è la seguente:

$$\beta_r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \left( \frac{i-0.35}{N} \right)^r$$

Dove:

$x_i$	Dati ordinati in ordine crescente
$N$	Numero di dati nella serie
$i$	Numero d'ordine del dato nella serie
$r$	Ordine del momento

Gli L-moments sono combinazioni lineari dei momenti ponderati  $\beta_r$ :

$$\lambda_1 = \beta_0$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0$$

$$m_1 = \text{media del campione} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \bar{x} = \mu$$

$$t_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \text{coefficiente di variazione del campione}$$

$$u = \text{Parametro di localizzazione} = \lambda_1 - 0.5772157\alpha$$

$$\alpha = \text{Parametro di scala} = \frac{\lambda_2}{\ln(2)}$$

Una volta che  $u$  e  $\alpha$ , sono stati calcolati con i due metodi descritti sopra, si calcola la funzione di probabilità cumulativa di Gumbel, con il seguente cambio di variabile. Infine arriviamo a un'espressione in cui il periodo di ritorno interviene.

$$F(x) = e^{-e^y}$$

$$y = \frac{x - u}{\alpha}$$

$$y_T = - \ln \left[ - \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right]$$

Con questa espressione e la stima dei parametri con i due metodi descritti sopra, inserendo l'espressione dei quantili della funzione di Gumbel, otteniamo i dati di precipitazione massima per i diversi periodi di ritorno.

$$Q_T = x_T = u - \alpha \cdot \ln \left[ - \ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right]$$

### 4.3. FUNZIONE DI VALORE ESTREMO GENERALIZZATO (GEV)

È una funzione con più flessibilità della funzione Gumbel, poiché utilizza tre parametri:

$$u = \text{Parametro di localizzazione}$$

$$\alpha = \text{Parametro di scala}$$

$$k = \text{Parametro di forma}$$

Per la stima dei parametri  $u$ ,  $\alpha$  e  $k$  della funzione usiamo due metodi diversi, come nel caso della funzione di Gumbel ottenendo due diverse leggi di frequenza.

$$Q_T = \hat{x}_T = u + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[ - \ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right]^k \right\}$$

### 4.3.1. METODO DEI MOMENTI

Utilizzando i momenti del campione, calcoliamo  $m_1, m_2$ :

$$m_1 = \text{media del campione} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \bar{x} = \mu$$

$$m_2 = \text{varianza del campione} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sigma^2$$

Con questi dati, calcoliamo i parametri:

$$u = \text{Parametro di localizzazione} = m_1 - \frac{\alpha}{k} [1 - \Gamma(1+k)]$$

$$\alpha = \text{Parametro di scala} = \sqrt{\frac{m_2 k^2}{\Gamma(1+2k) - \Gamma^2(1+k)}}$$

Il parametro  $k$  è una funzione del coefficiente di distorsione  $C_s$

$$k = 0.2858221 - 0.357983 C_s + 0.116659 C_s^2 - 0.022725 C_s^3 + 0.002604 C_s^4 - 0.000161 C_s^5 + 0.000004 C_s^6$$

In questo modo otteniamo i due parametri della funzione con il metodo dei momenti.

### 4.3.2. METODO L-MOMENT

Questo metodo si basa sul calcolo di momenti pesati probabilisticamente.

$$\beta_r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \left( \frac{i-0.35}{N} \right)^r$$

$x_i$	Dati ordinati in ordine crescente
$N$	Numero di dati nella serie
$i$	Numero d'ordine del dato nella serie
$r$	Ordine del momento

Gli L-Moments sono combinazioni lineari dei  $\beta_r$ :

$$\lambda_1 = \beta_0$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0$$

$$m_1 = \text{media del campione} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \bar{x} = \mu$$

$$t_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \text{coefficiente di variazione del campione}$$

$$t_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} = \text{coefficiente di distorsione del campione}$$

$$u = \text{Parametro di localizzazione} = \lambda_1 + \frac{\alpha}{k} [\Gamma(1+k) - 1]$$

$$\alpha = \text{Parametro di scala} = \frac{\lambda_2 k}{\Gamma(1+k)\Gamma(1-2^{-k})}$$

$$k = 7.8590C + 2.9554C^2$$

$$C = \frac{2}{3 + t_3} - \frac{\ln(2)}{\ln(3)}$$

Con uno sviluppo analogo alla funzione di Gumbel, una volta che  $u$ ,  $\alpha$  e  $k$ , sono stati calcolati con i due metodi, insieme ai dati forniti dalla funzione di probabilità cumulativa GEV, calcoliamo i quantili, ottenendo i dati che stiamo cercando.

$$Q_T = \hat{x}_T = u + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right]^k \right\}$$

#### 4.4. IMPOSTAZIONE SCELTA PER LE STAZIONE DI SUNI

Una volta calcolate le leggi di frequenza congiunte delle stazioni, viene scelta la funzione statistica che meglio si adatta ai dati disponibili. Gli aggiustamenti fatti per ogni serie di dati, così come la scelta del metodo più appropriato, sono descritti di seguito.

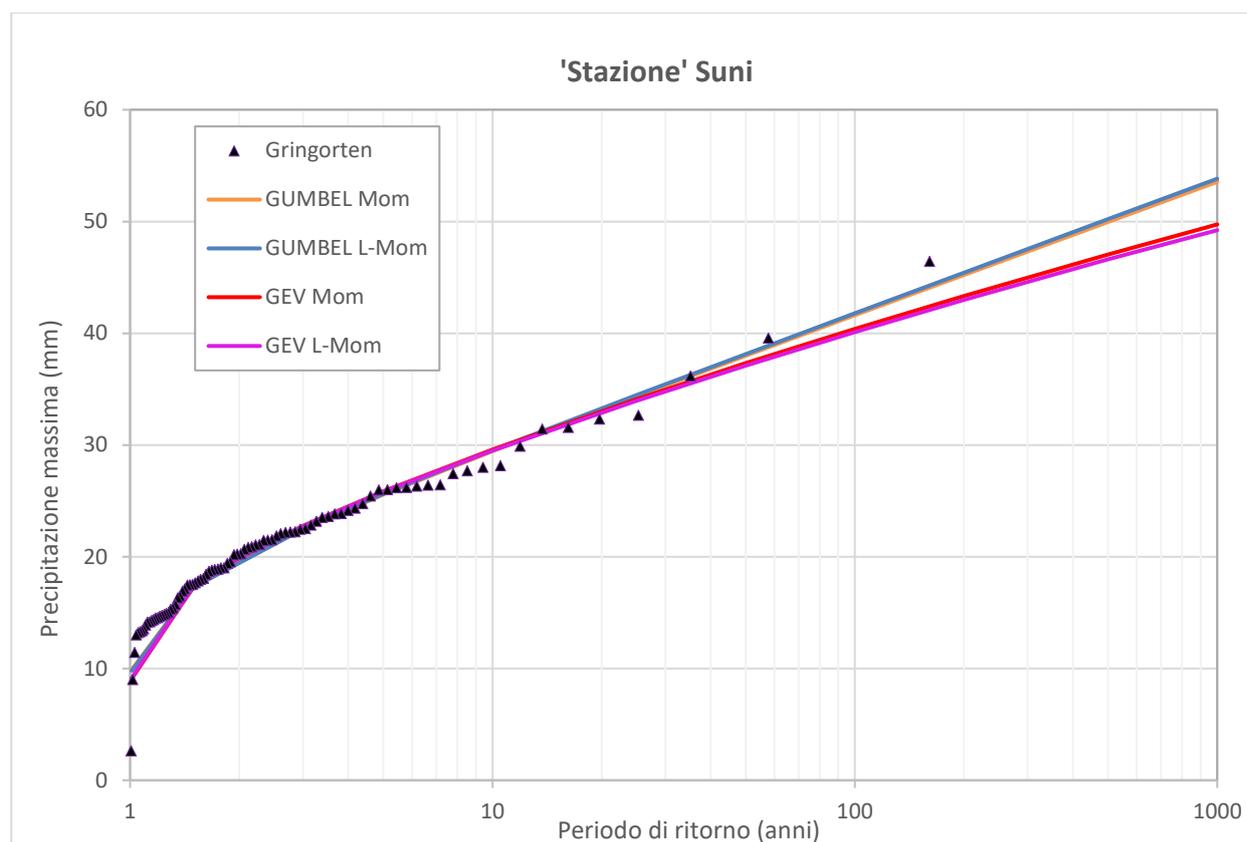


Figura 10 - Distribuzioni statistiche

Per la stazione indicata, è stata scelta la seguente distribuzione, insieme ai dati corrispondenti:

