



Engineering & Construction



WE ENGINEERING

EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15066.00.057.00

PAGE

1 di/of 41

TITLE: Relazione idrologica

AVAILABLE LANGUAGE: IT

# IMPIANTO EOLICO SINDIA

## RELAZIONE IDROLOGICA

Il Tecnico

Ing. Leonardo Sblendido

File: GRE.EEC.R.25.IT.W.15066.00.057.00\_Relazione idrologica

|                       |            |                   |          |                 |                   |             |     |       |   |   |        |             |          |   |   |   |   |   |   |
|-----------------------|------------|-------------------|----------|-----------------|-------------------|-------------|-----|-------|---|---|--------|-------------|----------|---|---|---|---|---|---|
|                       |            |                   |          |                 |                   |             |     |       |   |   |        |             |          |   |   |   |   |   |   |
| 00                    | 15/12/2021 | PRIMA EMISSIONE   | F.Greco  | G.Alfano        | L.Sblendido       |             |     |       |   |   |        |             |          |   |   |   |   |   |   |
| REV.                  | DATE       | DESCRIPTION       | PREPARED | VERIFIED        | APPROVED          |             |     |       |   |   |        |             |          |   |   |   |   |   |   |
| <b>EGP VALIDATION</b> |            |                   |          |                 |                   |             |     |       |   |   |        |             |          |   |   |   |   |   |   |
|                       |            | <i>G. Buonomo</i> |          | <i>A. Puosi</i> |                   |             |     |       |   |   |        |             |          |   |   |   |   |   |   |
| COLLABORATORS         |            | VERIFIED BY       |          | VALIDATED BY    |                   |             |     |       |   |   |        |             |          |   |   |   |   |   |   |
| PROGETTO / IMPIANTO   |            | <b>EGP CODE</b>   |          |                 |                   |             |     |       |   |   |        |             |          |   |   |   |   |   |   |
| SINDIA                |            | GROUP             | FUNCION  | TYPE            | ISSUER            | COUNTRY     | TEC | PLANT |   |   | SYSTEM | PROGRESSIVE | REVISION |   |   |   |   |   |   |
|                       |            | GRE               | EEC      | R               | 2                 | 5           | I   | T     | W | 1 | 5      | 0           | 6        | 6 | 0 | 0 | 0 | 5 | 7 |
| CLASSIFICATION        | Company    |                   |          |                 | UTILIZATION SCOPE | Preliminary |     |       |   |   |        |             |          |   |   |   |   |   |   |

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 PowerS.p.A.

## Indice

|   |    |
|---|----|
| INTRODUZIONE .....  | 3  |
| 1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....                            | 3  |
| 1.1 Caratterizzazione climatica dell'area di intervento ..... | 5  |
| 1.1.1 Comune di Sindia .....                                  | 5  |
| 1.1.2 Comune di Scano di Montiferro .....                     | 7  |
| 1.1.3 Comune di Santu Lussurgiu .....                         | 10 |
| 1.2 Bacino idrografico di riferimento .....                   | 13 |
| 2 DATI IDROLOGICI DISPONIBILI .....                           | 15 |
| 2.1 Stazioni di riferimento .....                             | 15 |
| 2.2 Dati di pioggia disponibili .....                         | 16 |
| 3 ANALISI DEI DATI IDROLOGICI DISPONIBILI.....                | 33 |
| 3.1 Gringorten .....  | 34 |
| 3.2 Gumbel .....  | 34 |
| 3.2.1 METODO DEI MOMENTI.....                                 | 35 |
| 3.2.2 METODO L-MOMENT .....                                   | 35 |
| 3.3 Funzione di valore estremo generalizzato(GEV) .....       | 36 |
| 3.3.1 METODO DEI MOMENTI.....                                 | 37 |
| 3.3.2 METODO L-MOMENT .....                                   | 37 |
| 3.4 Impostazione scelta per la stazione 'Macomer'.....        | 39 |
| 4 CONCLUSIONI.....  | 40 |

## INTRODUZIONE

La presente si propone di configurare, nell'ambito della progettazione di un impianto eolico da realizzarsi nei comuni di, Scano di Montiferro e Santu Lussurgiu in provincia di Oristano e Sindia in provincia di Nuoro, tutti in Sardegna, un quadro conoscitivo circa i caratteri generali dell'idrologia al fine di caratterizzare la zona di intervento.

### 1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Le aree oggetto di intervento ricadono nei Comuni di, Scano di Montiferro e Santu Lussurgiu in provincia di Oristano e Sindia in provincia di Nuoro. I siti sono localizzati in corrispondenza della demarcazione tra le aree geografiche denominate Oristano e Nuoro, circa 120 km a nord-ovest del capoluogo di Regione, 60 km a ovest di Nuoro e 35 km a nord di Oristano.

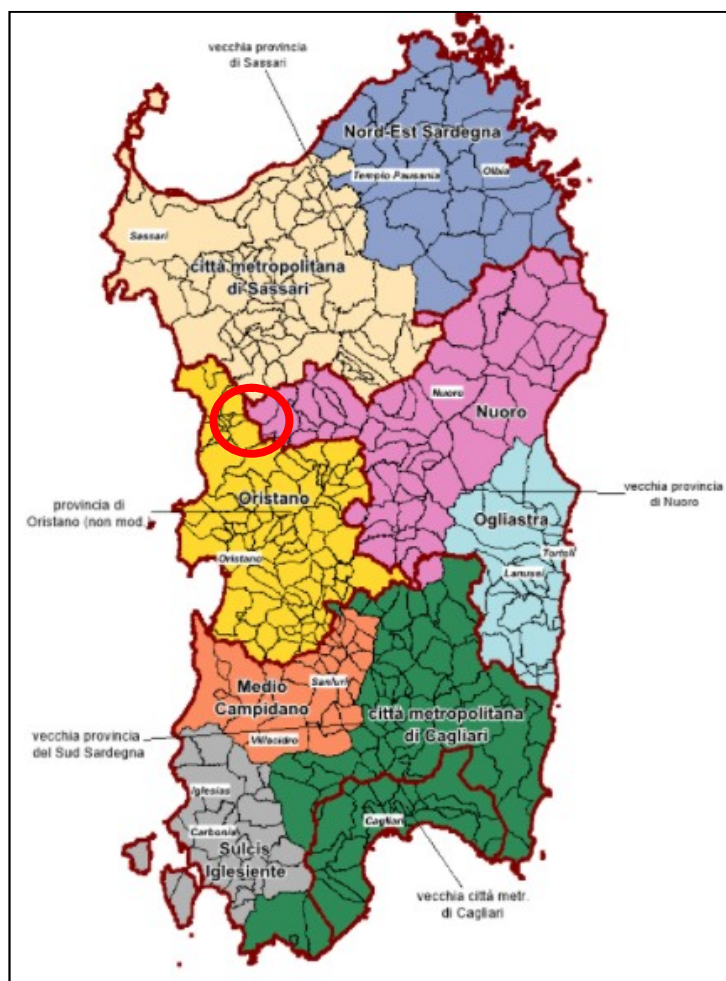


Figura 1 – Inquadramento aree oggetto di intervento nei comuni menzionati

Nello specifico, le suddette aree denominate M1\_01, M1\_02, M1\_03, M1\_03, M1\_04, M1\_05, M1\_06, M1\_07, M1\_08, M1\_09, M1\_10, M1\_11, M1\_12 e M1\_13 sono disposte sul territorio secondo lo schema di seguito indicato.

