



Engineering & Construction



WE ENGINEERING

EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15012.00.059.00

PAGE

1 di/of 27

TITLE: Relazione idrologica

AVAILABLE LANGUAGE: IT

# IMPIANTO EOLICO CARBONIA

## RELAZIONE IDROLOGICA

Il Tecnico

Ing. Leonardo Sblendido

File: GRE.EEC.R.25.IT.W.15012.00.059.00\_Relazione idrologica

00	15/12/2021	PRIMA EMISSIONE	F.Greco	G.Alfano	L.Sblendido
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED

### EGP VALIDATION

	G. Buonomo / P. Torchio	C. Vigone
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROGETTO / IMPIANTO	<b>EGP CODE</b>																			
<b>IMPIANTO EOLICO</b>	GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT	SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION										
<b>CARBONIA</b>	<b>GRE</b>	<b>EEC</b>	<b>R</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>I</b>	<b>T</b>	<b>W</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

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 Power S.p.A.



Engineering & Construction



EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15012.00.059.00

PAGE

2 di/of 27

## Indice

INTRODUZIONE .....	3
1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....	3
1.1 Caratterizzazione climatica dell'area di intervento .....	5
1.2 Bacino idrografico di riferimento .....	8
2 DATI IDROLOGICI DISPONIBILI .....	10
2.1 Stazioni di riferimento .....	10
2.2 Dati di pioggia disponibili .....	11
3 ANALISI DEI DATI IDROLOGICI DISPONIBILI .....	19
3.1 Distribuzione statistica di Gumbel .....	19
3.2 Descrizione della metodologia VAPI .....	21
4 CONCLUSIONI .....	27



Engineering & Construction



EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15012.00.059.00

PAGE

3 di/of 27

## INTRODUZIONE

La presente si propone di configurare, nell'ambito della progettazione di un impianto eolico da realizzarsi nei comuni di, Gonnese e Carbonia 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, Gonnese e Carbonia in provincia del Sud Sardegna. I siti sono localizzati in corrispondenza della demarcazione tra le aree geografiche denominate Iglesiente e Sulcis, circa 60 km a ovest del capoluogo di Regione, 8 km a nord-est dell'isola di S. Pietro e 10 km a nord dell'isola di S. Antioco.

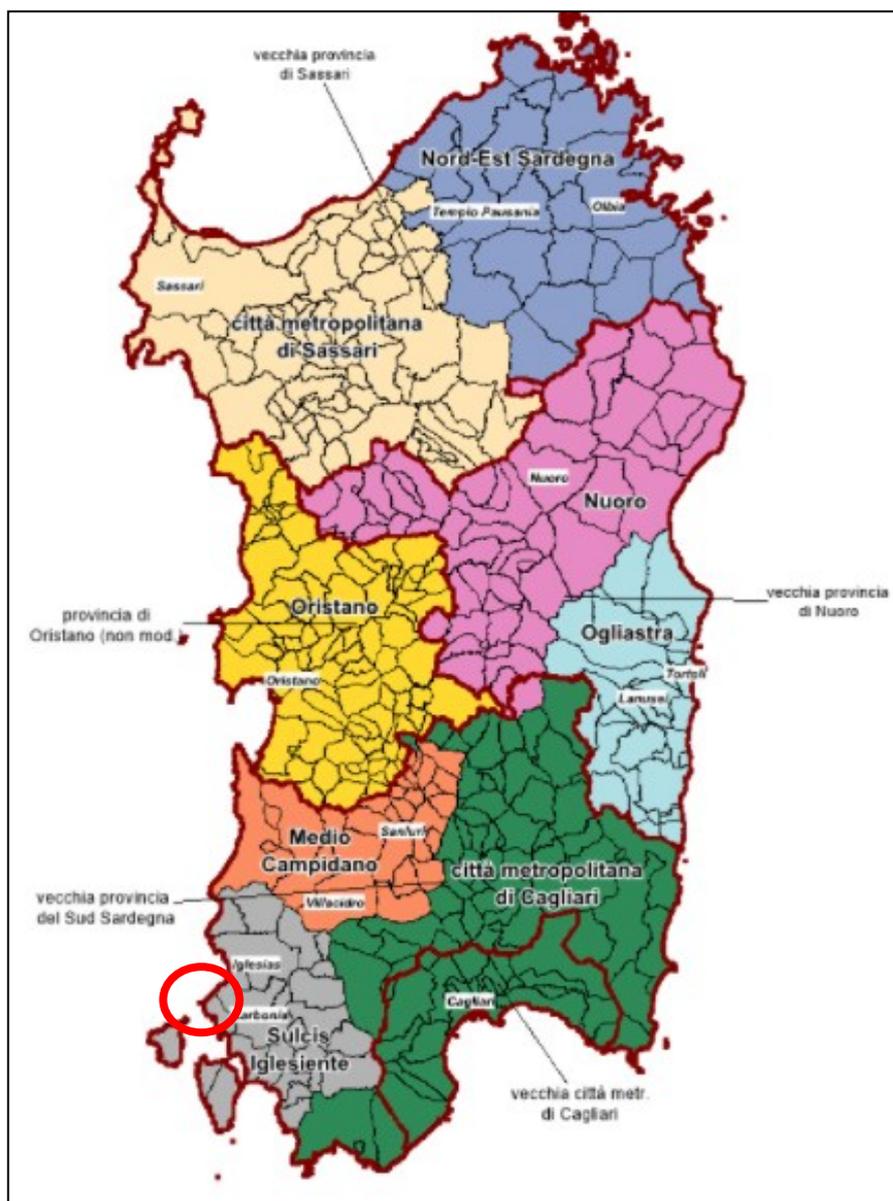


Figura 1 – Inquadramento aree oggetto di intervento nel comune di Portoscuso

Nello specifico, le suddette aree denominate P01, P02, P03, P04, P05, P06 e P07 sono disposte sul territorio secondo lo schema di seguito indicato.