Tabella 6 - Test di bontà della forma per le diverse distribuzioni statistiche

STAZIONE 'SUNI'	
Test di bontà della forma:	
GUMBEL MOM	0.047798174
GUMBEL LMOM	0.048136903
GEV MOM	0.050163915
GEV LMOM	1
<b>Mínimio</b>	<b>0.047798174</b>

La distribuzione scelta è la distribuzione di Gumbel, che dà i seguenti risultati di pioggia:

Tabella 7 - Altezze di pioggia [mm] calcolate per diversi periodi di ritorno

GUMBEL MOM	
Tr	P. max.(mm)
10	29.45
25	34.36
50	38.00
100	41.61
200	45.21
500	49.96
1000	53.55

## 5. METODO AFFLUSSI DEFLUSSI

### 5.1. METODO RAZIONALE

Il metodo razionale è un procedimento particolarmente semplice ed efficace per calcolare la portata al colmo di piena  $Q$ , con un tempo di ritorno  $T$ , assegnato alla sezione di chiusura di un bacino. Generalmente utilizzato nel caso di bacini di estensione inferiore a 10 kmq si fonda sulla seguente formula:

$$Q = C \cdot S \cdot a \cdot T_c^{n-1}$$

Dove:

- $Q$  = portata di progetto in (m<sup>3</sup>/s)
- $S$  = sottobacino imbrifero a monte della sezione di chiusura (mq)
- $C$  = coefficiente di deflusso medio del sottobacino imbrifero [adimensionale];
- $T_c$  = tempo di corrivazione del bacino [sec];
- $a$  = parametro della curva di probabilità pluviometrica (c.p.p.), [mm/(sec)]
- $n$  = parametro della curva di probabilità pluviometrica (c.p.p.), [adimensionale].

Il modello adottato assume le seguenti ipotesi:

- Piogge caratterizzate da un tempo di ritorno  $T_r$  generano portate al picco di identico tempo di ritorno  $T_r$ ;
- A parità di tempo di ritorno  $T_r$ , la portata al colmo maggiore è quella determinata dall'evento di pioggia di durata pari al tempo di corrivazione ( $T_c$ , che diventa quindi tempo critico);
- La portata al colmo  $Q$ , determinata da una pioggia di intensità costante e durata  $T_c$ , è

proporzionale al prodotto dell'intensità di pioggia ragguagliata all'area e dell'area del bacino S, attraverso un coefficiente C che comprende l'effetto delle perdite per infiltrazione.

La prima ipotesi risulta abbastanza aderente alla realtà, mentre la seconda e la terza assunzione possono giustificarsi schematizzando opportunamente il fenomeno della trasformazione afflussi – deflussi assumendo che le perdite siano proporzionali all'intensità di pioggia e che il tempo impiegato dall'acqua a raggiungere la sezione di chiusura dipenda soltanto dalla lunghezza del percorso compiuto.

## 5.2. METODO SCS-CURVE NUMBER

Il modello afflussi-deflussi nel caso di sottobacini di estensione superiore a 10 kmq, adotta il modello sviluppato dall'SCS (Soil Conservation Service), secondo il metodo del Curve Number (CN) che permette di determinare la frazione della pioggia totale che in maniera diretta e preponderante contribuisce alla formazione dell'evento di piena, tenendo conto di perdite iniziali costituite da alcuni processi quali l'intercettazione della pioggia da parte delle chiome della vegetazione, dall'accumulo nelle locali depressioni del terreno e dall'imbibizione iniziale del terreno.

La procedura di calcolo che viene prevista dal metodo in trattazione viene illustrata nei seguenti passaggi, sintetizzati per punti:

- Stima del Curve Number, relativo a condizioni di elevata umidità (CN(III)), utilizzando la seguente formula:

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

Dove:

CN(II) = Curve Number, relativo a condizioni di umidità media, desumibile dalla seguente tabella in funzione di diversi tipi di suolo e copertura:



- Stima del volume specifico di saturazione del terreno con la seguente formula:

$$V_s = 25.4 \left( \frac{1000}{CN(III)} - 10 \right)$$

Dove:

$V_s$  = volume specifico di saturazione del terreno (mm);

CN(III) = parametro numerico precedentemente calcolato.

- Stima della pioggia efficace con la seguente formula:

$$P_e = \frac{(P - 0.2 \cdot V_s)^2}{(P + 0.8 \cdot V_s)}$$

Dove:

$P_e$  = pioggia efficace (mm)

$P$  = pioggia totale (mm), esprimibile sulla base delle curve di probabilità pluviometrica risultanti dall'analisi idrologica e riferibile ad una durata pari al tempo di corrivazione del bacino ( $t_c$ );

$V_s$  = volume specifico di saturazione del terreno [mm], precedentemente calcolato.

- Calcolo del tempo di accumulo nel bacino ( $t_a$ ) in ore, in funzione del tempo efficace ( $t_{eff}$ ) in ore e del tempo di ritardo ( $t_r$ ) in ore, usando le seguenti formule:

$$t_a = 0.5 \cdot t_{eff} + t_r$$

$$t_{eff} = T_c \left( 1 - \frac{0.2S}{h_{T_c, T}} \right)$$

$$t_r = 0.6 \cdot T_c$$

Dove:

$h_{T_c, T}$  (mm) = altezza di pioggia esprimibile sulla base delle curve di possibilità pluviometrica in funzione del tempo di ritorno (T) e del tempo totale di pioggia assunto pari al tempo di corrivazione del bacino ( $T_c$ );

$T_c$  (ore) = tempo di corrivazione del bacino considerato.

- Calcolo dell'idrogramma unitario, usando la seguente formula:

$$Q_p = 0.208 \cdot \frac{P_e \cdot S}{t_a}$$

Dove:

$Q_p$  = portata di picco dell'idrogramma unitario [ $m^3/sec \cdot mm$ ];

$P_e$  = pioggia efficace [mm];

$S$  = estensione del bacino [kmq];

$t_a$  = *tempo di accumulo [ore]*.

- Calcolo della portata al colmo, usando la seguente formula:

$$Q = Q_p \cdot h_{T_c, T}$$

Dove:

$Q$  = portata al colmo [ $m^3/s$ ];

$Q_p$  = portata di picco dell'idrogramma unitario [ $m^3/ sec \cdot mm$ ];

$h_{T_c, T}$  = altezza di pioggia calcolata sulla base della curva di probabilità pluviometrica in relazione ad un evento di durata pari al tempo di corrivazione ( $T_c$ ) e di fissato tempo di ritorno ( $T$ ).

## 6. ANALISI IDRAULICA E VERIFICA DELLE AREE ESONDABILI

Nell'analisi idraulica si è proceduto con la simulazione della portata al colmo di piena al fine di individuare le aree inondabili e stabilire la sicurezza idraulica delle aree. L'output dello studio idrologico-idraulico, simulando eventi con tempo di ritorno di 200 anni, consente di individuare la parte di territorio allagabile al fine di definire il livello di pericolosità: Alta, Media e Bassa.

### 6.1. INQUADRAMENTO DEL BACINO DI INTERESSE

L'analisi geografica del sito, con la sovrapposizione dei corsi d'acqua, evidenzia che le aree occupate dalle piazzole delle WTG e la cabina di raccolta non si trovano in prossimità di fiumi o corsi d'acqua che possano creare pericolo di inondazione, a parte l'area occupata dalla WTG SUNI 4.