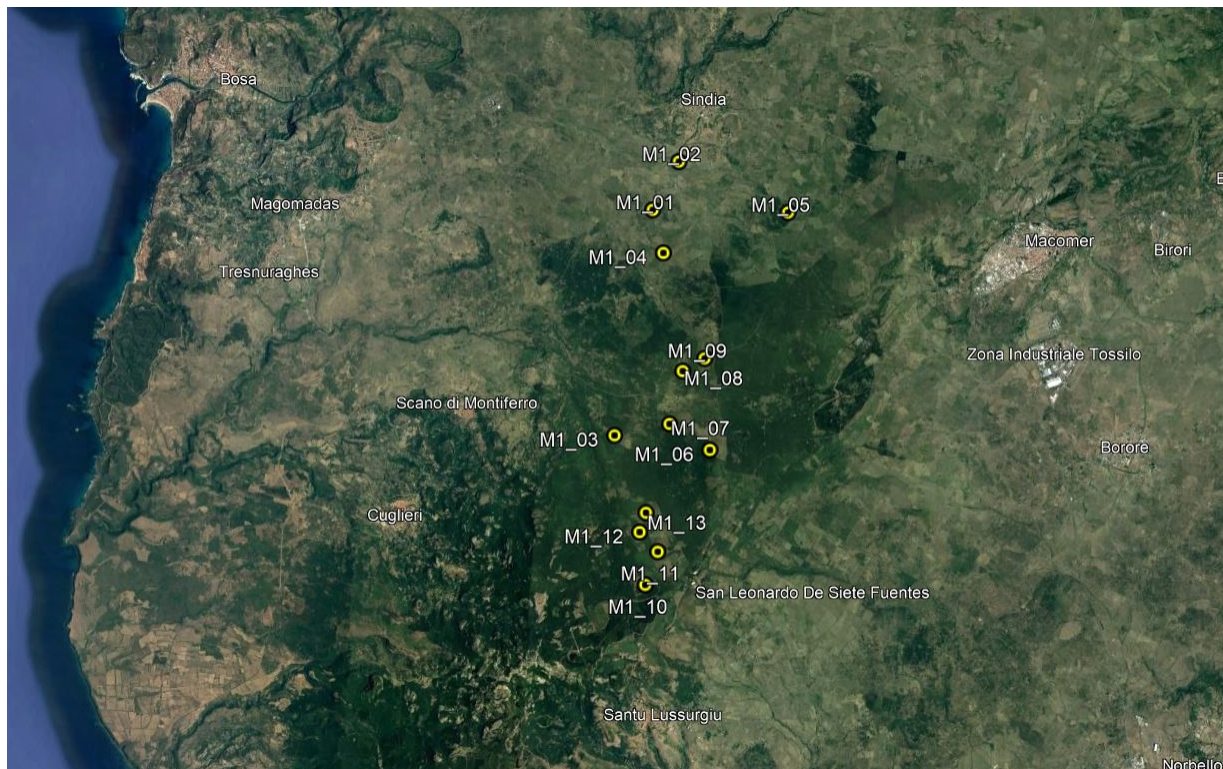


Figura 2 – Dettaglio delle aree oggetto di intervento

## 1.1 CARATTERIZZAZIONE CLIMATICA DELL'AREA DI INTERVENTO

Poiché l'area di studio si trova all'interno di tre comuni, studieremo il clima per ciascuno di essi.

### 1.1.1 COMUNE DI SINDIA

Il comune di Sindia, nel quale ricadono le aree oggetto di intervento, è caratterizzato da una stagione calda che dura dal 16 giugno al 11 settembre, con una temperatura giornaliera massima oltre 26 °C. Il mese più caldo dell'anno è agosto, con una temperatura massima di 29 °C e minima di 17 °C.

Per quanto riguarda invece la stagione fresca essa ricopre un arco temporale che dura dal 20 novembre al 23 marzo, con una temperatura massima giornaliera media inferiore pari a 14 °C. Il mese più freddo dell'anno è gennaio, con una temperatura minima media di 2 °C e massima di 10 °C.

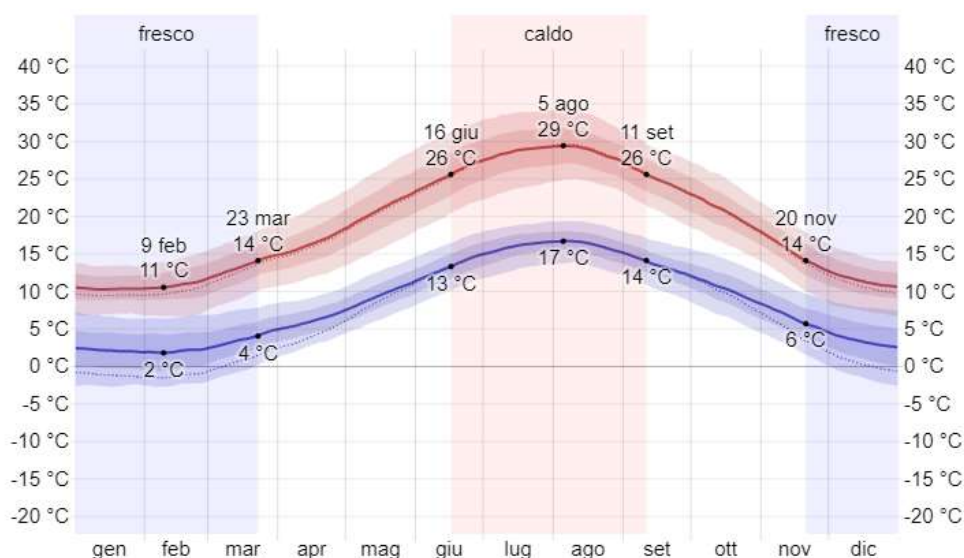
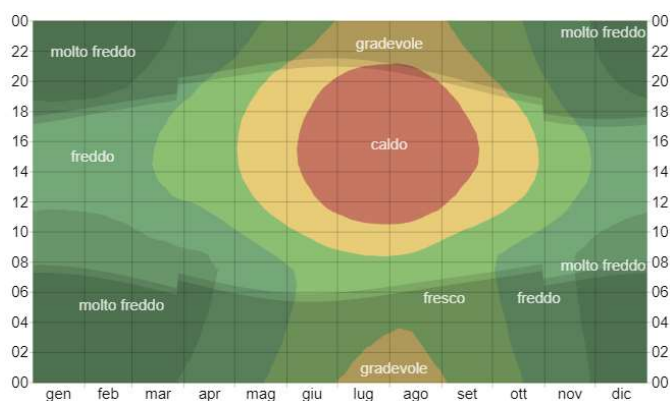


Figura 3 - La temperatura massima (riga rossa) e minima (riga blu) giornaliere medie

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.**

Questi riguardano le zone costiere, sono quasi continentali nelle zone collinarie pedemontane, mentre i climi si fanno più rigidi nelle zone montuose. Questa differenzasi manifesta soprattutto nelle temperature.

Per quanto riguarda le piogge, la parte ovest della provincia di Nuoro è caratterizzata da precipitazioni frequenti e moderatamente abbondanti, quella orientale invece vede in genere meno piogge, ma con periodici eventi intensi.

Nelle zone montuose non sono rare le precipitazioni di tipo temporalesco durante la stagione estiva. Nella parte occidentale della provincia, nei pressi di Macomer, le piogge sono frequenti e abbondanti da ottobre ad aprile, mentre sono praticamente assenti d'estate; nella parte centrale, dove si trovano Nuoro e Fonni, l'abbondanza e la frequenza variano in funzione della quota; sulla costa, come ad esempio ad Orosei, le piogge sono poco frequenti, ma di quantità molto variabili tra un anno e l'altro.

Quanto alla neve, su gran parte del territorio provinciale la neve si vede quasi tutti gli anni e, nelle zone di montagna, più volte nell'arco di un inverno.