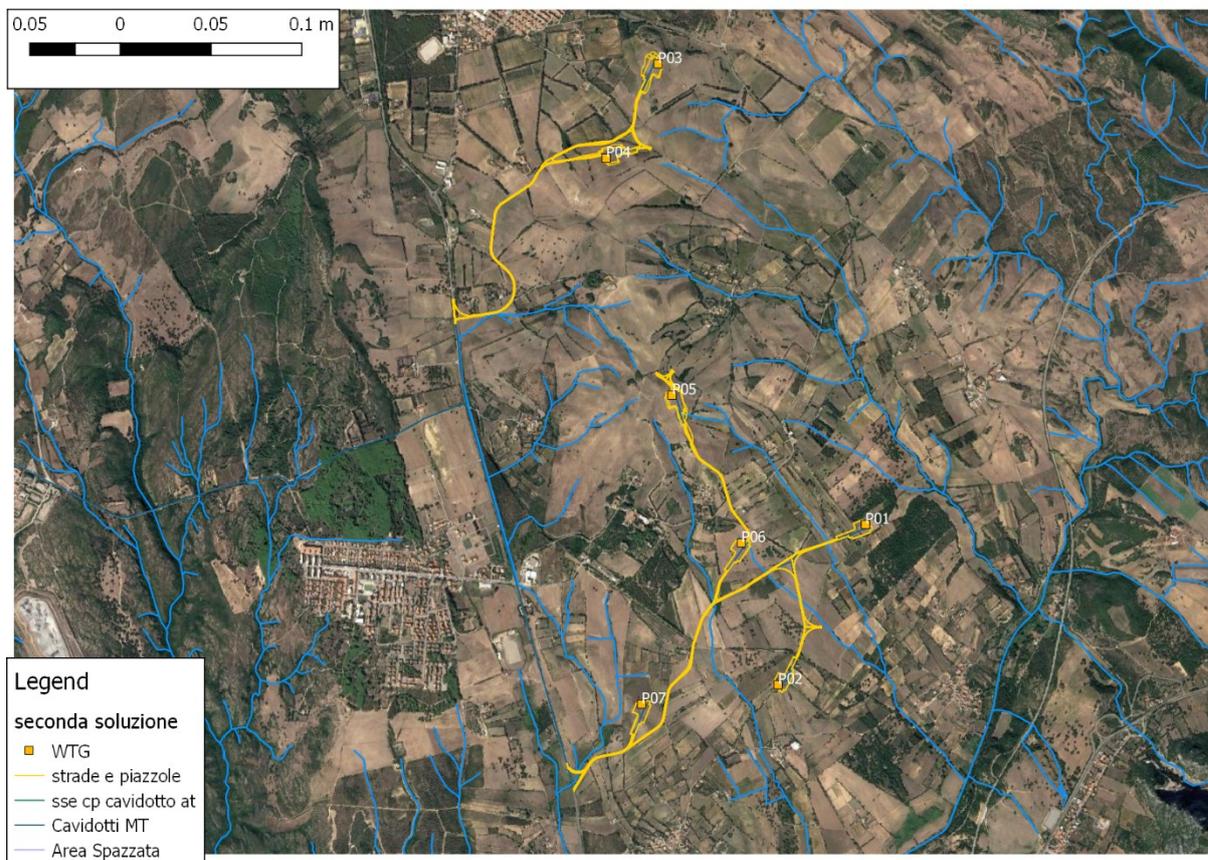


Figura 2 – Dettaglio delle aree oggetto di intervento

### 1.1 CARATTERIZZAZIONE CLIMATICA DELL'AREA DI INTERVENTO

Il comune di Portoscuso, nel quale ricadono le aree oggetto di intervento, è caratterizzato da una stagione calda che dura dal 22 giugno al 20 settembre, con una temperatura giornaliera massima oltre 25 °C. Il mese più caldo dell'anno è agosto, con una temperatura massima di 28 °C e minima di 22 °C.

Per quanto riguarda invece la stagione fresca essa ricopre un arco temporale che dura dal 29 novembre al 8 aprile, con una temperatura massima giornaliera media inferiore pari a 17 °C. Il mese più freddo dell'anno è febbraio, con una temperatura minima media di 9 °C e massima di 14 °C.

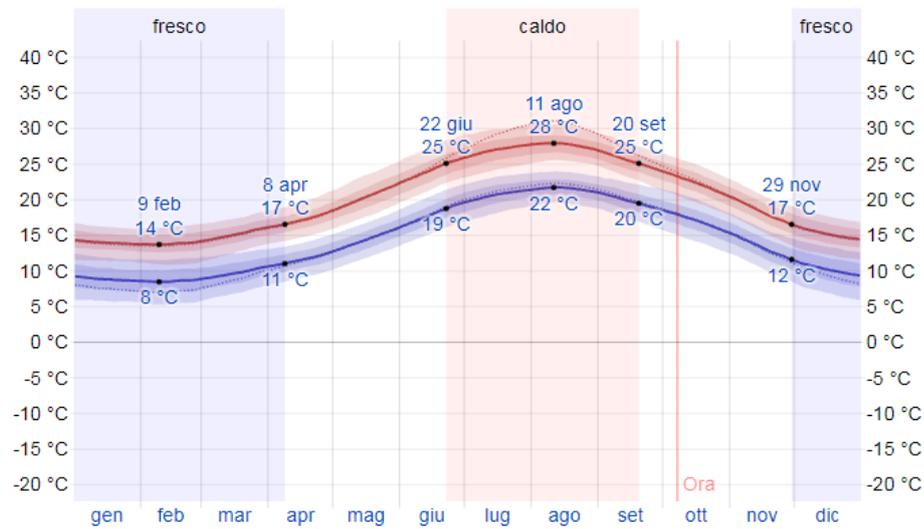


Figura 3 - La temperatura massima (riga rossa) e minima (riga blu) giornaliere medie

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.

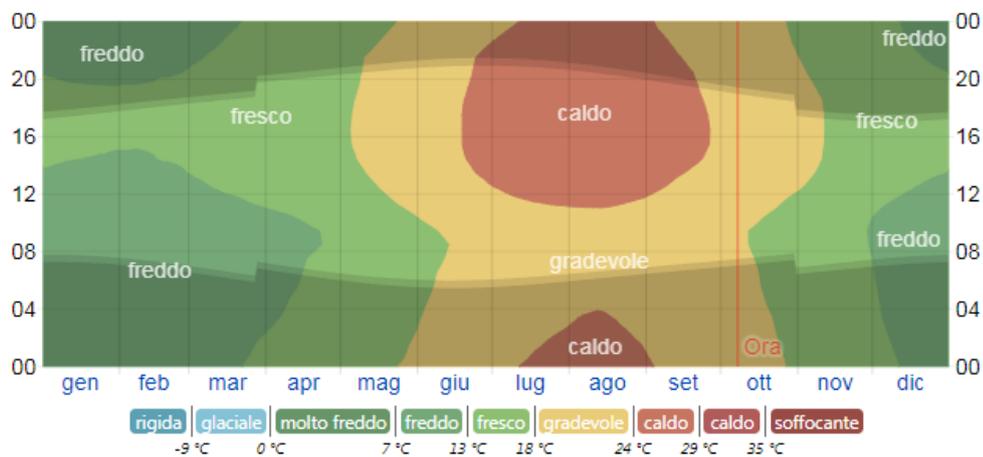


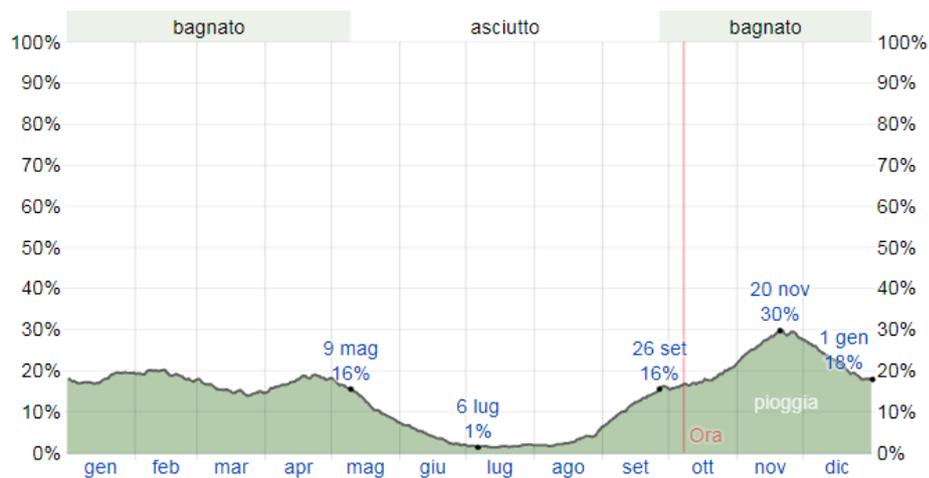
Figura 4 - La temperatura oraria media, con fasce di diversi colori. L'ombreggiatura indica la notte e il crepuscolo civile.

