



Engineering & Construction



WE ENGINEERING

EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15067.00.057.00

PAGE

1 di/of 40

TITLE: Relazione idrologica

AVAILABLE LANGUAGE: IT

IMPIANTO EOLICO MACOMER

RELAZIONE IDROLOGICA

Il tecnico

Ing. Leonardo Sblendido

File: GRE.EEC.R.25.IT.W.15067.00.057.00_Relazione idrologica

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

EGP VALIDATION

	<i>G. Buonomo</i>	<i>A. Puosi</i>
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROGETTO / IMPIANTO MACOMER 2	EGP CODE																		
	GROUP	FUNCION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT	SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION									
	GRE	EEC	R	2	5	I	T	W	1	5	0	6	7	0	0	0	5	7	0

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 Macomer	5
1.1.2 Comune di Borore	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, Santu Lussurgiu, Scano di Montiferro, in provincia di Oristano e Borore, Macomer 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 Santu Lussurgiu, Scano di Montiferro, in provincia di Oristano e Borore, Macomer 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.

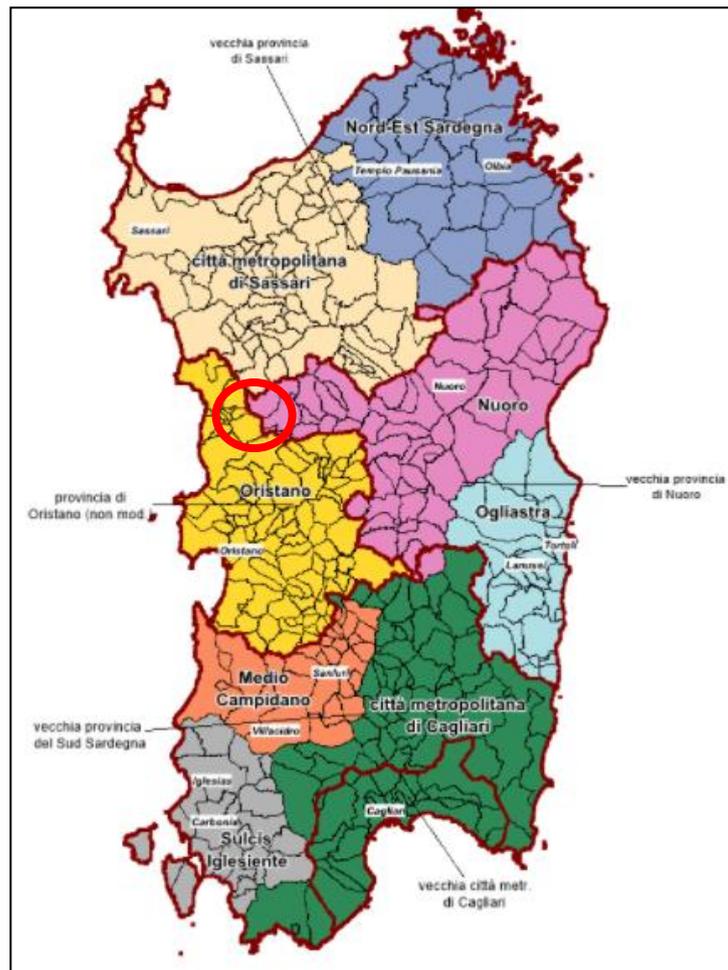


Figura 1 – Inquadramento aree oggetto di intervento nei comuni menzionati



Engineering & Construction



EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15067.00.057.00

PAGE

4 di/of 40

Nello specifico, le suddette aree denominate M2_01, M2_02, M2_03, M2_03, M2_04, M2_05, M2_06, M2_07 e M2_08 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

Si riporta di seguito la trattazione climatica di alcuni dei comuni in cui ricade l'impianto.

1.1.1 COMUNE DI MACOMER

Il comune di Macomer, nel quale ricadono le aree oggetto di intervento, è caratterizzato da una stagione calda che dura dal 16 giugno al 10 settembre, con una temperatura giornaliera massima oltre 26 °C. Il mese più caldo dell'anno è luglio, con una temperatura massima di 29 °C e minima di 16 °C.

Per quanto riguarda invece la stagione fresca essa ricopre un arco temporale che dura dal 19 novembre al 21 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 1 °C e massima di 10 °C.