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

La stagione *più* piovosa dura dal 24 settembre al 11 maggio, con una probabilità di oltre 16% che un dato giorno sia piovoso, mentre la stagione *più asciutta* dura dal 11 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

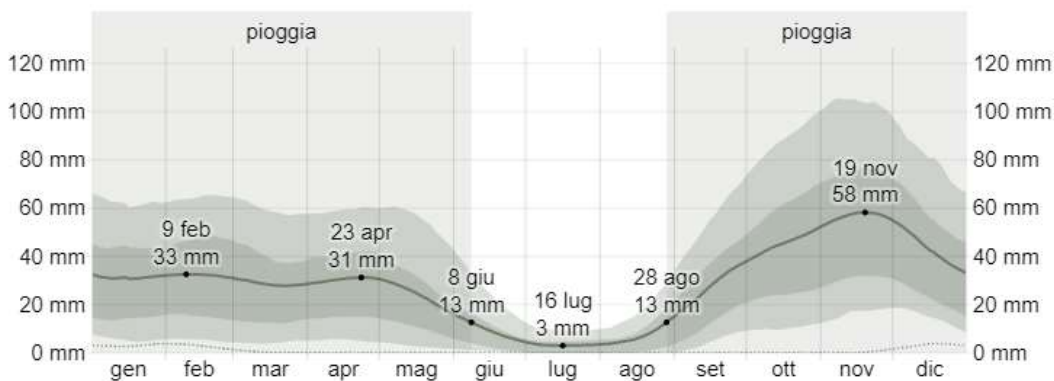
novembre.



**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. Sindhia ha *alcune* variazioni stagionali di piovosità mensile.

Il mese più piovoso è novembre con un accumulo totale medio di *58 millimetri*, mentre quello meno piovoso è *luglio* con un accumulo totale medio di *3 millimetri*.

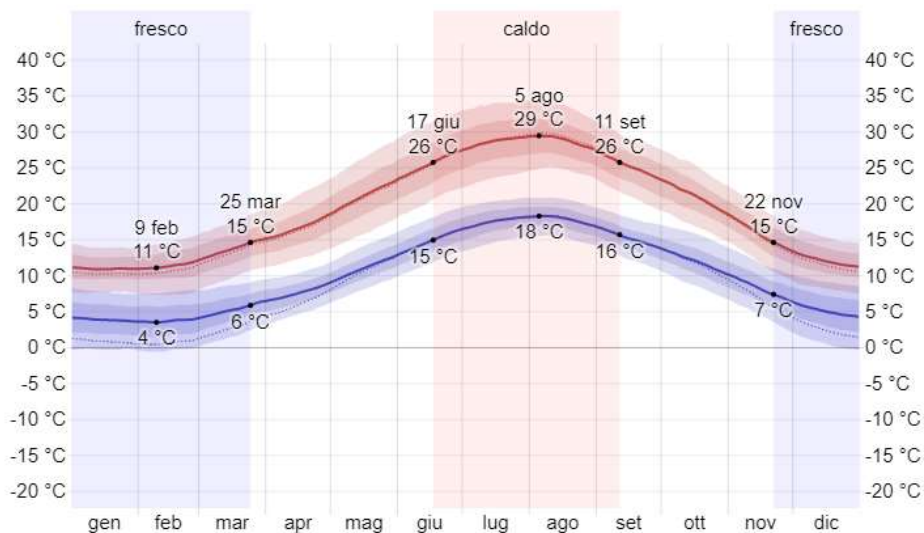


**Figura 6 – Precipitazioni mensili medie**

### 1.1.2 COMUNE DI SCANO DI MONTIFERRO

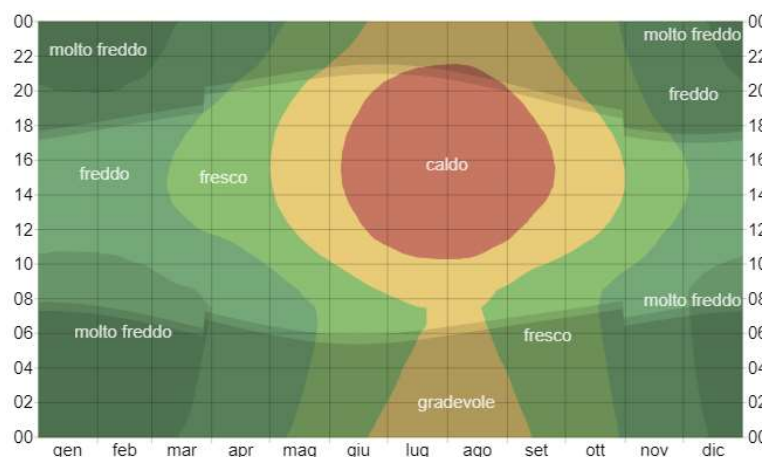
Il comune di Scano di Montiferro, nel quale ricadono le aree oggetto di intervento, è caratterizzato da una stagione calda che dura dal 17 giugno al 11 settembre, con una temperatura giornaliera massima oltre 26 °C. Il mese più caldo dell'anno è agosto, con una temperatura massima di 29 °C e minima di 18 °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 gennaio, con una temperatura minima media di 4 °C e massima di 11 °C.



**Figura 7 - 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 8 - 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 Scano di Pontiferro varia durante l'anno.

La stagione *più piovosa* dura dal 25 settembre al 11 maggio, con una probabilità di oltre 16% che un dato giorno sia piovoso, mentre la stagione *più asciutta* dura dal 11 maggio al 25 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 30% il 25 novembre.

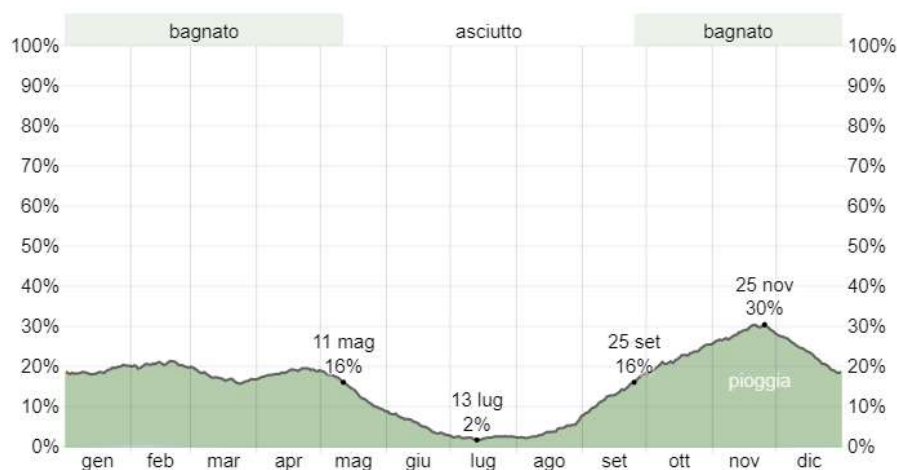
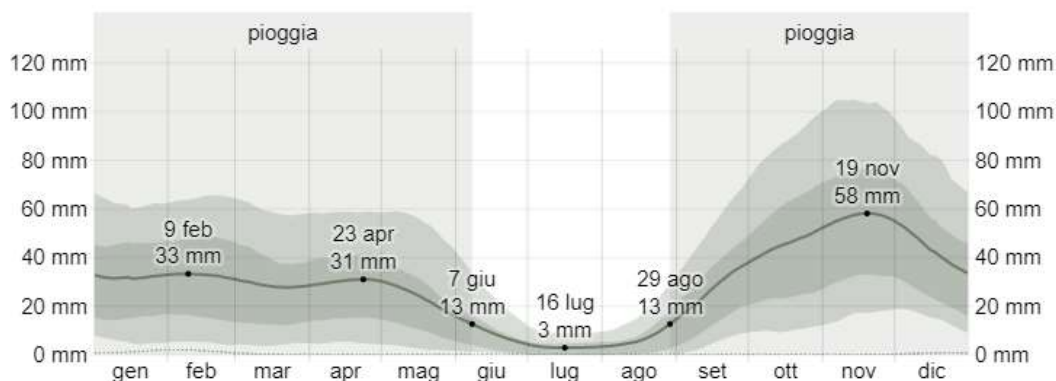


Figura 9 – Probabilità giornaliera di precipitazioni

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. Scano di Montiferro ha *alcune* variazioni stagionali di piovosità mensile.