A livello locale, il clima dell'area presenta caratteristiche tipiche della marittimità indotta dal mar mediterraneo a ovest, anche se evidenzia specificità nel regime anemologico e pluviometrico indotte dalla presenza delle isole di S. Pietro e S. Antioco e dalle strutture orografiche dei monti

dell'Iglesiente ad est, con dorsali montane principali e la valle del Cixerri con giacitura ovest-est.

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

La stagione *più piovosa* dura dal *26 settembre* al *9 maggio*, con una probabilità di oltre *16%* che un dato giorno sia piovoso, mentre la stagione *più asciutta* dura dal *9 maggio* al *26 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 *20 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. Portoscuso ha *alcune* variazioni stagionali di piovosità mensile.

Il mese più piovoso è novembre con un accumulo totale medio di *52 millimetri*, mentre quello meno piovoso è *luglio* con un accumulo totale medio di *2 millimetri*.

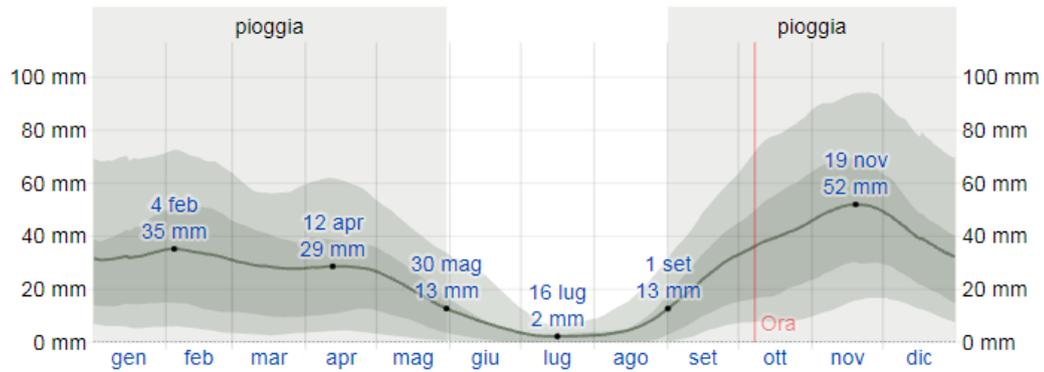


Figura 6 – Precipitazioni mensili medie

## 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.

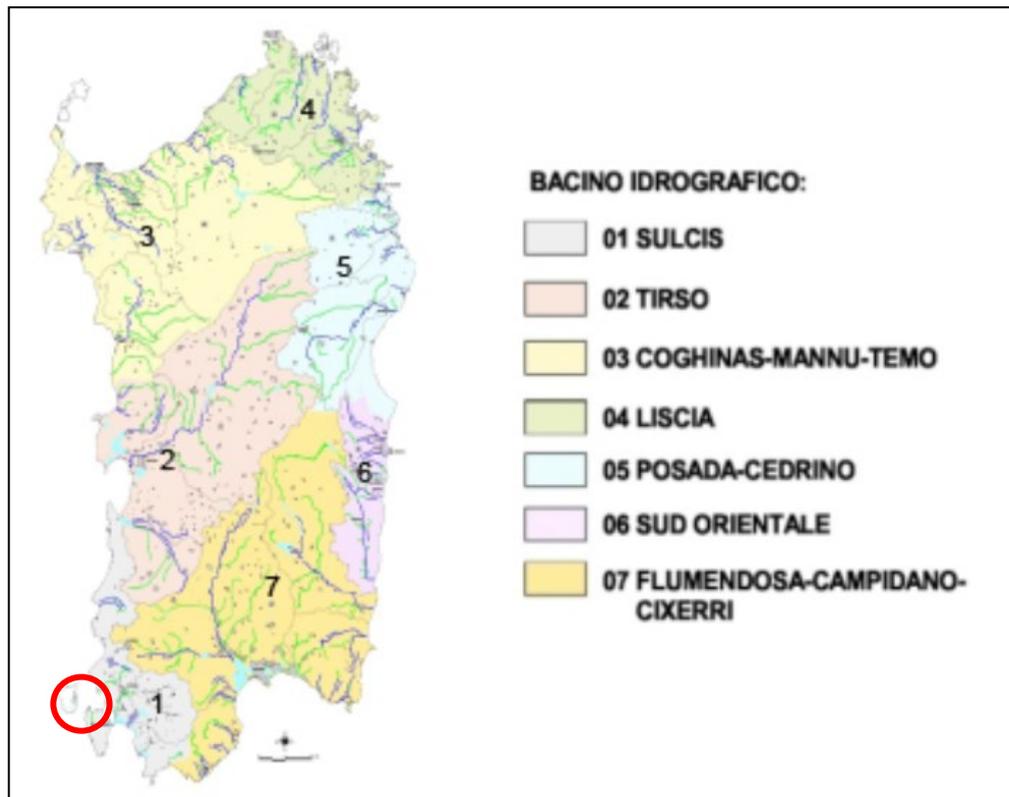


Figura 7 – Bacini idrografici della Sardegna

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

Il Sulcis-Iglesiente si estende per 1640 Km<sup>2</sup>, pari a circa il 7% 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:

- Rio Palmas, alimentato dalla confluenza del Rio Mannu di Narcao, del rio Gutturu de Ponti e del Rio Mannu di Santadi; il suo bacino imbrifero ricopre il territorio per la maggior parte.
- Rio Santu Milanu, attraversante la zona meridionale dell'abitato di Carbonia.
- Rio Cannas, attraversante la zona settentrionale dell'abitato di Carbonia.
- Rio Flumentepido, compreso fra Carbonia e Gonnese.
- Rio Mannu di Fluminimaggiore, che riceve i contributi del Rio Bega, del Rio Antas e del Rio is Arrus.