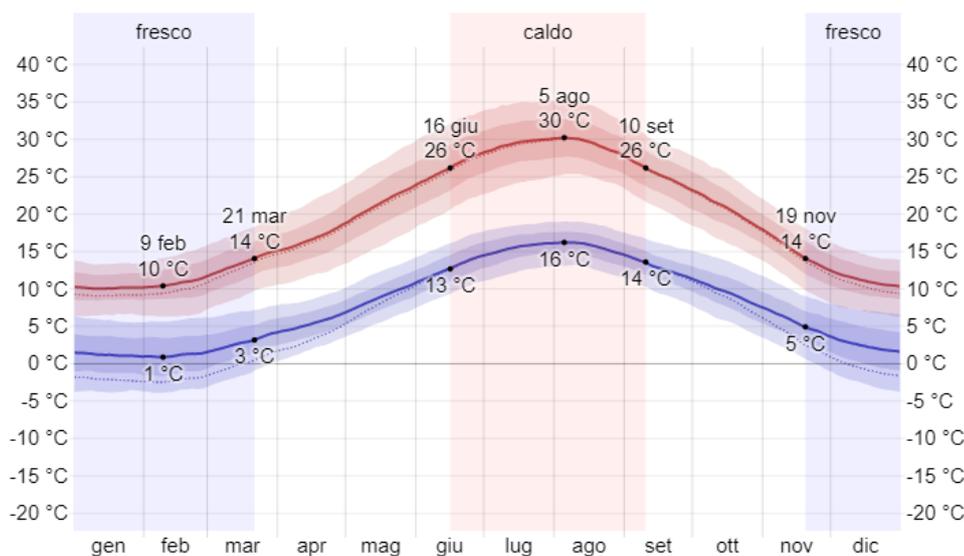


Figura 3 - La temperatura massima (riga rossa) e minima (riga blu) giornaliere medie

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.

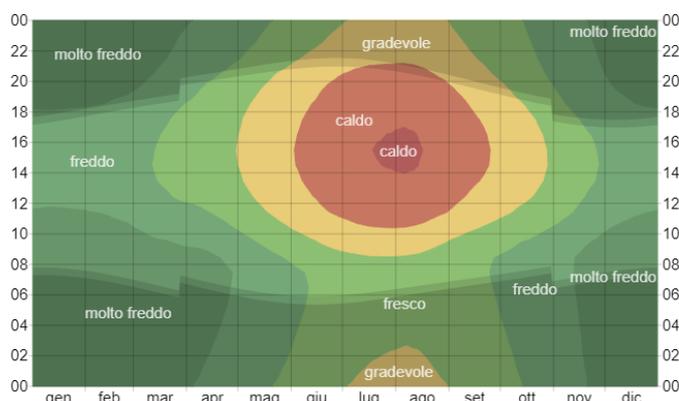


Figura 4 - La temperatura oraria media, con fasce di diversi colori. L'ombreggiatura indica la notte e il crepuscolo civile.

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 Orsei, 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 Macomer varia durante l'anno.

La stagione *più* piovosa dura dal 26 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 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 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. Macomer 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*.

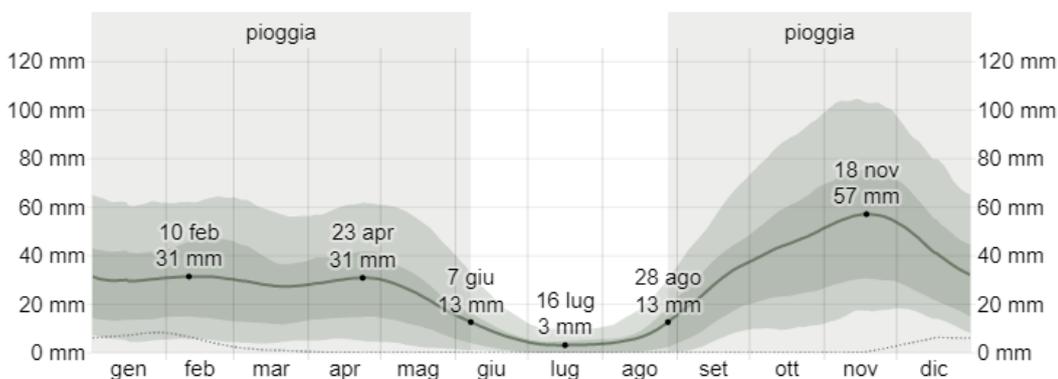


Figura 6 – Precipitazioni mensili medie

1.1.2 COMUNE DI BORORE

Il comune di Borore, nel quale ricadono le aree oggetto di intervento, è caratterizzato da una stagione calda che dura dal 16 giugno al 10 settembre, con una temperatura giornaliera massima oltre 27 °C. Il mese più caldo dell'anno è luglio, con una temperatura massima di 31 °C e minima di 17 °C.

arda invece la stagione fresca essa ricopre un arco temporale che dura dal 19 novembre al 22 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 3 °C e massima di 11 °C.