Il mese più piovoso è novembre con un accumulo totale medio di *58 millimetri*, mentre quello meno piovoso è *luglio* con un accumulo totale medio di *3 millimetri*.

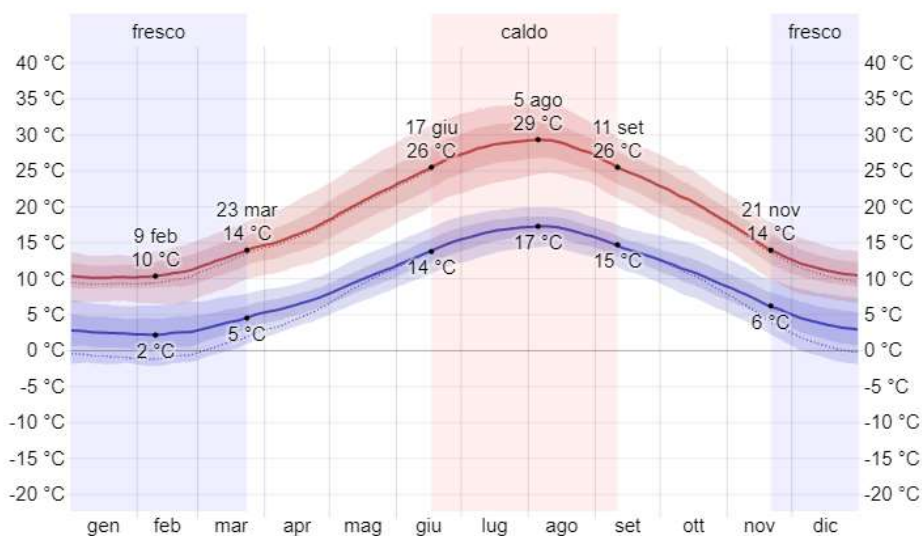


**Figura 10 – Precipitazioni mensili medie**

### 1.1.3 COMUNE DI SANTU LUSSURGIU

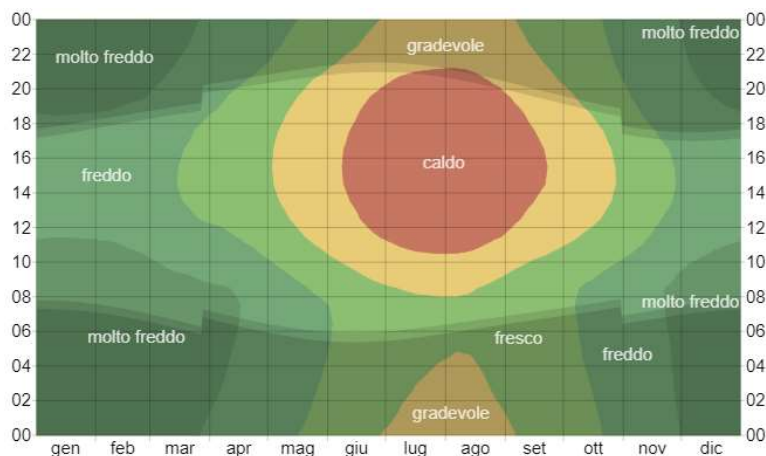
Il comune di Santu Lussurgiu, nel quale ricadono le aree oggetto di intervento, è caratterizzato da una stagione calda che dura dal 17 giugno al 11 settembre, con una temperatura giornaliera massima oltre 26 °C. Il mese più caldo dell'anno è agosto, con una temperatura massima di 29 °C e minima di 17 °C.

Per quanto riguarda invece la stagione fresca essa ricopre un arco temporale che dura dal 21 novembre al 23 marzo, con una temperatura massima giornaliera media inferiore pari a 14 °C. Il mese più freddo dell'anno è gennaio, con una temperatura minima media di 3 °C e massima di 10 °C.



**Figura 11 - 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.



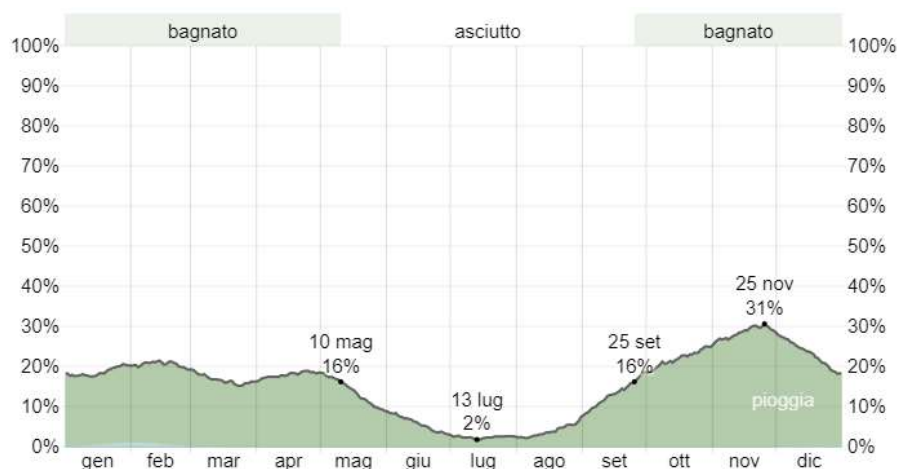
**Figura 12 - La temperatura oraria media, con fasce di diversi colori. L'ombreggiatura indica la notte e il crepuscolo civile.**

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 Santu Lussurgiu varia durante l'anno.

La stagione *più piovosa* dura dal 25 settembre al 10 maggio, con una probabilità di oltre 16% che un dato giorno sia piovoso, mentre la stagione *più asciutta* dura dal 10 maggio al 25 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 13 – 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. Santu Lussurgiu ha *alcune* variazioni stagionali di piovosità mensile.

Il mese più piovoso è novembre con un accumulo totale medio di 57 *millimetri*, mentre quello meno piovoso è luglio con un accumulo totale medio di 3 *millimetri*.