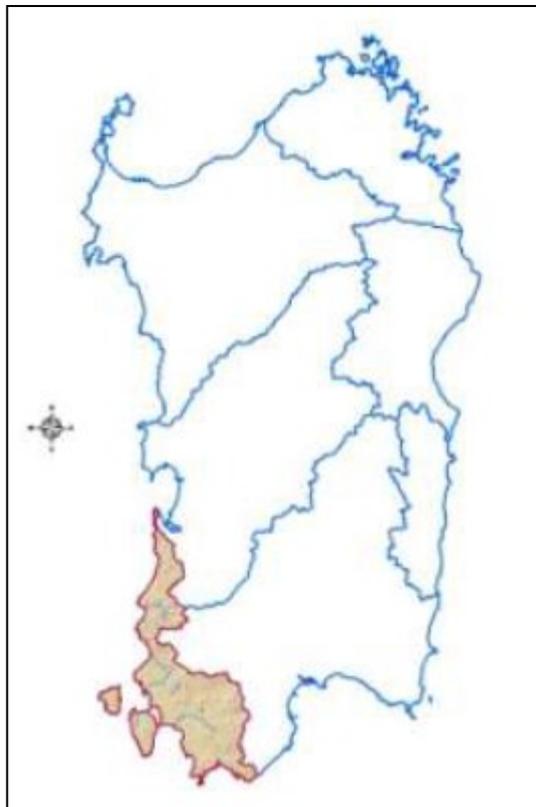


Figura 8 – Sub-bacino Sulcis

I sottobacini di riferimento sono due: Rio Palmas e Minori tra il Rio Palmas ed il Flumini Mannu di Pabillonis.

## 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 in occasione di eventi di durata pari a 1h, 3h, 6h, 12h e 24h, 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;
- 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 **Iglesias**, in provincia di Carbonia Iglesias;
- Stazione di **Campanasissa**, in provincia di Cagliari;
- Stazione di **Flumentepido**, in provincia di Carbonia Iglesias;
- Stazione di **Santadi**, in provincia di Cagliari;
- Stazione di **Narcao**, in provincia di Carbonia Iglesias.



**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 110 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, in occasione di eventi di durata pari a 1h, 3h, 6h, 12h e 24h.

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



Engineering & Construction



EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15012.00.059.00

PAGE

12 di/of 27

Anno	Iglesias (CI)				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
1929	37.8	57.0	63.0	63.4	63.4
1930	18.4	22.2	30.2	39.0	43.0
1931	19.0	19.0	29.0	42.5	49.6
1932	9.8	14.4	21.4	30.6	41.4
1933	23.0	49.0	61.3	76.2	80.0
1934	23.6	26.6	30.0	35.2	49.5
1935	23.0	27.6	33.0	47.4	51.0
1937	15.2	28.0	36.0	41.4	76.4
1938	20.6	27.5	36.0	40.0	56.0
1940	21.7	32.0	52.0	72.0	73.2
1941	13.0	15.1	37.0	48.5	53.1
1942	21.0	58.0	101.0	133.8	135.5
1944	18.5	30.0	37.5	41.4	48.9
1951	21.6	31.0	40.4	65.4	115.4
1952	18.4	22.0	28.0	33.2	35.0
1953	21.2	21.4	27.6	32.6	58.4
1954	11.5	11.5	14.7	31.7	47.8
1955	12.0	27.2	28.4	33.6	41.0
1957	18.0	25.2	25.8	29.6	45.6
1958	13.4	24.2	27.0	32.6	38.6
1959	39.4	41.8	42.2	54.0	65.6
1960	14.6	22.0	40.8	54.2	82.0
1961	25.8	32.2	39.8	60.4	73.2
1962	27.0	43.6	47.4	47.6	47.6
1964	47.0	48.6	48.6	66.2	68.2
1965	24.6	34.6	45.0	61.4	62.4
1966	18.2	23.0	35.4	40.6	64.8
1968	14.6	22.4	38.8	54.0	75.0
1969	26.8	37.2	38.0	46.8	47.6

Anno	Iglesias (CI)				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
1970	27.0	36.4	38.2	42.2	42.4
1972	18.2	33.4	48.4	69.8	96.8
1974	11.2	24.4	33.8	43.6	60.6
1975	14.7	19.2	28.6	29.2	39.2
1976	29.0	30.8	30.8	30.8	44.0
1977	30.0	51.0	51.4	63.2	63.2
1978	13.0	23.0	38.0	63.0	71.0
1979	11.0	17.0	23.4	32.4	38.4
1980	14.0	30.0	40.6	50.4	52.4
1981	17.0	29.6	46.0	63.4	88.6
1983	13.0	23.0	32.6	33.4	41.8
1986	26.8	35.6	35.8	35.8	37.4
1987	10.0	21.0	33.0	46.0	63.8
1988	13.4	24.4	26.4	28.4	52.8
2013	19.0	24.6	29.6	35.8	52.2
2014	26.4	51.2	57.2	64.8	72.0
2015	17.6	22.6	31.6	42.4	57.6
2016	20.6	20.6	29.6	40.4	49.4
2017	20.0	26.0	34.2	42.8	55.2
2018	29.6	39.4	40.6	45.2	67.0
2019	15.6	24.6	31.2	35.6	52.4

Tabella 1 – Altezze di pioggia (mm) corrispondenti ad eventi di pioggia di massima intensità per durate di 1h, 3h, 6h, 12h, 24h registrate presso la stazione di Iglesias (CI), consultabili negli annali idrologici della Sardegna.



Engineering & Construction



EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15012.00.059.00

PAGE

14 di/of 27

Anno	Campanasissa (CA)				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
1953	24.2	27.0	47.4	76.0	131.0
1954	19.4	33.5	35.1	38.0	38.0
1955	25.0	49.0	71.0	71.0	87.0
1956	17.4	17.4	37.2	41.4	47.8
1957	22.0	34.8	61.5	87.2	152.2
1958	26.0	35.0	36.0	43.2	52.6
1959	38.8	43.4	55.0	85.6	106.0
1960	21.4	31.6	33.8	63.6	68.8
1961	20.0	33.4	50.6	66.6	86.6
1962	14.6	21.2	43.2	45.6	53.0
1963	25.0	41.0	56.6	63.4	119.0
1964	17.0	27.8	40.4	55.0	64.2
1965	19.8	23.2	29.2	41.0	49.2
1966	21.0	53.4	65.4	92.8	93.4
1967	19.0	22.0	39.0	64.0	103.6
1968	29.4	42.4	44.0	48.6	78.2
1969	34.6	49.8	68.2	74.0	75.4
1970	34.0	43.0	61.0	67.4	87.8
1971	30.0	59.0	78.4	114.8	117.6
1972	25.0	44.0	63.8	86.6	106.8
1973	25.4	25.4	33.8	46.4	60.0
1974	18.0	39.0	65.2	93.4	148.6
1975	40.0	42.8	60.2	72.2	72.4
1976	19.8	40.0	72.0	88.0	119.0
2012	38.2	39.0	39.0	39.2	50.0
2013	35.2	40.6	70.2	85.0	106.8
2014	23.8	42.8	49.2	54.0	54.8
2015	16.6	29.0	41.6	56.6	59.6
2016	47.4	61.2	64.6	64.6	64.6