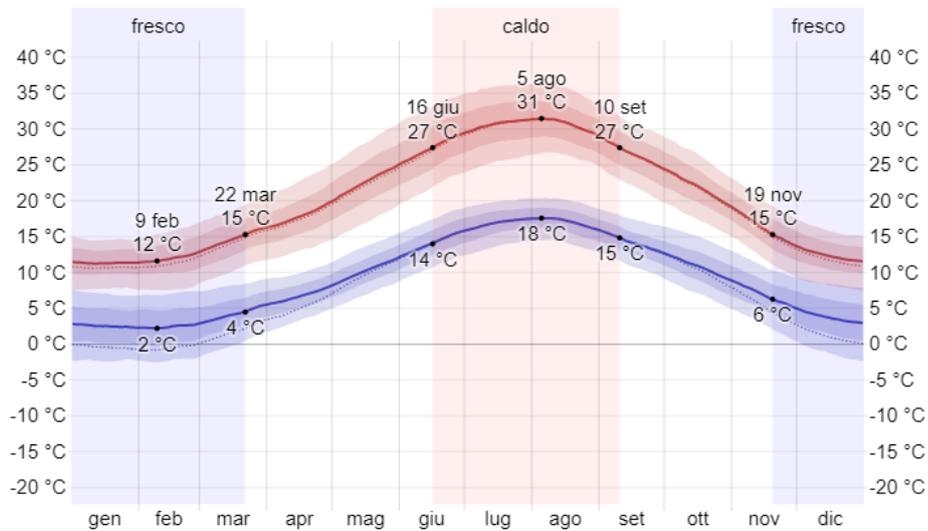


Figura 7 - La temperatura massima (riga rossa) e minima (riga blu) giornaliere medie

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.

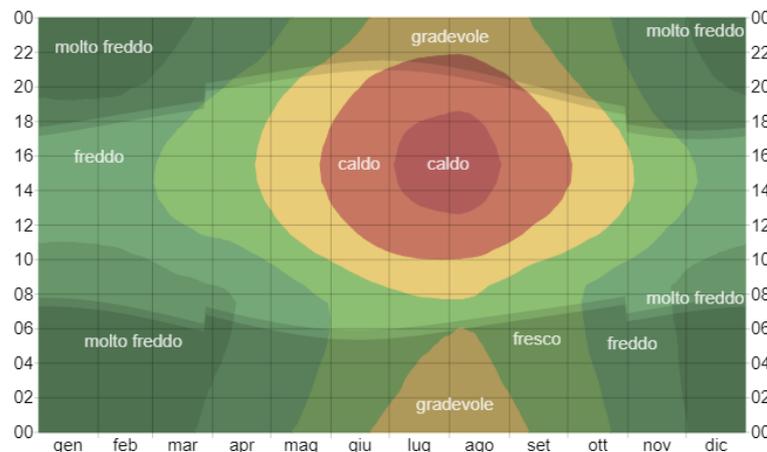


Figura 8 - La temperatura oraria media, con fasce di diversi colori. L'ombreggiatura indica la notte e il crepuscolo civile.



Engineering & Construction



EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15067.00.057.00

PAGE

9 di/of 40

Questi riguardano le zone costiere, sono quasi continentali nelle zone collinarie pedemontane, mentre i climi si fanno più rigidi nelle zone montuose. Questa differenza si 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 bianca 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 Macomer 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 *31%* il *25 novembre*.

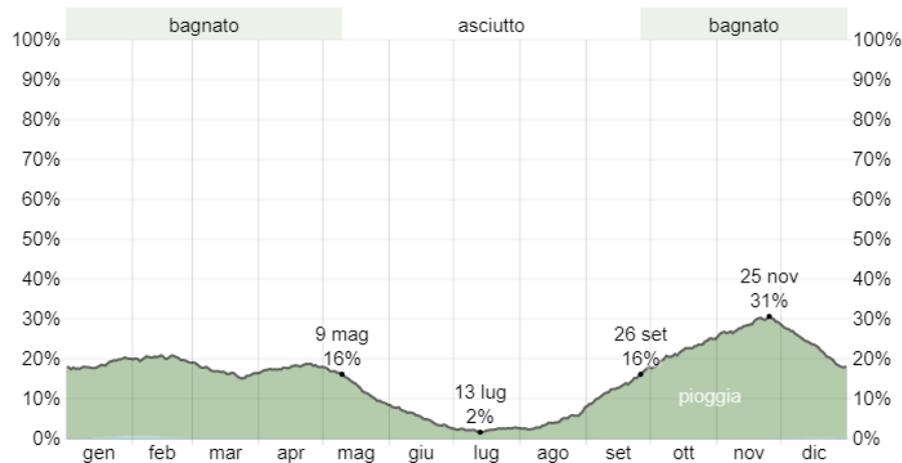


Figura 9 – Probabilità giornaliera di precipitazioni

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

Il mese più piovoso è novembre con un accumulo totale medio di *56 millimetri*, mentre quello meno piovoso è *luglio* con un accumulo totale medio di *3 millimetri*.