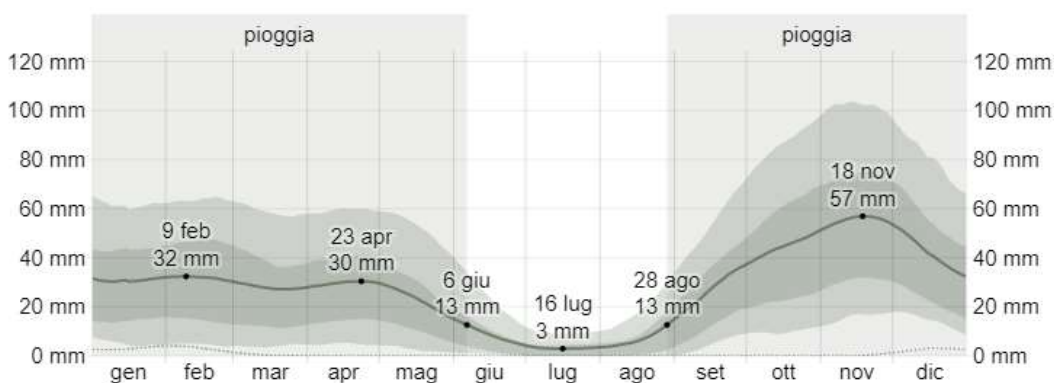


Figura 14 – Precipitazioni mensili medie

## 1.2 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.

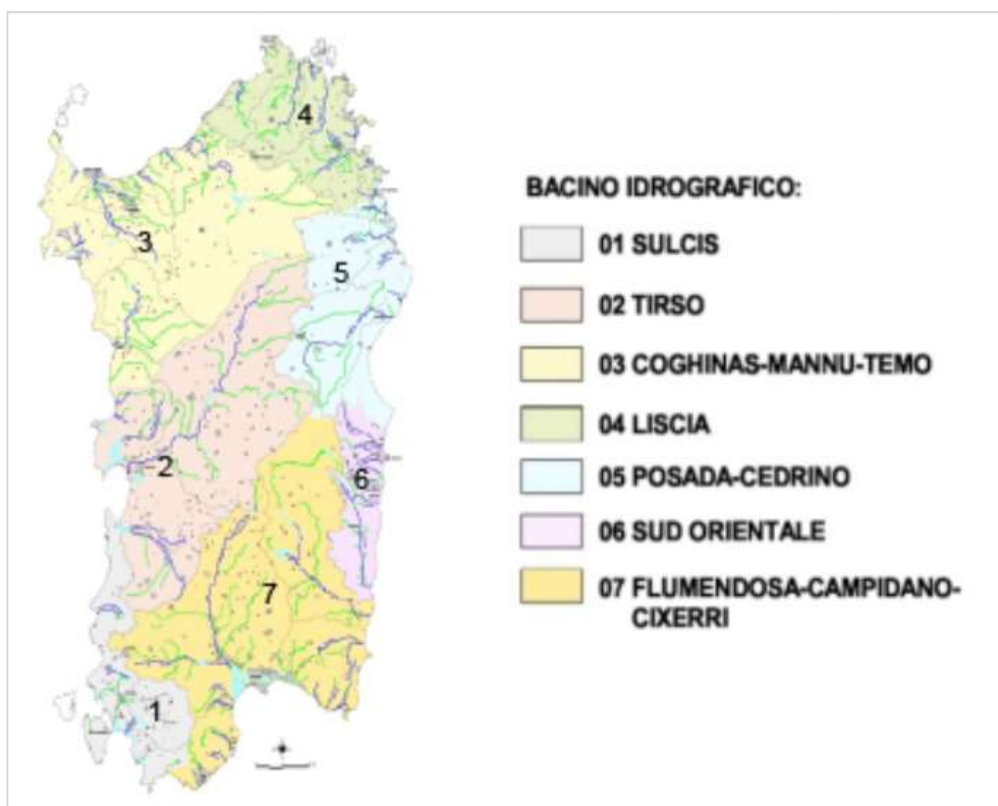


Figura 15 – Bacini idrografici della Sardegna



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.

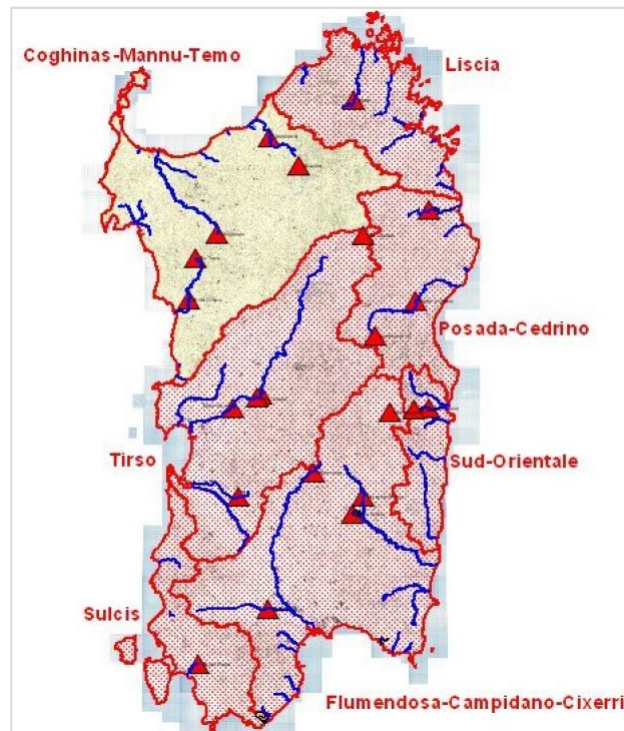


Figura 16 – Sub-bacino Coghinas-Mannu-Temo

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

## 2 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.

### 2.1 STAZIONI DI RIFERIMENTO

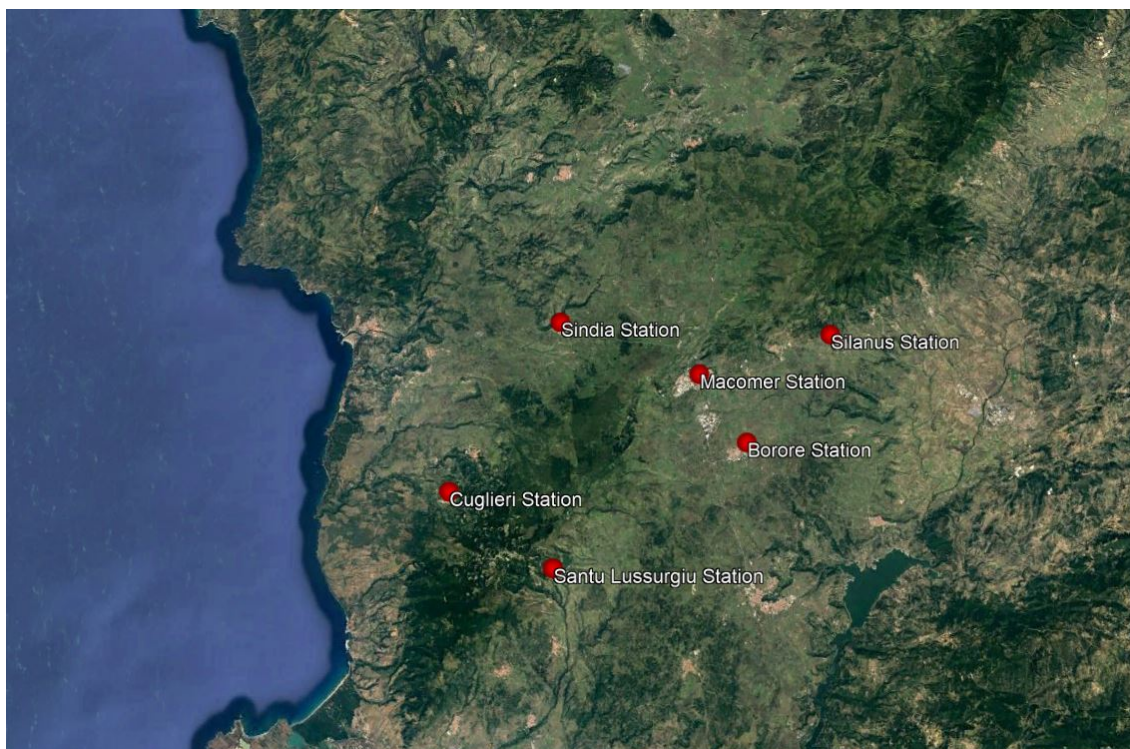
Le stazioni di riferimento sono state individuate considerando le stazioni prossime ai sottobacini di interesse ed aventi serie storiche statisticamente significative.

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, tenendo conto di un'elevazione rappresentativa per il parco;
- 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.
- Stazione di **Macomer**, in provincia di Nuoro.
- Stazione di **Santu Lussurgiu**, in provincia di Oristano.