<b>2017</b>	30.4	35.4	57.0	67.4	74.2
<b>2018</b>	43.8	61.2	61.4	61.4	81.4
<b>2019</b>	24.8	29.8	43.0	53.2	53.6

**Tabella 2 - Altezze di pioggia (mm) corrispondenti ad eventi di pioggia di massima intensità per durate di 1h, 3h, 6h, 12h, 24h registrate presso la stazione di Campanasissa (CA), consultabili negli annali idrologici della Sardegna.**

Anno	Flumentepido (CA)				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
<b>2013</b>	28.8	30.6	35.8	40.4	42.2
<b>2014</b>	17.8	26.8	31.0	32.8	33.2
<b>2015</b>	12.4	12.6	16.6	22.4	32.0
<b>2016</b>	33.8	35.6	35.8	37.0	46.6
<b>2017</b>	12.2	16.2	27.6	29.6	32.8
<b>2018</b>	31.4	32.8	33.0	45.0	74.2
<b>2019</b>	14.0	22.8	31.2	33.2	42.0

**Tabella 3 - Altezze di pioggia (mm) corrispondenti ad eventi di pioggia di massima intensità per durate di 1h, 3h, 6h, 12h, 24h registrate presso la stazione di Flumentepido (CI), consultabili negli annali idrologici della Sardegna.**

Anno	Santadi (CA)				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
<b>2013</b>	21.2	29.8	29.8	31.0	45.4
<b>2014</b>	27.6	28.4	28.6	33.0	39.4
<b>2015</b>	25.2	42.6	62.0	74.4	75.2
<b>2016</b>	23.6	30.6	32.0	32.0	32.0
<b>2017</b>	13.4	30.6	52.0	68.6	76.4
<b>2018</b>	46.8	48.8	51.2	62.6	85.6
<b>2019</b>	19.0	33.4	44.8	53.4	56.4

**Tabella 4 - Altezze di pioggia (mm) corrispondenti ad eventi di pioggia di massima intensità per durate di 1h, 3h, 6h, 12h, 24h registrate presso la stazione di Santadi (CA), consultabili negli annali idrologici della Sardegna**

Anno	Narcao (CI)				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
1929	42.6	89.4	106.6	106.8	107.0
1930	10.8	23.6	41.8	60.0	76.2
1933	24.4	59.6	97.2	130.0	130.0
1934	29.8	29.8	41.4	42.2	42.2
1935	45.8	46.0	46.4	53.2	57.3
1936	33.9	46.8	60.8	65.8	65.8
1938	14.2	17.4	23.0	24.4	32.6
1939	14.0	19.6	22.6	40.4	41.6
1940	22.8	25.2	29.8	38.5	42.3
1946	44.8	55.4	56.4	57.2	58.8
1947	24.2	44.4	61.2	67.2	86.2
1949	11.8	16.4	23.4	30.8	37.8
1981	23.6	37.0	53.0	72.2	99.2
1986	23.6	45.8	47.8	48.4	48.6

**Tabella 5 - Altezze di pioggia (mm) corrispondenti ad eventi di pioggia di massima intensità per durate di 1h, 3h, 6h, 12h, 24h registrate presso la stazione di Narcao (CA), 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 corrispondente a durate di 1h, 3h, 6h, 12h e 24h, 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];
- $P_i$  = altezza di pioggia della stazione "i-esima" [mm];
- $D_i$  = 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:

Anno	Dati di pioggia derivanti dal metodo distanze inverse				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
1929	39.13	65.97	75.07	75.42	75.47
1930	16.30	22.59	33.41	44.81	52.19
1931	19.0	19.0	29.0	42.5	49.6
1932	9.8	14.4	21.4	30.6	41.4
1933	23.39	51.93	71.24	91.09	93.84
1934	25.32	27.49	33.16	37.14	47.48
1935	29.31	32.69	36.71	49.01	52.74
1936	33.9	46.8	60.8	65.8	65.8
1937	15.2	28.0	36.0	41.4	76.4
1938	18.83	24.70	32.40	35.68	49.52
1939	14.0	19.6	22.6	40.4	41.6
1940	22.00	30.12	45.85	62.73	64.65
1941	13.0	15.1	37.0	48.5	53.1
1942	21.0	58.0	101.0	133.8	135.5
1944	18.5	30.0	37.5	41.4	48.9
1946	44.8	55.4	56.4	57.2	58.8
1947	24.2	44.4	61.2	67.2	86.2
1949	11.8	16.4	23.4	30.8	37.8
1951	21.6	31.0	40.4	65.4	115.4
1952	18.4	22.0	28.0	33.2	35.0



Engineering & Construction



WE ENGINEERING

EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15012.00.059.00

PAGE

18 di/of 27

<b>1953</b>	21.64	22.21	30.48	38.91	68.96
<b>1954</b>	12.65	14.70	17.67	32.62	46.37
<b>1955</b>	13.89	30.37	34.59	39.04	47.69
<b>1956</b>	17.4	17.4	37.2	41.4	47.8
<b>1957</b>	18.58	26.60	30.99	37.98	61.10
<b>1958</b>	15.23	25.77	28.31	34.14	40.64
<b>1959</b>	39.31	42.03	44.06	58.60	71.47
<b>1960</b>	15.59	23.40	39.78	55.57	80.08
<b>1961</b>	24.96	32.37	41.37	61.30	75.15
<b>1962</b>	25.20	40.34	46.79	47.31	48.39
<b>1963</b>	25.0	41.0	56.6	63.4	119.0
<b>1964</b>	42.64	45.58	47.41	64.57	67.62
<b>1965</b>	23.90	32.94	42.70	58.43	60.48
<b>1966</b>	18.61	27.42	39.76	48.19	68.96
<b>1967</b>	19.0	22.0	39.0	64.0	103.6
<b>1968</b>	16.75	25.31	39.56	53.21	75.47
<b>1969</b>	27.93	39.03	42.39	50.76	51.64
<b>1970</b>	28.02	37.36	41.52	45.86	49.00
<b>1971</b>	30.0	59.0	78.4	114.8	117.6
<b>1972</b>	19.19	34.94	50.64	72.24	98.25
<b>1973</b>	25.4	25.4	33.8	46.4	60.0
<b>1974</b>	12.19	26.52	38.37	50.84	73.40
<b>1975</b>	18.38	22.63	33.20	35.45	44.03
<b>1976</b>	27.66	32.14	36.79	39.12	54.91
<b>1977</b>	30.0	51.0	51.4	63.2	63.2
<b>1978</b>	13.0	23.0	38.0	63.0	71.0
<b>1979</b>	11.0	17.0	23.4	32.4	38.4
<b>1980</b>	14.0	30.0	40.6	50.4	52.4
<b>1981</b>	18.83	31.65	47.94	65.84	91.53
<b>1983</b>	13.0	23.0	32.6	33.4	41.8
<b>1986</b>	25.91	38.42	39.12	39.29	40.50

<b>1987</b>	10.0	21.0	33.0	46.0	63.8
<b>1988</b>	13.4	24.4	26.4	28.4	52.8
<b>2012</b>	38.2	39.0	39.0	39.2	50.0
<b>2013</b>	28.5	30.5	35.8	40.4	42.7
<b>2014</b>	18.1	27.5	31.7	33.7	34.3
<b>2015</b>	12.6	13.1	17.3	23.3	33.0
<b>2016</b>	33.5	35.3	35.7	37.2	46.7
<b>2017</b>	12.5	16.6	28.0	30.3	33.7
<b>2018</b>	31.5	33.2	33.4	45.2	74.1
<b>2019</b>	14.1	22.9	31.3	33.4	42.4

**Tabella 6 - Altezza di pioggia (mm) corrispondenti ad eventi piovosi di massima intensità per durate di 1h, 3h, 6h, 12h, 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:

- Metodo di Gumbel;
- Metodo VAPI tramite analisi statistica TCEV.