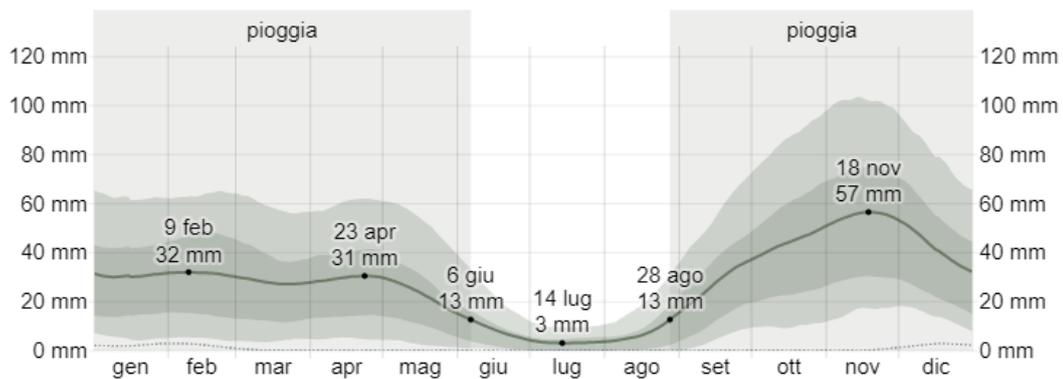


Figura 10 – Precipitazioni mensili medie

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.

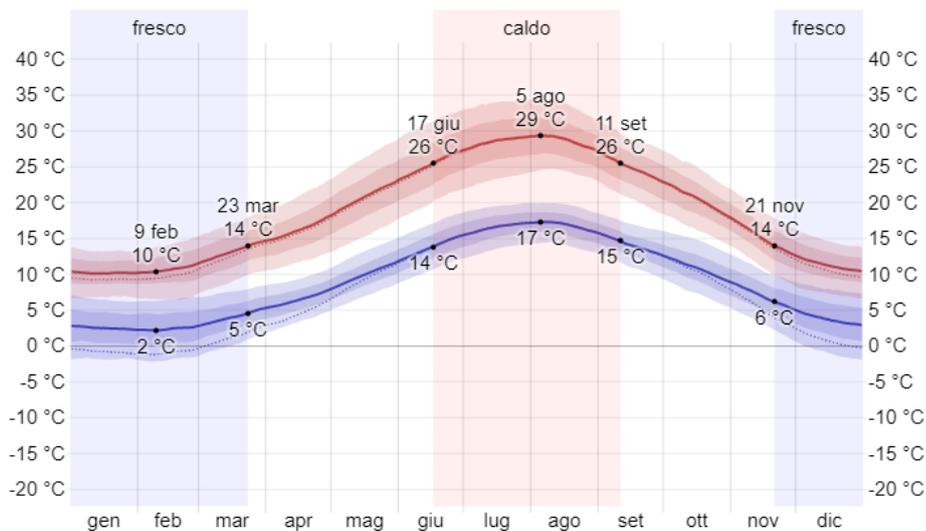


Figura 11 - La temperatura massima (riga rossa) e minima (riga blu) giornaliere medie

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.

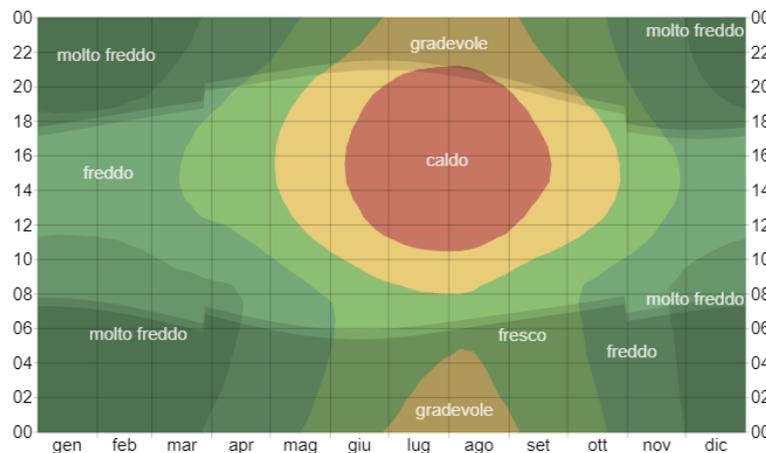


Figura 12 - La temperatura oraria media, con fasce di diversi colori. L'ombreggiatura indica la notte e il

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*.