**Figura 17 – 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.

## **2.2 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.

| <b>Stazione Sindia</b> |                                  |
|------------------------|----------------------------------|
| <b>Anno</b>            | <b>P max giornaliera annuale</b> |
| 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                            |
| 1939                   | 20.51                            |
| 1940                   | 13.67                            |
| 1941                   | 18.84                            |
| 1942                   | 14.64                            |
| 1943                   | 16.80                            |
| 1944                   | 28.50                            |
| 1945                   | 13.20                            |
| 1946                   | 13.00                            |
| 1947                   | 22.00                            |
| 1948                   | 22.24                            |
| 1949                   | 21.71                            |
| 1950                   | 29.45                            |
| 1951                   | 26.69                            |
| 1952                   | 21.53                            |
| 1953                   | 25.80                            |
| 1954                   | 15.66                            |
| 1955                   | 15.42                            |
| 1956                   | 29.17                            |
| 1957                   | 22.01                            |
| 1958                   | 28.55                            |



Engineering & Construction



WE ENGINEERING

EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15066.00.057.00

PAGE

18 di/of 41

|             |       |
|-------------|-------|
| <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 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.**

| <b>Stazione Borore</b> |                                  |
|------------------------|----------------------------------|
| <b>Anno</b>            | <b>P max giornaliera annuale</b> |
| <b>1931</b>            | 16.36                            |
| <b>1932</b>            | 13.00                            |
| <b>1933</b>            | 28.78                            |
| <b>1934</b>            | 15.67                            |
| <b>1935</b>            | 19.24                            |
| <b>1936</b>            | 12.70                            |
| <b>1937</b>            | 27.00                            |
| <b>1938</b>            | 18.60                            |
| <b>1939</b>            | 24.43                            |
| <b>1940</b>            | 16.93                            |
| <b>1941</b>            | 22.50                            |
| <b>1942</b>            | 16.00                            |
| <b>1943</b>            | 31.00                            |
| <b>1944</b>            | 13.50                            |
| <b>1945</b>            | 10.72                            |
| <b>1946</b>            | 20.55                            |
| <b>1947</b>            | 26.00                            |
| <b>1948</b>            | 24.67                            |
| <b>1949</b>            | 25.22                            |
| <b>1950</b>            | 20.00                            |
| <b>1951</b>            | 13.03                            |



Engineering & Construction



WE ENGINEERING

EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15066.00.057.00

PAGE

20 di/of 41

|             |       |
|-------------|-------|
| <b>1952</b> | 15.00 |
| <b>1953</b> | 23.19 |
| <b>1954</b> | 10.00 |
| <b>1955</b> | 15.67 |
| <b>1956</b> | 24.50 |
| <b>1957</b> | 13.47 |
| <b>1958</b> | 16.00 |
| <b>1959</b> | 18.13 |
| <b>1960</b> | 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 2 - Altezze di pioggia (mm) corrispondenti ad eventi di pioggia di massima intensità per durate di 24h registrate presso la stazione di Borore, 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                            |



Engineering & Construction



WE ENGINEERING

EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15066.00.057.00

PAGE

22 di/of 41

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





Engineering & Construction



WE ENGINEERING

EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15066.00.057.00

PAGE

24 di/of 41

| <b>Stazione Silanus</b> |                                  |
|-------------------------|----------------------------------|
| <b>Anno</b>             | <b>P max giornaliera annuale</b> |
| 1936                    | 23.33                            |
| 1937                    | 28.20                            |
| 1938                    | 14.74                            |
| 1939                    | 22.39                            |
| 1940                    | 39.35                            |
| 1941                    | 22.15                            |
| 1942                    | 16.67                            |
| 1944                    | 22.50                            |
| 1945                    | 23.47                            |
| 1946                    | 9.40                             |
| 1947                    | 20.71                            |
| 1948                    | 23.82                            |
| 1949                    | 31.40                            |
| 1950                    | 27.13                            |
| 1951                    | 26.00                            |
| 1952                    | 24.35                            |
| 1953                    | 38.00                            |
| 1954                    | 20.17                            |
| 1955                    | 18.63                            |
| 1956                    | 32.50                            |
| 1957                    | 18.00                            |
| 1958                    | 17.35                            |
| 1959                    | 28.30                            |
| 1960                    | 13.55                            |
| 1961                    | 14.81                            |
| 1962                    | 27.90                            |
| 1963                    | 23.73                            |
| 1964                    | 17.53                            |
| 1965                    | 20.00                            |
| 1966                    | 35.82                            |
| 1967                    | 14.29                            |
| 1968                    | 37.00                            |
| 1969                    | 21.58                            |
| 1970                    | 19.00                            |
| 1971                    | 24.50                            |
| 1972                    | 30.00                            |
| 1973                    | 17.00                            |
| 1974                    | 16.25                            |
| 1975                    | 20.71                            |
| 1976                    | 19.81                            |
| 1977                    | 63.00                            |
| 1978                    | 38.00                            |
| 1979                    | 17.05                            |
| 1980                    | 19.42                            |

|      |       |
|------|-------|
| 1981 | 30.50 |
| 1982 | 22.25 |
| 1983 | 14.44 |
| 1984 | 25.83 |
| 1985 | 14.01 |
| 1986 | 23.33 |
| 1987 | 21.65 |
| 1988 | 15.94 |
| 1989 | 25.07 |
| 1990 | 13.34 |
| 1991 | 23.52 |
| 1992 | 16.96 |
| 1993 | 13.37 |
| 1994 | 20.83 |
| 1995 | 13.20 |
| 1996 | 15.46 |
| 1997 | 14.87 |
| 1998 | 17.90 |
| 1999 | 13.00 |
| 2000 | 22.77 |
| 2001 | 9.40  |
| 2002 | 18.47 |
| 2003 | 30.00 |
| 2004 | 14.30 |
| 2005 | 20.24 |
| 2006 | 27.60 |
| 2007 | 30.17 |
| 2008 | 12.13 |
| 2009 | 20.44 |
| 2010 | 18.20 |
| 2011 | 17.05 |

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

| Stazione Macomer |                           |
|------------------|---------------------------|
| Anno             | P max giornaliera annuale |
| 1922             | 9.50                      |
| 1923             | 23.83                     |
| 1924             | 12.78                     |
| 1925             | 16.83                     |
| 1926             | 14.25                     |
| 1927             | 26.00                     |



Engineering & Construction



WE ENGINEERING

EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15066.00.057.00

PAGE

26 di/of 41

|             |       |
|-------------|-------|
| <b>1928</b> | 27.00 |
| <b>1929</b> | 13.17 |
| <b>1930</b> | 18.00 |
| <b>1931</b> | 15.54 |
| <b>1932</b> | 16.63 |
| <b>1933</b> | 30.40 |
| <b>1934</b> | 21.00 |
| <b>1935</b> | 20.72 |
| <b>1936</b> | 16.05 |
| <b>1937</b> | 24.60 |
| <b>1938</b> | 22.41 |
| <b>1939</b> | 30.13 |
| <b>1940</b> | 18.26 |
| <b>1941</b> | 23.97 |
| <b>1942</b> | 18.24 |
| <b>1943</b> | 13.28 |
| <b>1944</b> | 22.00 |
| <b>1945</b> | 13.48 |
| <b>1946</b> | 19.01 |
| <b>1947</b> | 26.88 |
| <b>1948</b> | 17.16 |
| <b>1949</b> | 23.88 |
| <b>1950</b> | 33.50 |
| <b>1951</b> | 45.83 |
| <b>1952</b> | 22.89 |
| <b>1953</b> | 25.13 |
| <b>1954</b> | 18.60 |
| <b>1955</b> | 17.37 |
| <b>1956</b> | 19.00 |
| <b>1957</b> | 16.85 |
| <b>1958</b> | 19.86 |
| <b>1959</b> | 30.72 |
| <b>1960</b> | 22.00 |
| <b>1961</b> | 27.52 |
| <b>1962</b> | 16.19 |
| <b>1963</b> | 37.33 |
| <b>1964</b> | 14.40 |
| <b>1965</b> | 14.25 |
| <b>1966</b> | 38.00 |
| <b>1967</b> | 16.72 |