Di seguito viene riportato l'inquadramento dell'area di interesse e le caratteristiche morfologiche del sottobacino considerato:

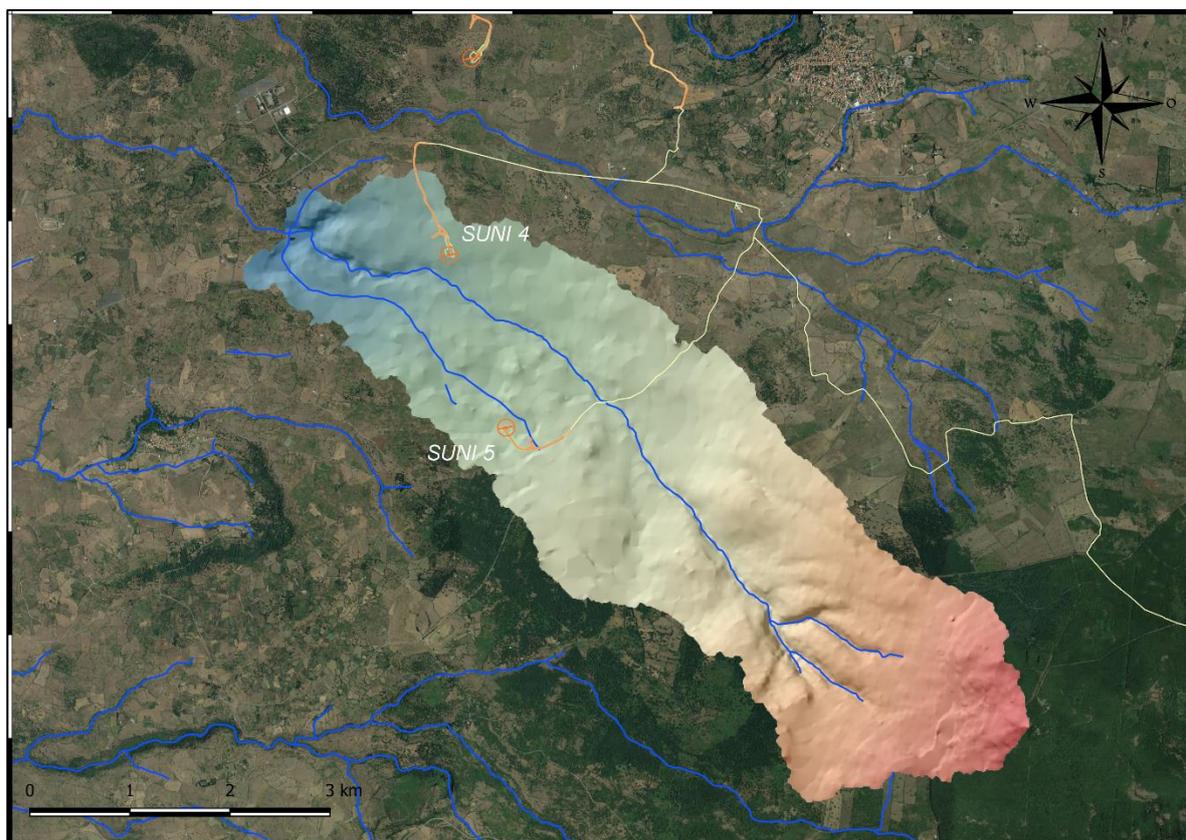


Figura 11 - Inquadramento su ortofoto del sottobacino sotteso al corso d'acqua in prossimità della WTG SUNI 4

4

Tabella 10 - Caratteristiche principali del sottobacino

Area [kmq]	L Asta [km]	Pendenza asta	Pendenza bacino	H max [m.s.l.m.]	H med [m.s.l.m.]	H min [m.s.l.m.]
14.61	10.26	0.039	0.06	800	518	374

## 6.2. CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

Il tempo di corrivazione del bacino coincide con il tempo di durata della pioggia. Tale parametro indica il tempo che impiega una goccia d'acqua dal punto idraulicamente più svantaggiato a raggiungere la sezione di chiusura del bacino.

Per il calcolo del tempo di corrivazione sono state utilizzate le seguenti formule presenti in letteratura:

– **Formula di Pezzoli**

$$t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{i_k}} \quad (\text{ore})$$

– **Formula di Pasini**

$$t_c = \frac{0.108^2 \sqrt{A_b \cdot L}}{\sqrt{i_k}} \quad (\text{ore})$$

– **Formula di Viparelli**

$$t_c = \frac{L}{3600 \cdot V} \quad (\text{ore})$$

– **Formula di Ventura**

$$t_c = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{A_b}{i}} \quad (\text{ore})$$

Dove:

$A_b$  è l'area del bacino espressa in km<sup>2</sup>

$i$  è la pendenza media del bacino

$L$  è la lunghezza dell'asta principale

$i_k$  è la pendenza media dell'asta principale

$V$  è la velocità media della corrente assunta pari a 1.5 m/s

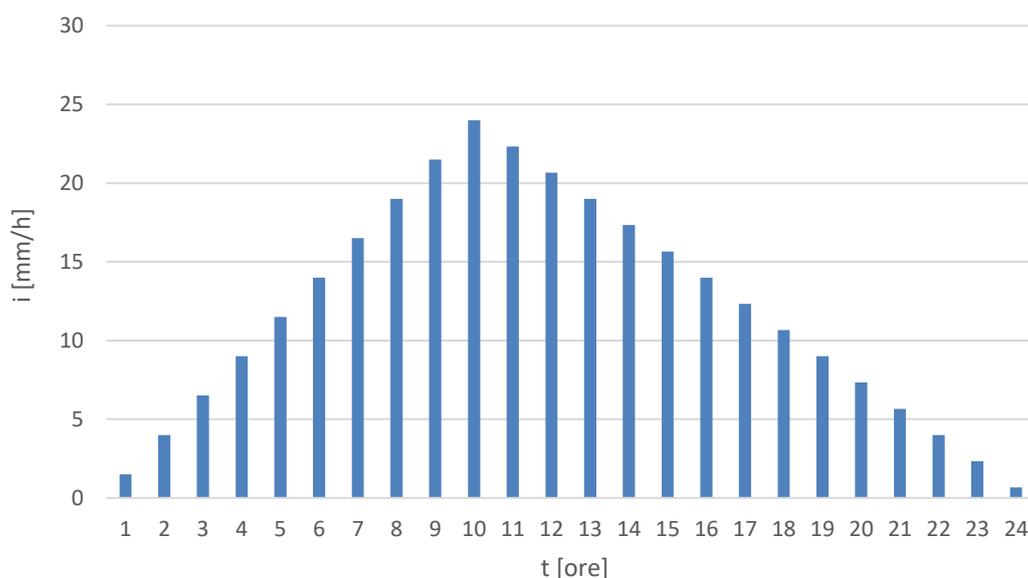
Di seguito si riporta il valore di  $t_c$  medio per il sottobacino considerato:

Tc [ore]	
<b>Pezzoli</b>	2.86
<b>Pasini</b>	2.91
<b>Viparelli</b>	1.95
<b>Ventura</b>	2.46
<b>Tc medio</b>	2.54