#### **3.1 DISTRIBUZIONE STATISTICA DI GUMBEL**

La serie di dati ottenute dal 1928 al 2019 applicando il metodo delle distanze inverse ai dati registrati presso le stazioni di riferimento in termini di altezze di pioggia [mm] corrispondenti ad eventi di massima intensità per durate di 1h, 3h, 6h, 12h, 24h sono state elaborate statisticamente per calcolare, per ciascuna durata considerata, i percentili corrispondenti a diversi periodi di ritorno (10, 20, 25, 50, 200, 250, 500 anni).

Nel dettaglio, con i dati ( $x_i$ ) disponibili per ogni durata di interesse (1h, 3h, 6h, 12h, 24h), sono stati sviluppati i passaggi elencati nei punti che seguono:

- Calcolo della media ( $\mu$ ) e del momento di primo ordine corretto ( $\sigma$ ) applicando le seguenti formule:

$$\mu = \frac{\sum_1^N x_i}{N} ; \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^N (x_i - \mu)^2}{(N-1)}}$$

- Calcolo dei parametri della distribuzione di Gumbel  $\alpha$  ed  $u$  applicando le seguenti formule:

$$\alpha = \frac{1.283}{\sigma} ; \quad u = \mu - 0.45\sigma$$

- Calcolo dei percentili di Gumbel applicando la seguente formula in funzione dei parametri  $u$ ,  $\alpha$  e del tempo di ritorno ( $T$  in anni):

$$x = u + \frac{1}{\alpha} \left[ -\ln \left[ -\ln \left[ \frac{T-1}{T} \right] \right] \right]$$

I risultati ottenuti sono stati raccolti nella seguente tabella:

		T						
		10	20	25	50	200	250	500
h	1	32.6886	37.46576	38.98114	43.6493	52.89978	54.38401	58.99076
	3	46.40348	53.11156	55.23945	61.79448	74.78399	76.86814	83.33693
	6	59.23001	67.51352	70.14116	78.23567	94.27584	96.84947	104.8375
	12	75.50772	86.4627	89.93776	100.6428	121.856	125.2596	135.8238
	24	92.16771	105.124	109.2339	121.8945	146.983	151.0084	163.5025

**Tabella 7 - Altezze di pioggia [mm] calcolate per diverse durate e diversi periodi di ritorno**

I risultati dell'elaborazione statistica dei dati di pioggia oggetto della presente trattazione sono stati espressi sotto forma di *curve di probabilità pluviometrica*, rappresentate in forma esponenziale con evidenza dei parametri "a" ed "n":

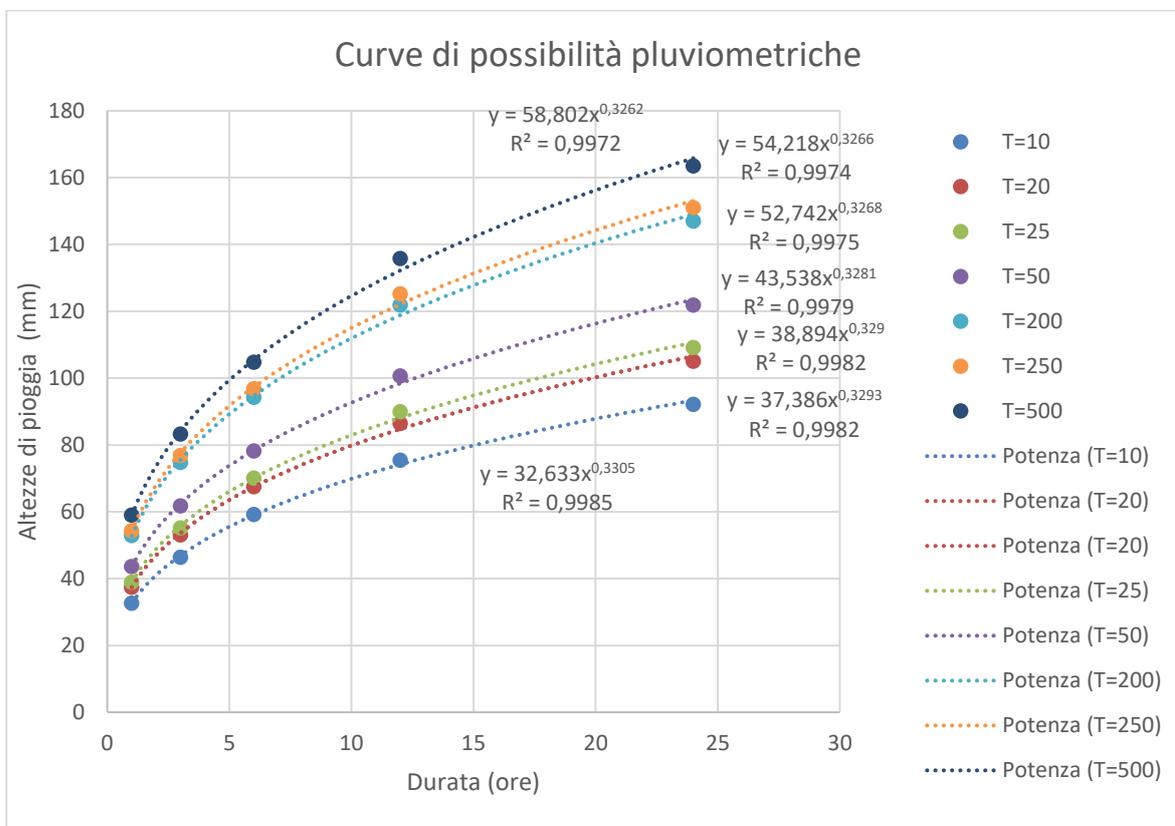


Figura 10 – Curve di possibilità pluviometriche

	T						
	10	20	25	50	200	250	500
<b>a</b>	32.633	37.386	38.894	43.538	52.742	54.218	58.802
<b>n</b>	0.3305	0.3293	0.329	0.3281	0.3268	0.3266	0.3262

Tabella 8 - Parametri delle curve di possibilità pluviometrica per diversi tempi di ritorno

### 3.2 DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIAVAPI

La stima della pioggia di massima intensità per un dato tempo di corrvazione e per un dato tempo di ritorno, viene sviluppata secondo i criteri sviluppati dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche.