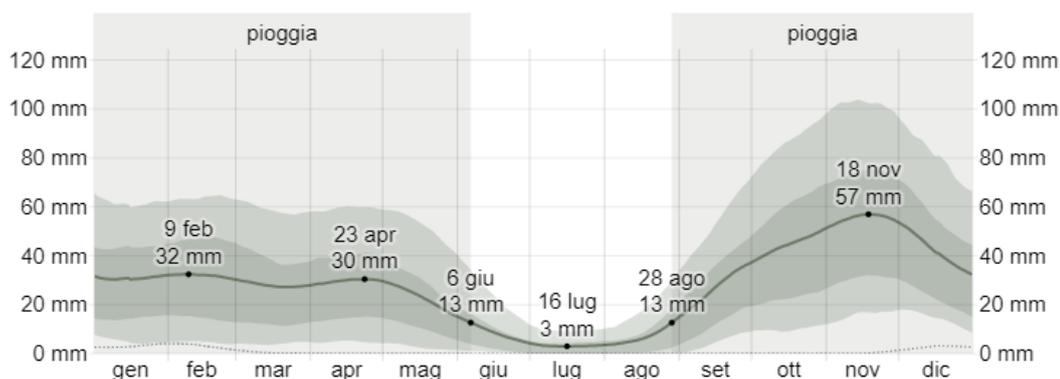


Figura 14 – Precipitazioni mensili medie

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.

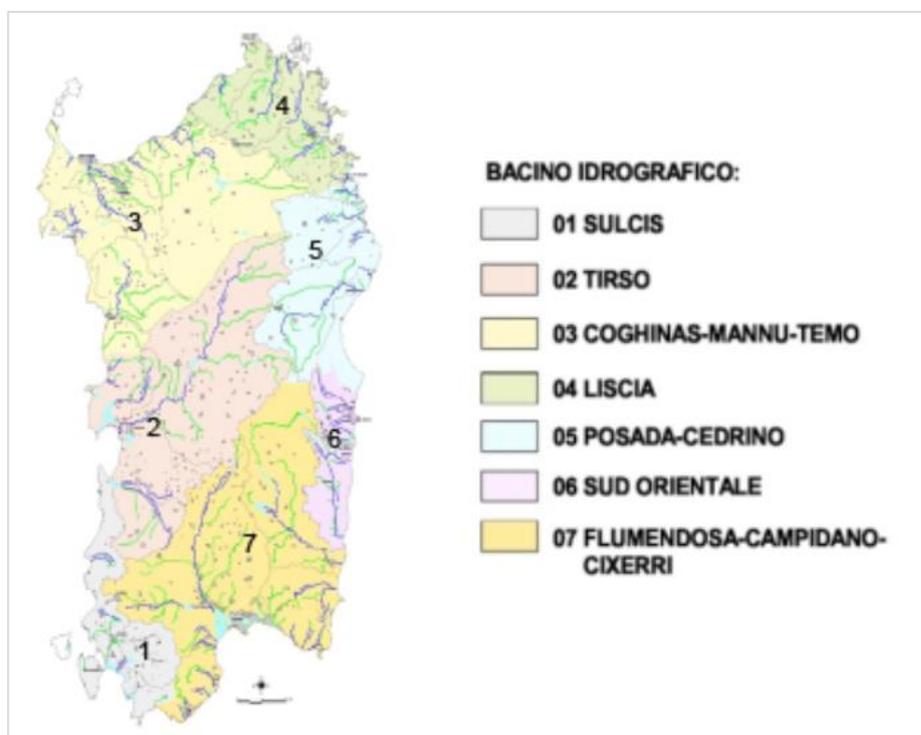


Figura 15 – Bacini idrografici della Sardegna

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

Il Coghinas-Mannu-Temmo si estende per 5327 Km², pari a circa il 22% 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 Tirso.
- Fiumini Mannu di Pabillonis
- Minori tra Flumini Mannu di P. e Tirso
- Minori tra Tirso e Temo