### 6.3. APPLICAZIONE METODO SCS-CURVE NUMBER

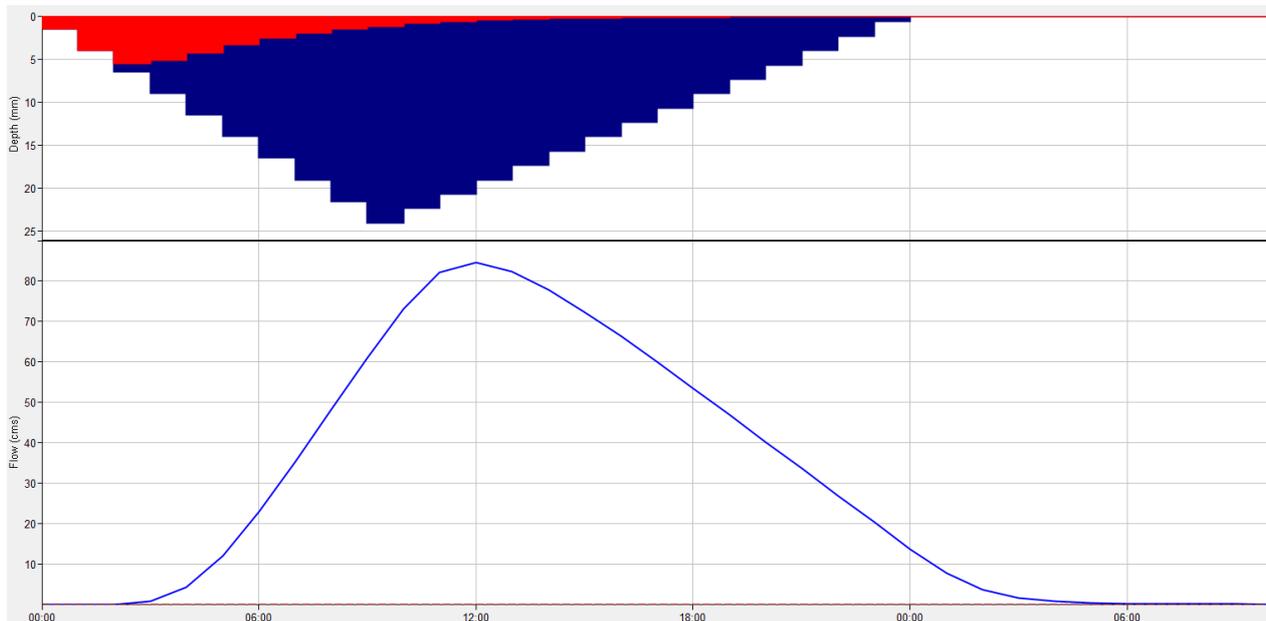
Dal momento che il processo di trasformazione afflussi-deflussi è composto da una prima fase, che consiste nella determinazione delle piogge nette e in una seconda fase che consiste nella trasformazione delle piogge nette in deflussi superficiali, al fine di poter effettuare tale trasformazione è stato utilizzato il software HEC-HMS, sviluppato dall'*Hydrologic Engineering Service del US Army Corps of Engineers* e che permette appunto di simulare la risposta di un bacino idrografico investito da un evento meteorico di caratteristiche note.

In particolare, utilizzando le informazioni ricavate dalla curva di possibilità pluviometrica stimata dalla distribuzione probabilistica di Gumbel si è ricavato lo ietogramma di progetto per un tempo di ritorno di 200 anni.



**Figura 12 - Ietogramma di progetto**

Lo ietogramma così determinato è stato caricato sul software HEC-HMS nel quale, per il bacino in esame, sono stati inseriti ulteriori dati relativi alla geometria. Il valore del curve number assunto pari a  $CN(II) = 78$  è stato ricavato consultando lo shapefile del Curve Number della regione Sardegna, grazie al quale è stato possibile calcolare il  $CN(III) = 89$  con la formula vista in precedenza.



**Figura 13 - Idrogramma di piena per  $Tr = 200$  anni per il sottobacino**

Come si evince dall'idrogramma di piena, la portata di picco per il sottobacino è pari a  $84,6 \text{ m}^3/\text{s}$ .

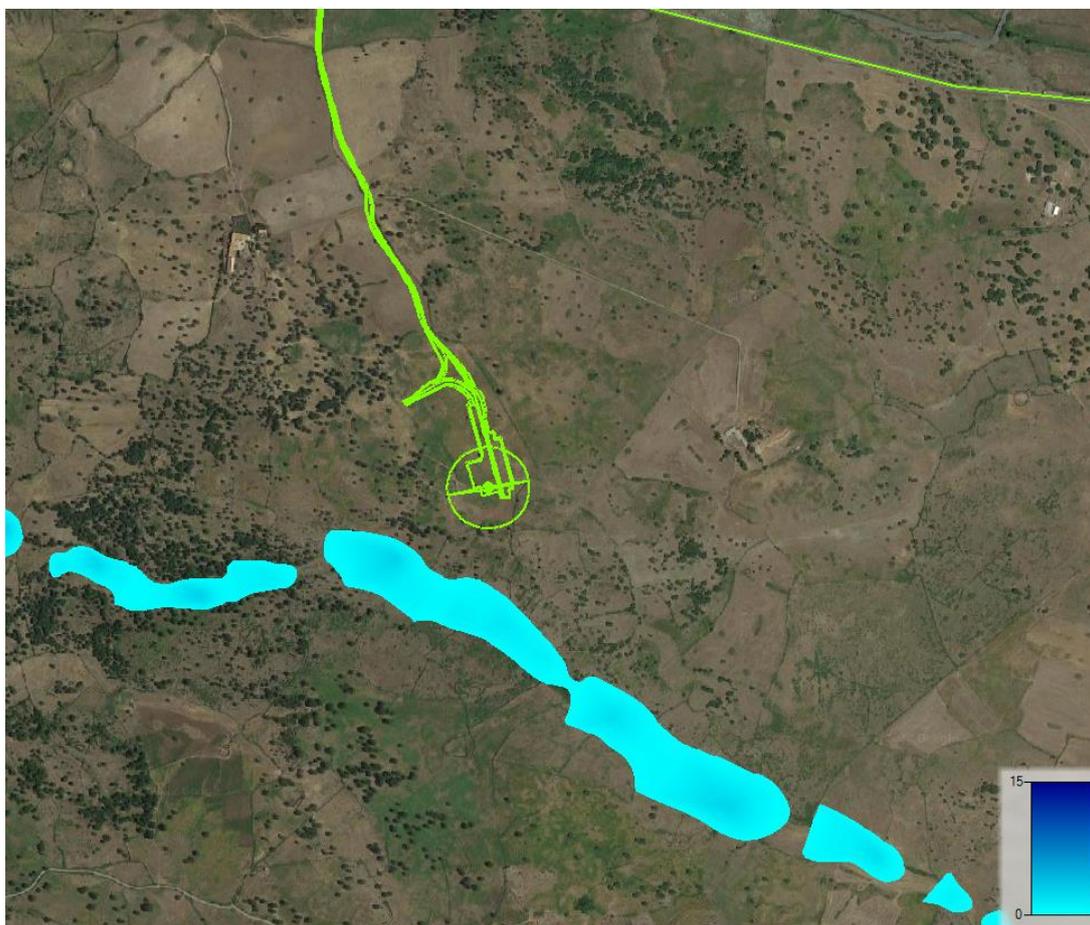
#### 6.4. VERIFICA DELLE AREE ESONDABILI

L'analisi idraulica è stata condotta in condizioni di moto vario, utilizzando l'idrogramma di piena relativo ad un flusso meteorico con un tempo di ritorno pari a 200 anni calcolato con il metodo SCS curve – number visto in precedenza.

La simulazione è stata possibile grazie all'uso del software HEC-RAS 6.2 sviluppato dall'Hydrologic Engineering Service del US Army Corps of Engineers.

All'interno del software è possibile caricare il DTM della zona interessata sul quale può essere costruita l'area dove si presume avvenga il flusso del corso d'acqua.

Di seguito vengono mostrati i risultati su base ortofoto:



**Figura 14 - Tirante idrico (Depth) per effetto della propagazione della portata di picco corrispondente a  $T_r = 200$  anni**

Come si evince dall'immagine precedente il tirante idrico, ovvero la distanza dal pelo libero al fondo del canale, non interessa le aree di costruzione della piazzola dell'areogeneratore oggetto di indagine.

## 7. DIMENSIONAMENTO CUNETTA PER DRENAGGIO STRADALE

La rete per l'evacuazione delle acque meteoriche dal corpo stradale, viene progettata in maniera da captare la totalità delle acque piovane che cadono all'interno dell'area scolante.

In sostanza la rete è costituita da una cunetta laterale, situata al bordo della carreggiata con pendenza trasversale dell'1%, che intercetta le acque piovane che vengono scaricate nelle scarpate laterali.