Il Progetto VAPI sulla Valutazione delle Piene in Italia ha come obiettivo quello di predisporre una procedura uniforme sull'intero territorio nazionale per la valutazione delle portate di piena

naturali. La metodologia adottata nel progetto VAPI fa riferimento ad un approccio di tipo probabilistico per la valutazione dei massimi annuali delle portate di piena e quindi non esiste un valore massimo assoluto, ma ad ogni valore della portata di piena viene associata una probabilità che si verifichino eventi di piena con valori superiori. Per ridurre le incertezze legate alla presenza di eventi estremi molto rari, si adotta una metodologia di analisi regionale che consente di utilizzare non solo tutta l'informazione idrometrica ma anche tutta quella pluviometrica posseduta su un dato territorio.

Nell'ambito di tale studio si è utilizzata l'informazione pluviografica raccolta dal Servizio Idrografico Italiano e, in particolare, sono stati utilizzati i risultati dell'analisi statistica a scala regionale ed applicando la legge di distribuzione a doppia componente su tre livelli successivi di regionalizzazione, basato sulla seguente formula:

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

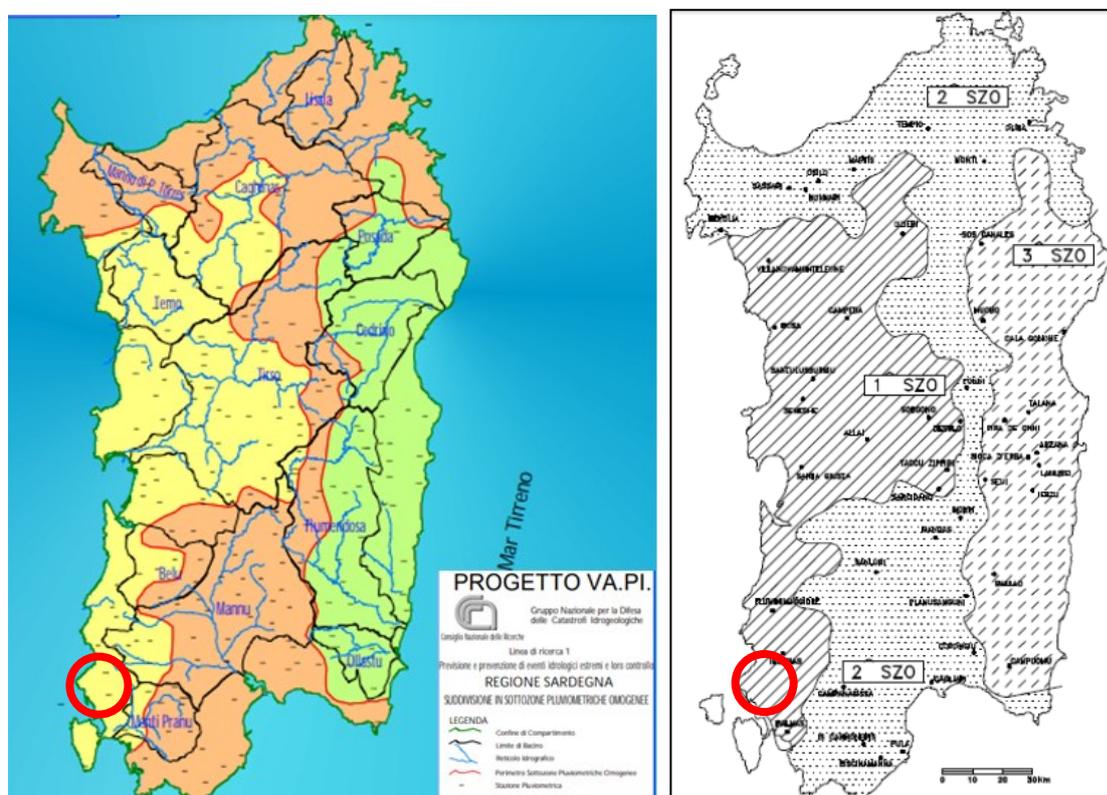
Il modello a doppia componente appena citato è denominato TCEV (acronimo di Two Components Extreme Value): i parametri della TCEV sono 4 ed è quindi molto elevata l'incertezza della stima ottenuta con le serie storiche disponibili la cui dimensione campionaria è in genere inferiore a 80. Per ridurre tale incertezza, si utilizzano tecniche di analisi regionale che consentono di stimare almeno alcuni dei parametri sulla base di tutte le serie storiche ricadenti all'interno di vaste aree indicate come zone e sottozone omogenee. In particolare:

- Al I livello di regionalizzazione per i due parametri di forma  $\theta_*$  e  $\Lambda_*$  si può assumere un valore costante all'interno di ampie zone omogenee;
- Al II livello di regionalizzazione, oltre ai valori costanti dei parametri  $\theta_*$  e  $\Lambda_*$  nelle zone omogenee, all'interno di queste è possibile identificare sottozone omogenee, entro cui si può ritenere costante anche il parametro di scala  $\Lambda_1$ ;
- Al III livello di regionalizzazione, oltre ai parametri  $\theta_*$ ,  $\Lambda_*$  e  $\Lambda_1$  di cui si può assumere un valore regionale, si persegue in modo regionale anche la stima del quarto parametro che sia  $\theta_1$  o  $\mu$  in relazione all'approccio che si intende adottare.

I risultati ottenuti per la regione Sardegna

Il modello TCEV è stato impiegato nel progetto VAPI (Valutazione delle Piene in Italia) sviluppato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche. Come riportato all'interno del rapporto "Sintesi del rapporto regionale Sardegna", sul territorio in questione sono stati eseguiti vari studi nel rispetto dei criteri del Progetto VAPI, ai differenti livelli della procedura gerarchica e per le differenti grandezze idrologiche, a cura dell'U.O. 1.7 del GNDCl presso l'Università di Cagliari.

Operativamente, il territorio è stato suddiviso in 3 sottozone omogenee, come è possibile vedere dalle immagini che seguono:



**Figura 11 - Individuazione dell'area di intervento nella tavola "Compartimento di Cagliari – Suddivisione in aree pluviometriche omogenee" (Fonte: <http://www.idrologia.polito.it/gndci/rapporti/BoAnPi.htm>)**

Dal confronto tra le due immagini precedenti, è possibile stabilire che le aree oggetto di intervento ricadono all'interno dell'area pluviometrica omogenea 1-SZO. Dal momento che è stato necessario effettuare analisi idrologiche per i bacini di interesse, data la misura campionaria dei dati storici, è apparso ragionevole adattare alla stessa il modello probabilistico della TCEV

al II livello di regionalizzazione che ritiene costanti per la sottozona 1-SZO in cui ricadono le aree di intervento, i parametri  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$  nonché il parametro di scala  $\Lambda_1$ .