Engineering & Construction



WE ENGINEERING

EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15066.00.057.00

PAGE

27 di/of 41

|      |       |
|------|-------|
| 1968 | 50.00 |
| 1969 | 15.40 |
| 1970 | 16.60 |
| 1971 | 14.68 |
| 1972 | 20.86 |
| 1973 | 19.90 |
| 1974 | 15.63 |
| 1975 | 16.00 |
| 1976 | 16.07 |
| 1977 | 38.50 |
| 1978 | 23.40 |
| 1979 | 20.00 |
| 1980 | 21.60 |
| 1981 | 26.63 |
| 1982 | 15.50 |
| 1983 | 15.45 |
| 1984 | 22.18 |
| 1985 | 14.50 |
| 1986 | 33.50 |
| 1987 | 29.20 |
| 1988 | 16.08 |
| 1989 | 19.44 |
| 1990 | 22.50 |
| 1991 | 11.40 |
| 1992 | 19.20 |
| 1993 | 16.44 |
| 1994 | 42.00 |
| 1995 | 18.69 |
| 1996 | 14.29 |
| 1997 | 17.80 |
| 1998 | 13.31 |
| 1999 | 11.32 |
| 2000 | 15.67 |
| 2001 | 12.30 |
| 2002 | 26.88 |
| 2003 | 29.20 |
| 2004 | 16.75 |
| 2005 | 25.90 |
| 2006 | 30.40 |
| 2007 | 20.80 |

|             |       |
|-------------|-------|
| <b>2008</b> | 18.68 |
| <b>2009</b> | 15.33 |
| <b>2010</b> | 16.85 |
| <b>2011</b> | 27.00 |

**Tabella 5 - Altezze di pioggia (mm) corrispondenti ad eventi di pioggia di massima intensità per durate di, 24h registrate presso la stazione di Macomer, consultabili negli annali idrologici della Sardegna**

| <b>Stazione Santu Lussurgiu</b> |                                  |
|---------------------------------|----------------------------------|
| <b>Anno</b>                     | <b>P max giornaliera annuale</b> |
| <b>1922</b>                     | 43.57                            |
| <b>1923</b>                     | 66.00                            |
| <b>1924</b>                     | 86.00                            |
| <b>1925</b>                     | 29.40                            |
| <b>1926</b>                     | 20.37                            |
| <b>1927</b>                     | 24.22                            |
| <b>1928</b>                     | 19.10                            |
| <b>1929</b>                     | 16.08                            |
| <b>1930</b>                     | 15.14                            |
| <b>1931</b>                     | 26.71                            |
| <b>1932</b>                     | 22.50                            |
| <b>1933</b>                     | 33.50                            |
| <b>1934</b>                     | 29.38                            |
| <b>1935</b>                     | 22.92                            |
| <b>1936</b>                     | 42.14                            |
| <b>1937</b>                     | 26.50                            |
| <b>1938</b>                     | 22.92                            |
| <b>1939</b>                     | 27.84                            |
| <b>1940</b>                     | 25.27                            |
| <b>1941</b>                     | 56.00                            |
| <b>1943</b>                     | 15.81                            |
| <b>1944</b>                     | 16.50                            |
| <b>1945</b>                     | 23.93                            |
| <b>1946</b>                     | 30.88                            |
| <b>1947</b>                     | 28.39                            |
| <b>1948</b>                     | 41.93                            |
| <b>1949</b>                     | 24.31                            |
| <b>1951</b>                     | 23.78                            |
| <b>1952</b>                     | 20.44                            |





Engineering & Construction



WE ENGINEERING

EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15066.00.057.00

PAGE

29 di/of 41

|      |       |
|------|-------|
| 1953 | 87.15 |
| 1954 | 19.36 |
| 1955 | 23.90 |
| 1957 | 17.20 |
| 1958 | 28.93 |
| 1959 | 24.22 |
| 1960 | 23.17 |
| 1961 | 26.36 |
| 1962 | 17.15 |
| 1963 | 24.34 |
| 1964 | 15.69 |
| 1965 | 15.20 |
| 1966 | 21.30 |
| 1967 | 20.16 |
| 1968 | 15.09 |
| 1969 | 31.40 |
| 1970 | 16.92 |
| 1971 | 20.51 |
| 1972 | 24.96 |
| 1973 | 20.54 |
| 1974 | 22.29 |
| 1975 | 23.40 |
| 1976 | 23.78 |
| 1977 | 15.17 |
| 1978 | 25.00 |
| 1979 | 24.00 |
| 1980 | 15.58 |
| 1981 | 17.86 |
| 1984 | 23.36 |
| 1985 | 15.01 |
| 1986 | 75.60 |
| 1987 | 23.95 |
| 1988 | 17.43 |
| 1989 | 24.32 |
| 1992 | 18.54 |
| 1993 | 19.35 |
| 1994 | 40.00 |
| 1995 | 17.87 |
| 1996 | 21.47 |
| 1997 | 12.18 |

|             |       |
|-------------|-------|
| <b>1998</b> | 12.20 |
| <b>1999</b> | 18.42 |
| <b>2000</b> | 25.00 |
| <b>2001</b> | 18.04 |
| <b>2002</b> | 17.73 |
| <b>2003</b> | 22.15 |
| <b>2004</b> | 23.83 |
| <b>2005</b> | 22.57 |
| <b>2006</b> | 20.69 |
| <b>2007</b> | 13.80 |
| <b>2008</b> | 28.50 |
| <b>2009</b> | 21.07 |
| <b>2010</b> | 19.77 |
| <b>2011</b> | 34.05 |

**Tabella 6 - Altezze di pioggia (mm) corrispondenti ad eventi di pioggia di massima intensità per durate di, 24h registrate presso la stazione di Santu Lussurgiu, consultabili negli annali idrologici della Sardegna**

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:

| <b>Dati di pioggia derivanti dal metodo distanze inverse</b> |                                  |
|--|----------------------------------|
| <b>Anno</b>  | <b>P max giornaliera annuale</b> |
| <b>1922</b>  | 20.87                            |
| <b>1923</b>  | 32.90                            |
| <b>1924</b>  | 35.72                            |
| <b>1925</b>  | 21.06                            |
| <b>1926</b>  | 16.29                            |
| <b>1927</b>  | 23.77                            |
| <b>1928</b>  | 23.04                            |
| <b>1929</b>  | 19.13                            |
| <b>1930</b>  | 21.98                            |
| <b>1931</b>  | 21.38                            |
| <b>1932</b>  | 23.68                            |
| <b>1933</b>  | 27.40                            |
| <b>1934</b>  | 21.77                            |
| <b>1935</b>  | 19.89                            |
| <b>1936</b>  | 26.46                            |
| <b>1937</b>  | 22.92                            |
| <b>1938</b>  | 22.53                            |
| <b>1939</b>  | 22.78                            |
| <b>1940</b>  | 17.70                            |
| <b>1941</b>  | 29.05                            |
| <b>1942</b>  | 15.82                            |
| <b>1943</b>  | 17.73                            |
| <b>1944</b>  | 20.19                            |
| <b>1945</b>  | 16.03                            |
| <b>1946</b>  | 18.48                            |
| <b>1947</b>  | 22.84                            |
| <b>1948</b>  | 25.50                            |
| <b>1949</b>  | 25.75                            |
| <b>1950</b>  | 25.83                            |
| <b>1951</b>  | 28.21                            |
| <b>1952</b>  | 19.73                            |
| <b>1953</b>  | 35.84                            |
| <b>1954</b>  | 15.14                            |