Gli elementi che costituiscono la rete sono quindi le cunette laterali alla carreggiata.

### 7.1. INDIVIDUAZIONE DEI BACINI DI INFLUENZA

Dallo studio morfologico delle aree oggetto di intervento sono stati tracciati i bacini drenanti della rete stradale, i quali per questo caso coincidono con la superficie stradale che scarica le acque meteoriche direttamente nelle cunette di scolo laterali.

Di seguito si riportano gli inquadramenti delle superfici di scolo:

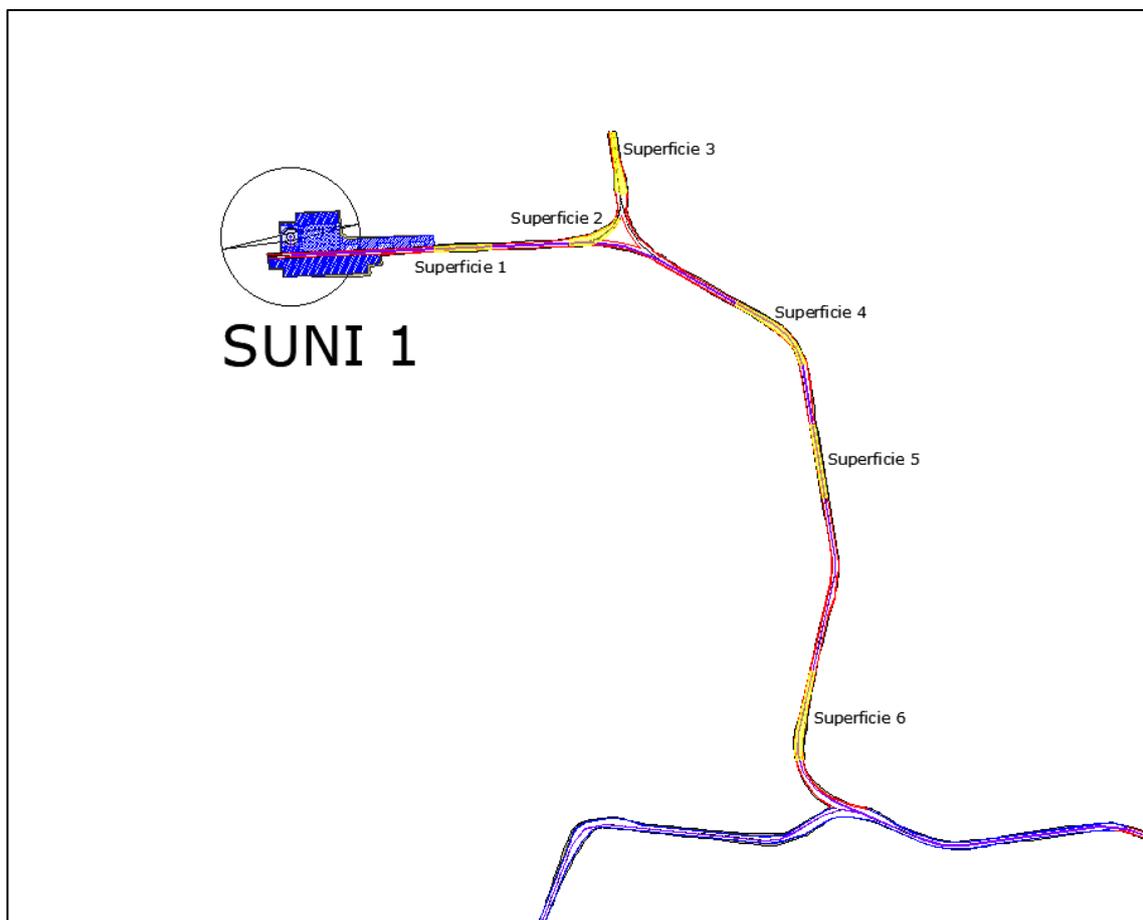


Figura 15 - Inquadramento delle superfici scolanti (in giallo) di SUNI 1

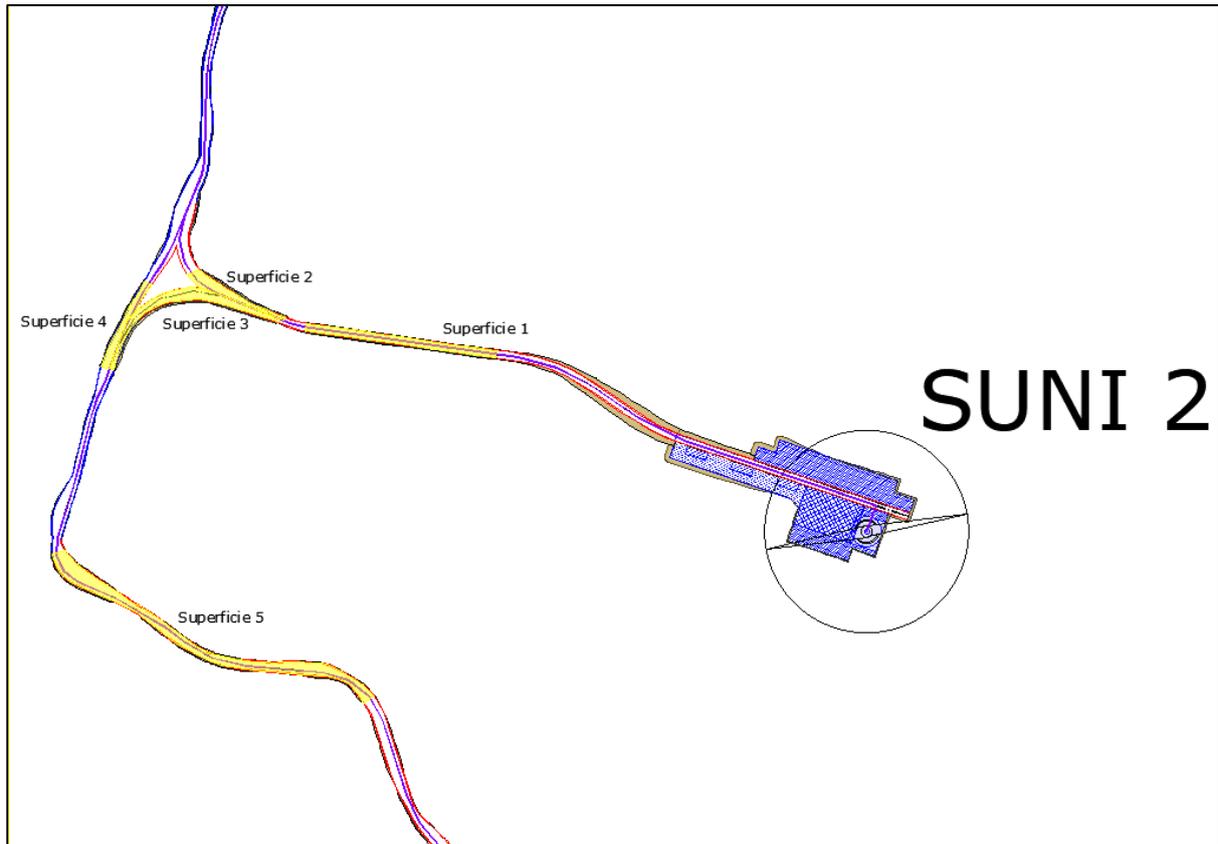


Figura 16 - Inquadramento delle superfici scolanti (in giallo) di SUNI 2

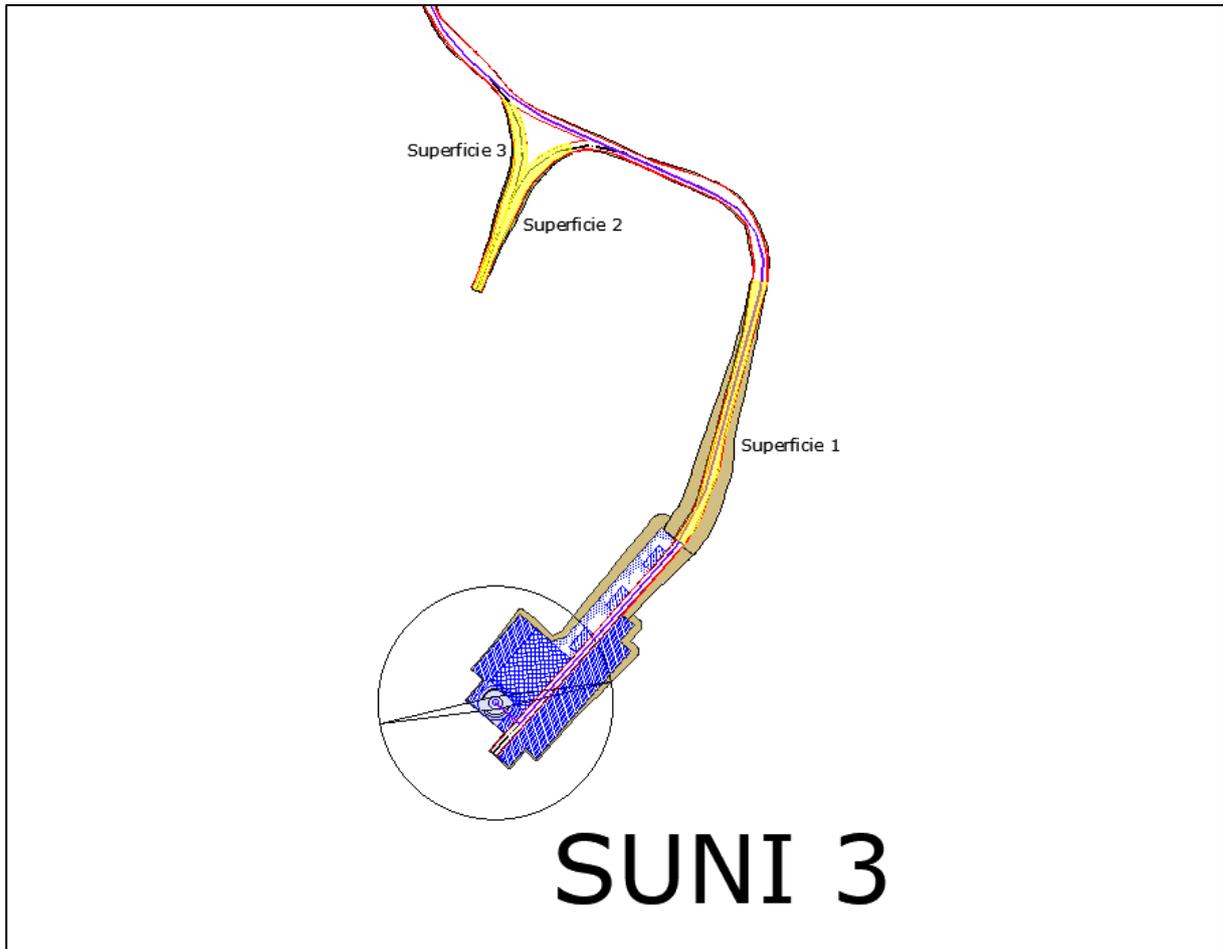


Figura 17 - Inquadramento delle superfici scolanti (in giallo) di SUNI 3

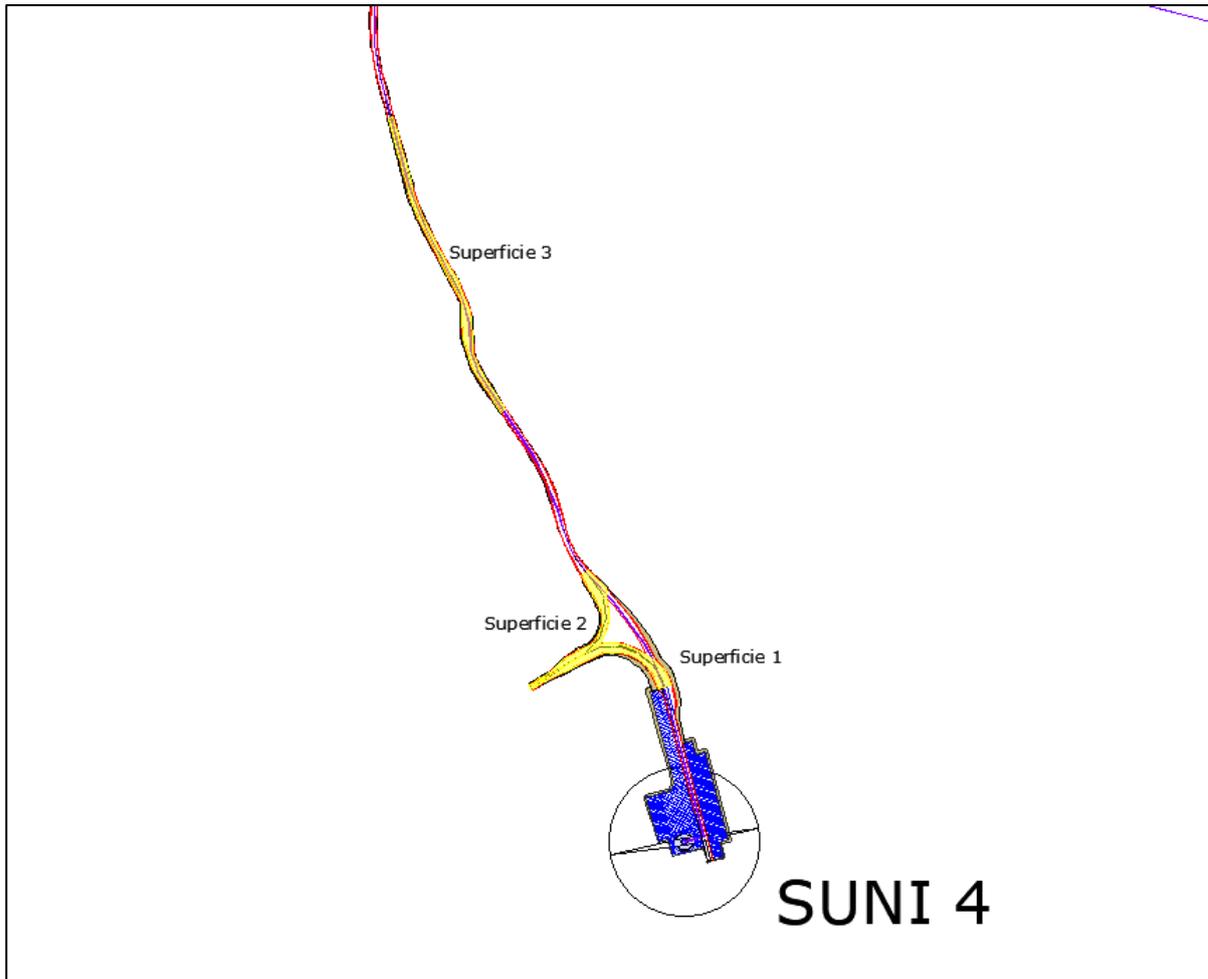
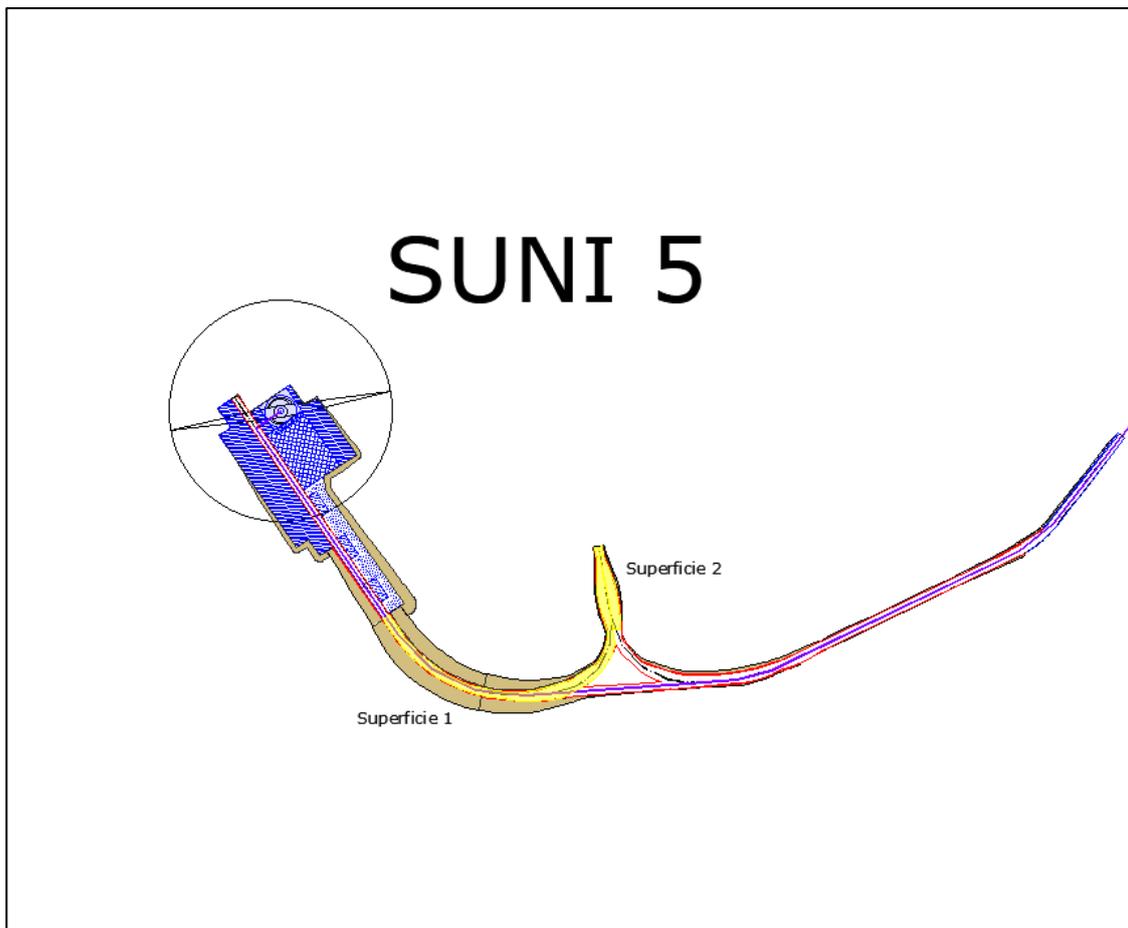