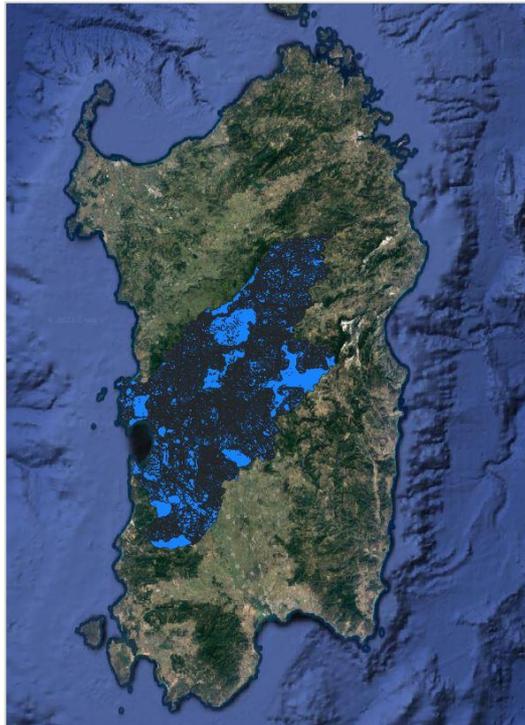


Figura 16 – Sub-bacino Tirso

I sottobacini di riferimento sono quattro: Fiume Tirso, Fiumini Mannu di Pabillonis, Minori tra Flumini Mannu di P. e Tirso e Minori tra Tirso e 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.

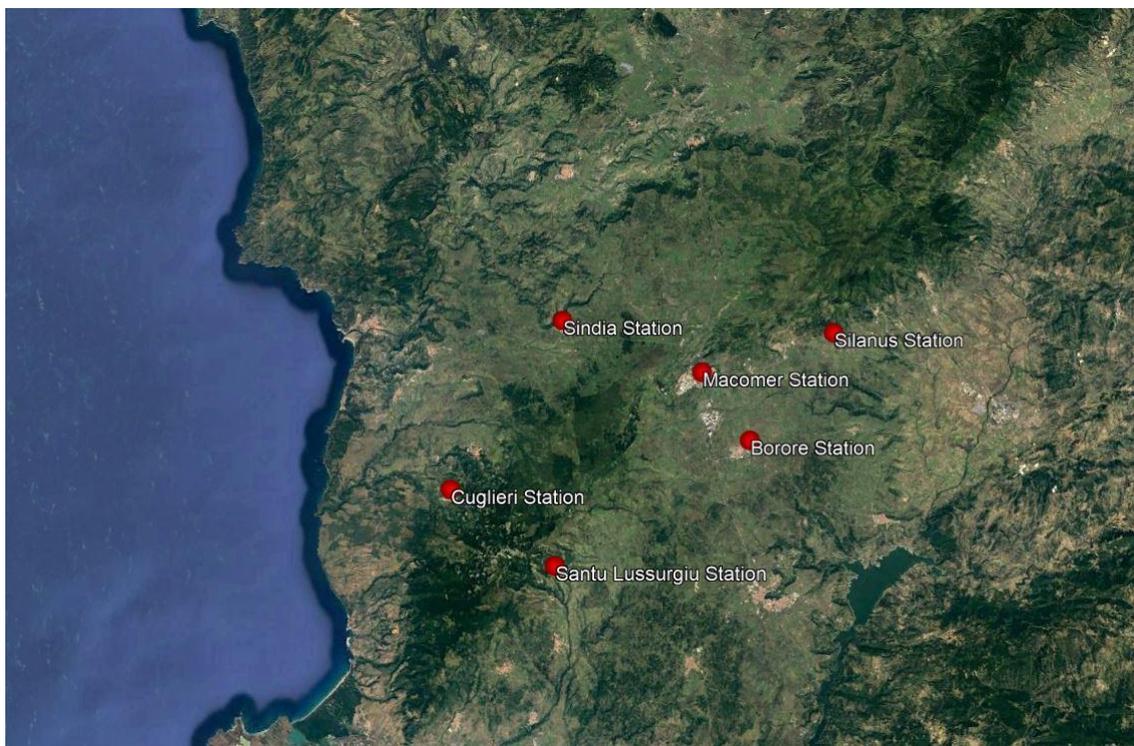


Figura 17 – Stazioni pluviometriche di riferimento

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.