Engineering & Construction



WE ENGINEERING

EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15066.00.057.00

PAGE

32 di/of 41

|             |       |
|-------------|-------|
| <b>1955</b> | 17.37 |
| <b>1956</b> | 22.72 |
| <b>1957</b> | 17.17 |
| <b>1958</b> | 22.09 |
| <b>1959</b> | 26.36 |
| <b>1960</b> | 19.57 |
| <b>1961</b> | 24.89 |
| <b>1962</b> | 18.88 |
| <b>1963</b> | 24.15 |
| <b>1964</b> | 21.50 |
| <b>1965</b> | 14.59 |
| <b>1966</b> | 23.48 |
| <b>1967</b> | 20.47 |
| <b>1968</b> | 34.93 |
| <b>1969</b> | 22.79 |
| <b>1970</b> | 14.96 |
| <b>1971</b> | 16.64 |
| <b>1972</b> | 25.06 |
| <b>1973</b> | 18.90 |
| <b>1974</b> | 15.68 |
| <b>1975</b> | 17.20 |
| <b>1976</b> | 15.77 |
| <b>1977</b> | 31.72 |
| <b>1978</b> | 20.60 |
| <b>1979</b> | 18.74 |
| <b>1980</b> | 18.53 |
| <b>1981</b> | 21.61 |
| <b>1982</b> | 18.09 |
| <b>1983</b> | 14.79 |
| <b>1984</b> | 19.58 |
| <b>1985</b> | 13.44 |
| <b>1986</b> | 42.63 |
| <b>1987</b> | 22.22 |
| <b>1988</b> | 16.13 |
| <b>1989</b> | 20.44 |
| <b>1990</b> | 18.33 |
| <b>1991</b> | 17.59 |
| <b>1992</b> | 19.25 |
| <b>1993</b> | 17.70 |
| <b>1994</b> | 27.68 |

|             |       |
|-------------|-------|
| <b>1995</b> | 18.43 |
| <b>1996</b> | 17.97 |
| <b>1997</b> | 16.20 |
| <b>1998</b> | 11.54 |
| <b>1999</b> | 14.13 |
| <b>2000</b> | 19.97 |
| <b>2001</b> | 11.50 |
| <b>2002</b> | 22.74 |
| <b>2003</b> | 22.10 |
| <b>2004</b> | 17.70 |
| <b>2005</b> | 26.59 |
| <b>2006</b> | 20.50 |
| <b>2007</b> | 17.17 |
| <b>2008</b> | 18.46 |
| <b>2009</b> | 17.03 |
| <b>2010</b> | 19.60 |
| <b>2011</b> | 27.22 |

**Tabella 7 - Altezza di pioggia (mm) corrispondenti ad 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**

### **3 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.

### 3.1 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:

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

### 3.2 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:

$u$  = Parametro di localizzazione

$\alpha$  = 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.

### 3.2.1 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.

### 3.2.2 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.

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

### 3.3 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  $u$ ,  $\alpha$  y  $k$  della funzione usiamo due metodi diversi, come nel caso della funzione di Gumbel ottenendo due diverse leggi di frequenza.

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

### 3.3.1 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.

### 3.3.2 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.

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

### 3.4 IMPOSTAZIONE SCELTA PER LA STAZIONE 'MACOMER'

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.

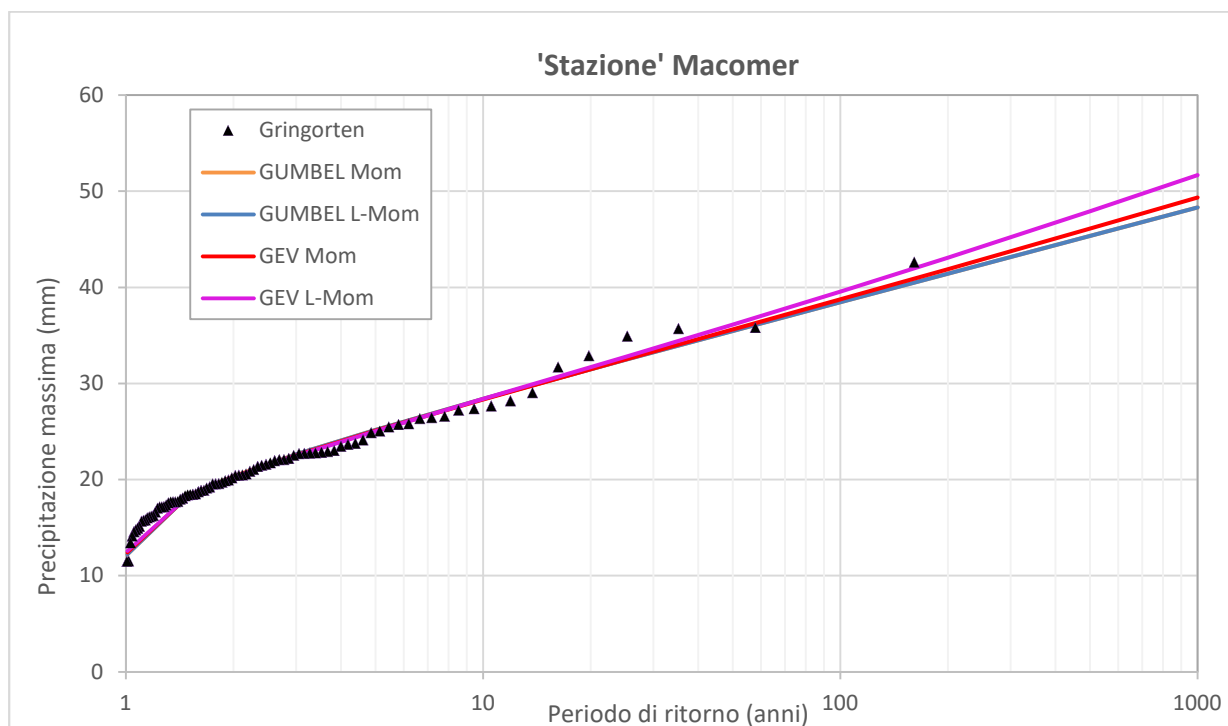


Figura 18 – Distribuzioni statistiche

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

| STAZIONE 'MACOMER'         |               |
|----------------------------|---------------|
| Test di bontà della forma: |               |
| GUMBEL MOM                 | 0.0441        |
| GUMBEL LMOM                | 0.0441        |
| GEV MOM                    | 0.0398        |
| GEV LMOM                   | 0.0375        |
| <b>Minimo</b>              | <b>0.0375</b> |

**Tabella 8 - Test di bontà della forma per le diverse distribuzioni statistiche**

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

| GEV L-MOM |          |
|-----------|----------|
| Tr        | Pmax(mm) |
| 10        | 28.38    |
| 25        | 32.76    |
| 50        | 36.12    |
| 100       | 39.56    |
| 200       | 43.09    |
| 500       | 47.92    |
| 1000      | 51.69    |

**Tabella 9 - Altezze di pioggia [mm] calcolate per diversi periodi di ritorno**

#### 4 CONCLUSIONI

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

- Le aree di progetto ricadono nel bacino idrografico del Sulcis 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 6 stazioni (Sundi, Borore, Cuglieri, Silanus, Macomer e Santu Lussurgiu) 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 50 100 200 500 e 1000 anini sia con il metodo di Gumbel che con il metodo della GEV.

Il Tecnico



Engineering & Construction



WE ENGINEERING

EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15066.00.057.00

PAGE

41 di/of 41

Ing. Leonardo Sblendido