Figura 18 - Inquadramento delle superfici scolanti (in giallo) di SUNI 4



**Figura 19 - Inquadramento delle superfici scolanti (in giallo) di SUNI 5**

## **7.2. CALCOLO DELLA PORTATA AL COLMO DI PIENA**

Il calcolo della portata al colmo di piena per i vari bacini di influenza è stato ottenuto applicando la formula del Metodo Razionale:

$$Q = C \cdot S \cdot a \cdot T_c^{n-1}$$

Dove:

- Q= portata di progetto in (mc/s)
- S= sottobacino imbrifero a monte della sezione di chiusura (mq)
- C = coefficiente di deflusso medio del sottobacino imbrifero [adimensionale];
- $T_c$  = tempo di corrivazione del bacino [sec];
- a = parametro della curva di probabilità pluviometrica (c.p.p.), funzione del  $T_r$ , coincidente con l'inclinazione della retta di tendenza della curva su scala logaritmica [mm/(secn)]
- n = parametro della curva di probabilità pluviometrica (c.p.p.), funzione del  $T_r$ , coincidente con l'intercetta della retta di tendenza della c.p.p. su scala logaritmica [adimensionale].

Le caratteristiche geometriche dei bacini di influenza sono riportate nella tabella seguente:

	<b>SUNI 1</b>		
	Area [kmq]	L asta [km]	Pendenza asta
<b>Superficie 1</b>	0.0004	0.07	0.012
<b>Superficie 2</b>	0.0006	0.0595	0.02
<b>Superficie 3</b>	0.0002	0.0702	0.027
<b>Superficie 4</b>	0.0004	0.0753	0.03
<b>Superficie 5</b>	0.0008	0.115	0.013
<b>Superficie 6</b>	0.0005	0.09	0.06

	<b>SUNI 2</b>		
	Area [kmq]	L asta [km]	Pendenza asta
<b>Superficie 1</b>	0.0010	0.0796	0.019
<b>Superficie 2</b>	0.0005	0.09	0.06
<b>Superficie 3</b>	0.0011	0.1673	0.04
<b>Superficie 4</b>	0.0004	0.0774	0.02
<b>Superficie 5</b>	0.0026	0.2066	0.027

	<b>SUNI 3</b>		
	Area [kmq]	L asta [km]	Pendenza asta
<b>Superficie 1</b>	0.0013	0.1964	0.005
<b>Superficie 2</b>	0.0008	0.1094	0.02
<b>Superficie 3</b>	0.0008	0.119	0.001

	<b>SUNI 4</b>		
	Area [kmq]	L asta [km]	Pendenza asta
<b>Superficie 1</b>	0.0016	0.1705	0.02
<b>Superficie 2</b>	0.0014	0.166	0.011
<b>Superficie 3</b>	0.0025	0.3614	0.002

	SUNI 5		
	Area [kmq]	L asta [km]	Pendenza asta
<b>Superficie 1</b>	0.00189	0.2666	0.011
<b>Superficie 2</b>	0.0003946	0.0595	0.047

Per quanto riguarda il coefficiente di deflusso è stato assunto per tutti i bacini di influenza un valore pari a  $c = 0.85$  per le superfici asfaltate.

Per il calcolo del tempo di corrivazione si è fatto riferimento alla formula di Pezzoli. Di seguito si riportano i risultati ottenuti per il calcolo della portata al colmo di piena con tempo di ritorno pari a 10 anni.

SUNI 1		
C	Tc [ore]	Qp [m3/s]
0.85	0.035	0.295
0.85	0.023	0.690
0.85	0.023	0.249
0.85	0.024	0.396
0.85	0.055	0.362
0.85	0.020	0.669

SUNI 2		
C	Tc [ore]	Qp [m3/s]
0.85	0.032	0.760
0.85	0.020	0.634
0.85	0.046	0.578
0.85	0.030	0.373
0.85	0.069	0.942

SUNI 3		
C	Tc [ore]	Qp [m3/s]
0.85	0.153	0.220
0.85	0.043	0.450
0.85	0.207	0.099



**SUNI 4**

C	Tc [ore]	Qp [m3/s]
0.85	0.066	0.621
0.85	0.087	0.391
0.85	0.444	0.139

**SUNI 5**

C	Tc [ore]	Qp [m3/s]
0.85	0.140	0.338
0.85	0.015	0.654

### 7.3. VERIFICA IDRAULICA DELLE CUNETTE STRADALI

Il dimensionamento viene condotto confrontando il valore di portata proveniente dal calcolo del Metodo Razionale, con il valore di portata ricavato dall'equazione di continuità di Manning, considerando il materiale di finitura e le caratteristiche geometriche della sezione idraulica della cunetta:

$$Q = A_m \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \sqrt{i}$$

con R, pari al raggio idraulico, così definito:

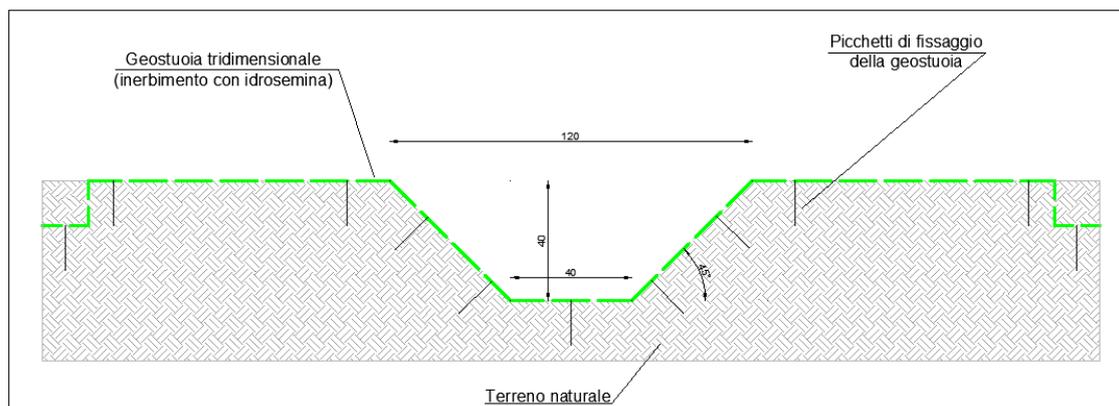
$$R = \frac{A_m}{P_m}$$

- Q = portata del canale in m<sup>3</sup>/s;
- A<sub>m</sub> = area bagnata in m<sup>2</sup>;
- n = coefficiente di resistenza di Manning in (s / m<sup>1/3</sup>);
- i = pendenza longitudinale del dreno.