Engineering & Construction



WE ENGINEERING

EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15067.00.057.00

PAGE

17 di/of 40

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
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.15067.00.057.00

PAGE

18 di/of 40

1959	40.09
1960	20.10
1961	35.80
1962	25.62
1963	22.94
1964	34.33
1965	12.86
1966	22.86
1967	24.50
1968	49.70
1969	23.33
1970	14.70
1971	17.20
1972	20.44
1973	15.65
1974	14.00
1975	15.74
1976	14.49
1977	40.63
1978	17.22
1979	13.82
1980	20.70
1981	24.18
1982	17.76
1983	13.96
1984	22.25
1985	13.39
1986	30.67
1987	18.52
1989	23.22
1990	18.27
1991	17.07
1992	22.37
1993	18.90
1994	18.20
1995	26.07
1996	19.31
1997	17.70
1998	11.51
1999	12.90

2000	16.74
2001	8.94
2002	32.50
2003	21.10
2004	13.71
2005	34.63
2006	15.63
2007	22.00
2008	14.66
2009	14.40
2010	28.35
2011	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.

Stazione Borore	
Anno	P max giornaliera annuale
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



Engineering & Construction



WE ENGINEERING

EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15067.00.057.00

PAGE

20 di/of 40

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

1992	16.75
1993	12.76
1994	20.20
1995	14.35
1996	14.23
1997	13.75
1998	10.13
1999	9.80
2000	16.67
2001	7.75
2002	14.86
2003	29.20
2004	17.33
2005	19.47
2006	31.60
2007	9.65
2008	14.33
2009	19.00
2010	12.49
2011	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.

Stazione Cuglieri	
Anno	P max giornaliera annuale
1922	13.47
1923	17.50
1924	24.14
1925	18.85
1926	16.07
1927	18.21
1928	20.84
1929	14.28
1930	25.90
1931	14.51
1932	27.50
1933	27.50
1934	19.40
1935	20.71



Engineering & Construction



WE ENGINEERING

EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15067.00.057.00

PAGE

22 di/of 40

1936	27.94
1937	21.88
1938	25.50
1939	15.80
1940	11.95
1941	23.50
1942	15.50
1943	17.50
1944	15.50
1945	14.75
1946	13.90
1947	15.44
1948	20.13
1949	32.00
1950	19.43
1951	30.20
1952	16.46
1953	12.85
1954	10.12
1955	14.25
1956	15.29
1957	13.32
1958	13.40
1959	13.37
1960	17.83
1961	16.18
1962	11.76
1963	19.85
1964	17.20
1965	13.73
1966	15.04
1967	22.00
1968	31.30
1969	20.50
1970	12.48
1971	14.71
1972	34.52
1973	19.90
1974	13.21
1975	15.15

1976	10.71
1977	34.05
1978	18.07
1979	20.40
1980	15.58
1981	17.86
1982	22.10
1983	17.68
1984	12.68
1985	10.84
1986	47.30
1987	22.14
1988	15.12
1989	14.17
1990	18.92
1991	20.78
1992	17.83
1993	18.43
1994	23.15
1995	12.76
1996	17.54
1997	18.40
1998	9.49
1999	15.40
2000	22.66
2001	10.03
2002	17.77
2003	14.62
2004	18.00
2005	25.60
2006	14.00
2007	13.64
2008	16.46
2009	16.02
2010	14.49
2011	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.15067.00.057.00

PAGE

24 di/of 40

Stazione Silanus	
Anno	P max giornaliera annuale
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.15067.00.057.00

PAGE

26 di/of 40

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



Engineering & Construction



WE ENGINEERING

EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15067.00.057.00

PAGE

27 di/of 40

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



Engineering & Construction



EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15067.00.057.00

PAGE

28 di/of 40

2008	18.68
2009	15.33
2010	16.85
2011	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

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



Engineering & Construction



WE ENGINEERING

EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15067.00.057.00

PAGE

29 di/of 40

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

1998	12.20
1999	18.42
2000	25.00
2001	18.04
2002	17.73
2003	22.15
2004	23.83
2005	22.57
2006	20.69
2007	13.80
2008	28.50
2009	21.07
2010	19.77
2011	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_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:

Dati di pioggia derivanti dal metodo distanze inverse	
Anno	P max giornaliera annuale
1922	22.79
1923	37.64
1924	40.49
1925	21.75
1926	16.62
1927	24.49
1928	23.25
1929	17.05
1930	19.51
1931	20.00
1932	19.71
1933	29.17
1934	21.37
1935	20.34
1936	23.73
1937	24.82
1938	21.38
1939	25.16
1940	19.57
1941	30.32
1942	16.46
1943	19.72
1944	18.64
1945	15.83
1946	20.46
1947	24.99
1948	26.18
1949	25.28
1950	26.01
1951	27.18
1952	19.54
1953	38.72
1954	15.43