Per il compartimento di Cagliari, e in particolare per l'area oggetto di tale studio idrologico-idraulico, si ottengono i seguenti risultati:

Parametri TCEV – Sottozona 1-SZO	
$\theta^*$	2.207
$\Lambda^*$	0.5717
$\Lambda_1$	74.5
$\eta$	5.856

Tabella 9 – Parametri TCEV ottenuti al II livello di regionalizzazione

Al secondo livello di regionalizzazione la stima di  $x_T$ , nel modello TCEV, può essere effettuata con il metodo del valore indice. Con tale metodo si analizza in luogo di  $X$  una variabile adimensionale  $X/X_I$  dove  $X_I$  è un valore caratteristico della distribuzione di  $X$  ed assume il nome di valore indice.

Nelle applicazioni quasi sempre si utilizza come valore indice la media  $\mu$  e si analizza la variabile  $X'=X/\mu$  che viene indicata come fattore di crescita.

In generale seguendo tale approccio, la stima di  $x_T$  si ottiene con due passi distinti:

- stima del fattore di crescita  $x'_T$ , relativo al periodo di ritorno  $T$ ;
- stima del valore indice,  $\mu$ .

In definitiva la stima di  $x_T$  si ottiene con il prodotto:

$$X_T = x'_T \cdot \mu$$

La stima del fattore di crescita, riferita al periodo di ritorno imposto dal problema in esame, è ovviamente una stima probabilistica. La distribuzione di probabilità (curva di crescita) di tale variabile interpretata con la legge probabilistica TCEV assume espressione:

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

Dove:

$$\eta = \frac{\mu}{\theta_1}$$

E' importante sottolineare che la curva di crescita, come si può notare facilmente dalle espressioni riportate, dipende dai soli parametri  $\Lambda_*$ ,  $\theta_*$  e  $\Lambda_1$ . In definitiva, utilizzando l'approccio del valore indice, è possibile ottenere una stima di  $x_T$  dalla conoscenza dei parametri  $\theta_*$ ,  $\Lambda_*$ ,  $\Lambda_1$  (mediante i quali si stima la curva di crescita) e di  $\mu$  (portata indice).

E' opportuno sottolineare che per il secondo livello di regionalizzazione il valore indice può essere considerato pari alla media aritmetica della serie campionaria della variabile idrologica considerata.

Si riporta di seguito il calcolo delle altezze di pioggia necessarie per la determinazione della curva di possibilità pluviometrica per i vari tempi di ritorno.

$x'_T$	1	3	6	12	24	T	$F(x')x'$
1.437757	31.03480457	44.301071	57.4780175	71.9543586	89.2198658	<b>10</b>	0.9
1.673481	36.12303352	51.564336	66.9016732	83.7514443	103.847672	<b>20</b>	0.95
1.762368	38.04171711	54.303188	70.4551716	88.1999224	109.363566	<b>25</b>	0.96
1.993644	43.03393399	61.429399	79.7010082	99.7744036	123.715353	<b>50</b>	0.98
2.555029	55.15174421	78.727139	102.143802	127.869611	158.552028	<b>200</b>	0.995
2.634682	56.87110167	81.18146	105.328138	131.85595	163.494893	<b>250</b>	0.996
2.825313	60.98599027	87.055316	112.949118	141.396341	175.324509	<b>500</b>	0.998

**Tabella 10 - Altezze di pioggia [mm] calcolate per diverse durate e diversi periodi di ritorno**

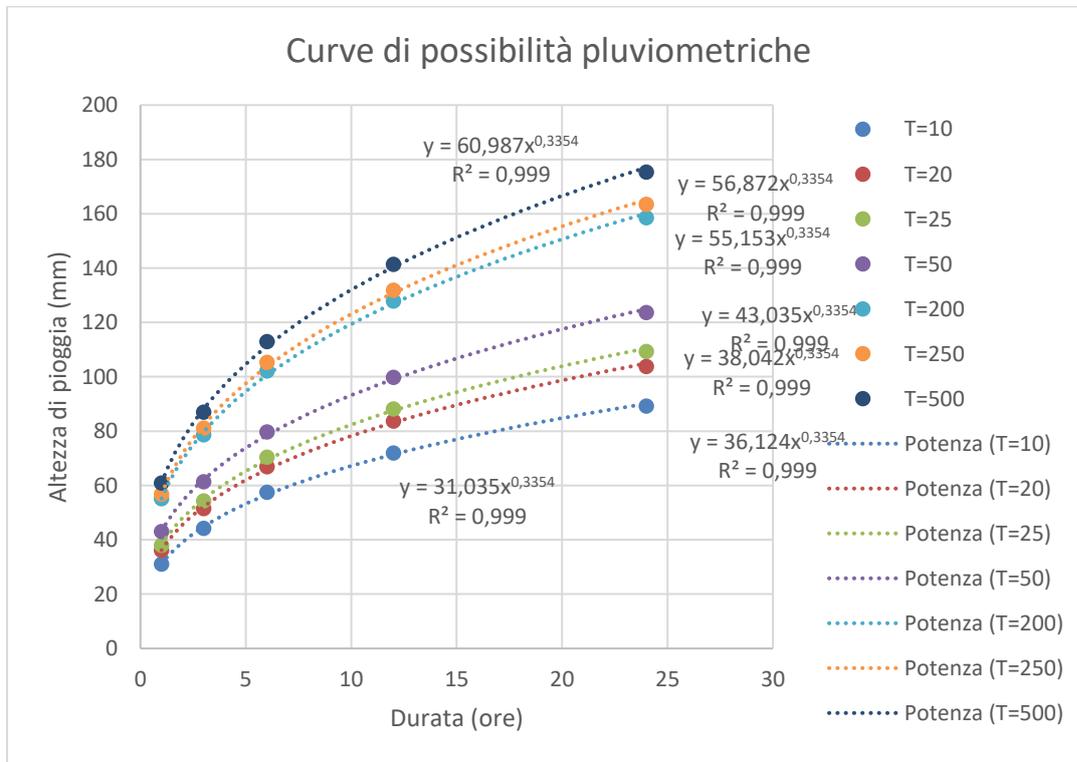


Figura 12 - Curve di possibilità pluviometrica per diversi tempi di ritorno stimati con l'approccio VAPI al II livello di regionalizzazione

	T						
	10	20	25	50	200	250	500
a	31.035	36.124	38.042	43.035	55.153	56.872	60.987
n	0.3354	0.3354	0.3354	0.3354	0.3354	0.3354	0.3354

Tabella 11 - Parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometriche ottenute con la distribuzione di tipo TCEV

#### 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 e di durata pari a 1, 3, 6, 12, 24 ore, disponibili con riferimento ad un periodo compreso tra il 1928 ed il 2019 in 5 stazioni (Iglesias, Campanasissa, Flumentepido, Santadi e Narcao) 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 TCEV con processo di regionalizzazione tramite VAPI;
- Sono state calcolate le curve di possibilità pluviometrica e dunque i parametri  $a$  e  $n$  per un tempo di ritorno pari a 10 20 25 50 200 250 500 sia con il metodo di Gumbel che con il metodo della TCEV;

Il Tecnico

Ing. Leonardo Sblendido