Verrà usata una cunetta di scolo con sezione trasversale di tipo trapezoidale con geostuoia e inerbimento con idrosemina di area pari a 0.32 mq con le seguenti caratteristiche dimensionali:

**Tabella 11 - Caratteristiche geometriche della cunetta di scolo**

B [m]	b [m]	h [m]	β [°]
1.2	0.4	0.4	45



**Figura 20 - Sezione di drenaggio - Canale trapezoidale in terra**

La verifica idraulica della cunetta viene eseguita ricercando il tirante idrico della sezione per il quale si verifica la portata nota.

In questo contesto, dunque si fa affidamento alla seguente espressione:

$$y(h) = A_m \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \sqrt{i} - Q_p$$

Dove  $A_m$  e  $R$  sono funzioni del tirante idrico.

Quello che si vuole ricercare è il tirante idrico  $h$  per il quale la funzione  $y(h)$  è uguale a zero.

Questo può essere verificato grazie al risolutore di Excel dal quale vengono prodotti i seguenti risultati:

	<b>SUNI 1</b>						
	B (m)	Am (mq)	Pm (m)	R	i	n	h
<b>Superficie 1</b>	0.77	0.11	1.14	0.09	0.012	0.03	<b><u>0.18</u></b>
<b>Superficie 2</b>	0.91	0.17	1.43	0.12	0.02	0.03	<b><u>0.26</u></b>
<b>Superficie 3</b>	0.66	0.07	0.93	0.08	0.027	0.03	<b><u>0.13</u></b>
<b>Superficie 4</b>	0.74	0.10	1.07	0.09	0.03	0.03	<b><u>0.17</u></b>
<b>Superficie 5</b>	0.81	0.12	1.21	0.10	0.013	0.03	<b><u>0.20</u></b>
<b>Superficie 6</b>	0.77	0.11	1.14	0.10	0.06	0.03	<b><u>0.19</u></b>

	<b>SUNI 2</b>						
	B (m)	Am (mq)	Pm (m)	R	i	n	h
<b>Superficie 1</b>	0.95	0.19	1.50	0.12	0.019	0.03	<b><u>0.27</u></b>
<b>Superficie 2</b>	0.76	0.10	1.12	0.09	0.06	0.03	<b><u>0.18</u></b>
<b>Superficie 3</b>	0.78	0.11	1.17	0.10	0.04	0.03	<b><u>0.19</u></b>
<b>Superficie 4</b>	0.76	0.11	1.13	0.09	0.02	0.03	<b><u>0.18</u></b>
<b>Superficie 5</b>	0.96	0.19	1.52	0.13	0.027	0.03	<b><u>0.28</u></b>

	<b>SUNI 3</b>						
	B (m)	Am (mq)	Pm (m)	R	i	n	h
<b>Superficie 1</b>	0.80	0.12	1.20	0.10	0.005	0.03	<b><u>0.20</u></b>
<b>Superficie 2</b>	0.81	0.12	1.21	0.10	0.02	0.03	<b><u>0.20</u></b>
<b>Superficie 3</b>	0.80	0.12	1.20	0.10	0.001	0.03	<b><u>0.20</u></b>

	SUNI 4						
	B (m)	Am (mq)	Pm (m)	R	i	n	h
<b>Superficie 1</b>	0.88	0.16	1.37	0.11	0.02	0.03	<b><u>0.24</u></b>
<b>Superficie 2</b>	0.84	0.14	1.29	0.11	0.011	0.03	<b><u>0.22</u></b>
<b>Superficie 3</b>	0.80	0.12	1.20	0.10	0.002	0.03	<b><u>0.20</u></b>

	SUNI 5						
	B (m)	Am (mq)	Pm (m)	R	i	n	h
<b>Superficie 1</b>	0.81	0.12	1.22	0.10	0.011	0.03	<b><u>0.20</u></b>
<b>Superficie 2</b>	0.79	0.12	1.19	0.10	0.047	0.03	<b><u>0.20</u></b>

Dalla tabella sopra riportata si evince che la portata  $Q_p$  calcolata con il metodo razionale viene convogliata totalmente dal sistema delle cunette in esame poiché il tirante idrico non supera in nessun caso la soglia dei 40 cm previsti dalla cunetta proposta.

## 8. CONCLUSIONI

Sulla scorta di quanto illustrato nel presente studio è possibile affermare che:

- Le aree di progetto ricadono nel bacino idrografico del Coghinas-Mannu-Temo e in sottobacini idrografici per i quali è possibile stimare afflussi meteorici corrispondenti a diversi tempi di ritorno sulla base di un campione di dati pluviometrici statisticamente significativo, costituito in particolare da serie storiche riferite ad eventi di massima intensità, disponibili con riferimento ad un periodo compreso tra il 1922 ed il 2011 in 4 stazioni (Suni, Borore, Cuglieri e Silanus) le quali risultano essere rappresentative del bacino idrografico di interesse.
- Per quanto concerne l'analisi statistica degli estremi idrologici, essa è stata condotta per i bacini secondo i due approcci del Metodo di Gumbel e del Metodo della GEV con le rispettive variazioni.
- Sono state calcolate le curve di possibilità pluviometrica per un tempo di ritorno pari a 10 25 50 200 500 e 1000 anni sia con il metodo di Gumbel che con il metodo della GEV.
- L'analisi geografica del sito, con la sovrapposizione dei corsi d'acqua, evidenzia che le aree occupate dalle piazzole delle WTG e la cabina di raccolta non si trovano in prossimità di fiumi o corsi d'acqua che possano creare pericolo di inondazione, a parte l'area occupata dalla WTG SUNI 4.
- La verifica delle aree esondabili da parte dei corsi d'acqua è stata condotta dapprima individuando la delimitazione del sottobacino, ottenuta grazie agli algoritmi r.watershed e r.water.outlet presenti nel software QGis. Questi ultimi partendo dalle informazioni del DTM estraggono i bacini imbriferi, ossia il luogo dei punti della superficie terrestre che raccoglie le acque che scorrendo in superficie raggiungono un determinato punto chiamato sezione di chiusura del bacino. Successivamente grazie al software HEC-HMS è stato possibile ricavare l'idrogramma di piena che si verifica per un evento meteorico con tempo di ritorno  $Tr = 200$  anni e di inserirlo all'interno del software HEC-RAS in modo da ottenere la delimitazione delle aree esondabili.
- I risultati hanno evidenziato che non ci sono aree interessate dal progetto coinvolte nel fenomeno di esondazione.
- Dati e strumenti offerti nel presente studio e che costituiscono un predimensionamento dei canali di drenaggio dovranno essere opportunamente revisionati in una successiva fase esecutiva.
- Verrà usata una cunetta di scolo con sezione trasversale di tipo trapezoidale con geostuoia e inerbimento con idrosemina

Il Tecnico

Ing. Leonardo Sblendido