Engineering & Construction



WE ENGINEERING

EGP CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15067.00.057.00

PAGE

32 di/of 40

1955	17.99
1956	22.96
1957	16.37
1958	21.22
1959	25.17
1960	18.97
1961	22.75
1962	19.18
1963	25.27
1964	19.29
1965	15.63
1966	26.40
1967	18.23
1968	32.43
1969	21.98
1970	15.37
1971	16.00
1972	23.17
1973	19.68
1974	15.81
1975	17.15
1976	16.39
1977	28.23
1978	21.30
1979	18.98
1980	19.30
1981	22.17
1982	15.81
1983	13.36
1984	19.78
1985	14.16
1986	38.81
1987	22.93
1988	16.27
1989	20.79
1990	17.55
1991	16.56
1992	18.52
1993	16.46
1994	30.01

1995	17.34
1996	16.92
1997	15.30
1998	11.89
1999	13.25
2000	19.30
2001	11.67
2002	20.89
2003	25.24
2004	18.19
2005	24.11
2006	24.98
2007	16.19
2008	18.78
2009	17.88
2010	17.58
2011	26.97

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

α = 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 α 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 α 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	<i>Dati ordinati in ordine crescente</i>
N	<i>Numero di dati nella serie</i>
i	<i>Numero d'ordine del dato nella serie</i>
r	<i>Ordine del momento</i>

Gli L-moments sono combinazioni lineari dei momenti ponderati β_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 α , 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 , α 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 β_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 , α y 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.

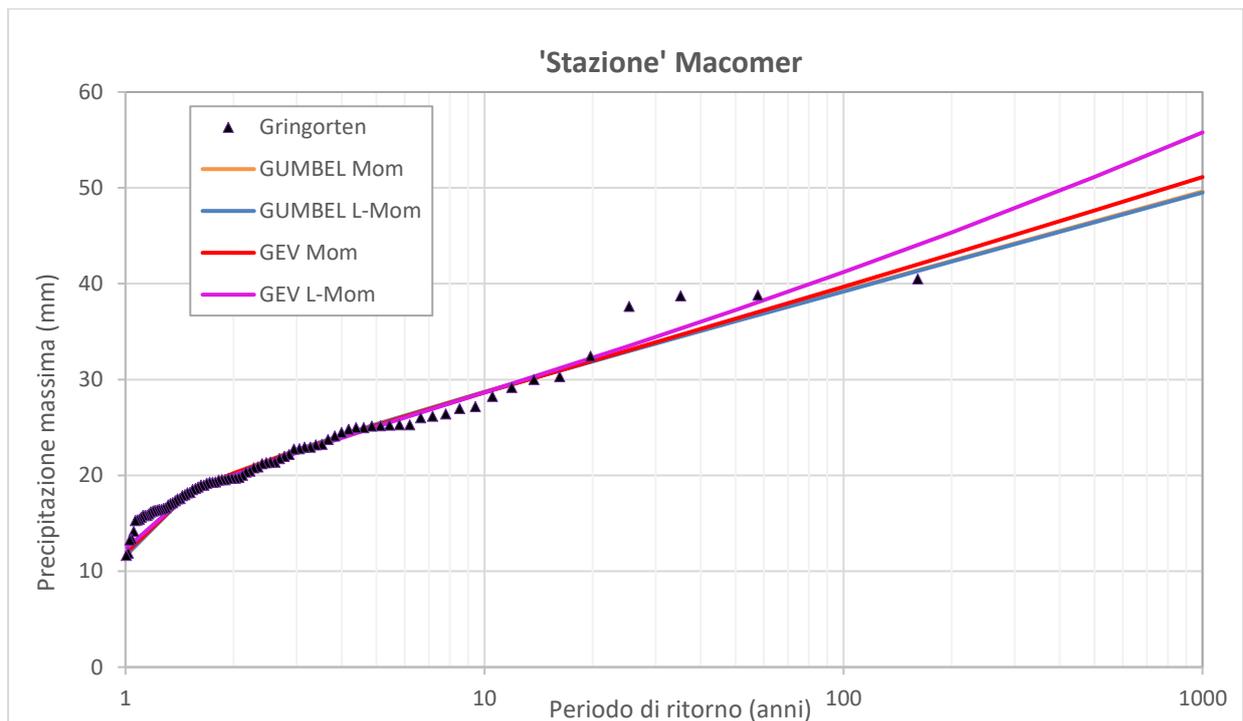


Figura 18 – Distribuzioni statistiche

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

STAZIONE 'MACOMER'	
Test di bontà della forma:	
GUMBEL MOM	0.0576
GUMBEL LMOM	0.0562
GEV MOM	0.0515
GEV LMOM	0.0454
Minimo	0.0454

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	28.66
25	33.47
50	37.25
100	41.21
200	45.35
500	51.14
1000	55.79

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 Tirso 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

Ing. Leonardo Sblendido