

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

S.O. OPERE CIVILI

PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

RADDOPPIO DECIMOMANNU-VILLAMASSARGIA
LOTTO 2

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RR0P 02 R 09 RI ID0001 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione definitiva	C.Cesali	Marzo 2023	F. Cabas	Marzo 2023	T.Paoletti	Marzo 2023	A Vittozzi agosto 2023
B	Emissione a seguito istruttoria del CS del CSSLPP	C.Cesali	Agosto 2023	F. Cabas	Agosto 2023	T.Paoletti	Agosto 2023	

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili - Sezione delle varianti
Dott. Ing. A. Vittozzi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Biella
N° 424783

File: RR0P02R09RIID0001001B.doc

n. Elab.:

INDICE

1. PREMESSA.....	5
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA	7
2.1 NORMATIVA NAZIONALE	7
2.2 NORMATIVA REGIONALE	7
3. ANALISI IDROLOGICA.....	8
3.1 INQUADRAMENTO GENERALE DELL'INTERVENTO.....	8
3.2 ANALISI PLUVIOMETRICA	11
3.2.1 <i>Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche: il modello probabilistico di Gumbel</i>	11
3.2.2 <i>Procedura di regionalizzazione VA.P.I. – Regione Sardegna</i>	13
3.2.3 <i>Studio di regionalizzazione Prof. R. Deidda, Università di Cagliari (2016)</i>	21
3.3 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE AL COLMO.....	28
4. EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE PRECIPITAZIONI	37
ALLEGATO 1	43
ALLEGATO 2.....	44
ALLEGATO 3.....	57

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DECIMOMANNU-VILLAMASSARGIA LOTTO 2 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RR0P	LOTTO 02 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

INDICE DELLE FIGURE

<i>Fig. 1 - Raddoppio Decimomannu-Villamassargia: tratte di progetto e alternative di tracciato.....</i>	<i>5</i>
<i>Fig. 2 – Lotto 2: inquadramento su ortofoto dell'intervento di raddoppio in progetto</i>	<i>8</i>
<i>Fig. 3 – Lotto 2: bacini idrografici minori, stralcio 1 di 2.....</i>	<i>9</i>
<i>Fig. 4 – Lotto 2: bacini idrografici minori, stralcio 2 di 2.....</i>	<i>10</i>
<i>Fig. 5 – Stazioni pluviometriche nell'area di studio.</i>	<i>12</i>
<i>Fig. 6 – VAPI: divisione delle sottozone omogenee SZO della Regione Sardegna.....</i>	<i>15</i>
<i>Fig. 7 – VAPI: carta delle isoiete per identificare la pioggia indice giornaliera m(hg) (espressa in mm).</i>	<i>19</i>
<i>Fig. 8 – Modello GEV: rappresentazione della distribuzione spaziale del parametro di forma kD delle piogge giornaliere.</i>	<i>22</i>
<i>Fig. 9 – Modello GEV: rappresentazione della distribuzione spaziale del parametro di forma σ^*D delle piogge giornaliere.</i>	<i>23</i>
<i>Fig. 10 – Modello GEV: rappresentazione della distribuzione spaziale del parametro di forma mD delle piogge giornaliere.</i>	<i>24</i>
<i>Fig. 11 – Regione Sardegna: carta del Curve Number.</i>	<i>29</i>
<i>Fig. 12 – Lotto 2, bacini idrografici: portata specifica vs estensione/superficie bacino sotteso.</i>	<i>34</i>
<i>Fig. 13 – Lotto 2, bacini idrografici: idrogrammi di piena $T_r = 200$ anni per i bacini 33, 37 e 37bis.</i>	<i>36</i>

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tab. 1 – Lotto 2, bacini idrografici: parametri morfometrici.</i>	<i>10</i>
<i>Tab. 2 – Lotto 2, bacini idrografici: parametri per l'applicazione della metodologia VAPI.</i>	<i>20</i>
<i>Tab. 3 – Lotto 2, bacini idrografici: parametri per l'applicazione del modello GEV.</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 4 – Lotto 2, bacini idrografici: parametri delle curve di possibilità pluviometrica da modello GEV.</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 5 – Lotto 2, bacini idrografici: valori del Curve Number.</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 6 – Lotto 2, bacini idrografici: tempo di corrivazione di riferimento.</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 7 – Lotto 2, bacini idrografici: calcolo della portata al colmo, Tr200 (procedura VAPI).</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 8 – Lotto 2, bacini idrografici: calcolo della portata al colmo, Tr200 (modello GEV).</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 9 – Lotto 2, bacini idrografici: valori delle portate al colmo di progetto (Tr = 200 anni).</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 10 – Lotto 2: portata specifica (Tr = 200 anni) dei bacini idrografici oggetto di studio.</i>	<i>34</i>

1. PREMESSA

Il presente documento è parte integrante del progetto del *Raddoppio ferroviario della tratta Decimomannu – Villamassargia*, su cui confluiscono i servizi Cagliari-Iglesias e Cagliari-Carbonia. L'intervento, previsto nell'ambito dell'Accordo Quadro TPL tra RFI e Regione Sardegna, si estende per circa 30 km e prevede la realizzazione del raddoppio di binario tra le due località di servizio e la soppressione dei passaggi a livello esistenti, creando le condizioni per il potenziamento del servizio ferroviario e per l'incremento dei livelli qualitativi del servizio e di regolarità.

Il progetto del Raddoppio ferroviario Decimomannu – Villamassargia rientra tra le opere finanziate con i fondi del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza.

Data la complessità dell'intervento e le criticità emerse nello sviluppo del tracciato in affiancamento alla linea esistente a causa delle condizioni al contorno, l'intervento è stato suddiviso in n°4 tratte realizzabili separatamente:

- 1° Tratta, Decimomannu – Villaspeciosa
- 2° Tratta, Villaspeciosa – Siliqua (stazione esclusa)
- 3° Tratta, Siliqua - Punto intermedio (Nuovo P.C.)
- 4° Tratta, Punto intermedio (Nuovo P.C.) - Villamassargia



Fig. 1 - Raddoppio Decimomannu-Villamassargia: tratte di progetto e alternative di tracciato.

La prima tratta di raddoppio per la quale è prevista l'attivazione è la **Tratta 2°** (di seguito anche Lotto 2), finanziata con fondi PNRR. L'intervento consiste nel raddoppio tra le località di Villaspeciosa-Uta e Siliqua (stazione esclusa).

	RADDOPPIO DECIMOMANNU-VILLAMASSARGIA LOTTO 2					
	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA					
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RR0P	LOTTO 02 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B	FOGLIO 6 di 65

Successivamente è prevista l'attivazione della Tratta 1 del raddoppio tra la stazione Decimomannu e la nuova fermata di Villaspeciosa-Uta, andando così a costituire, insieme al Lotto 2, la prima parte di raddoppio ferroviario per un'estensione di circa 9 km.

Il progetto di raddoppio nel complesso migliorerà la sicurezza della linea e produrrà un recupero dei tempi di percorrenza propedeutico alla creazione delle condizioni necessarie per l'incremento dell'offerta con un cadenzamento a 15' dei collegamenti Villamassargia – Cagliari.

Il *lotto 2* prevede un raddoppio in affiancamento alla LS in variante altimetrica che si sviluppa per una lunghezza di circa 5,5 km dopo la fermata di Villaspeciosa e prima dell'abitato di Siliqua. L'intero intervento sarà realizzato in assenza di esercizio della Linea Storica, al fine di ridurre i tempi di realizzazione ovvero di tragguardare l'attivazione entro i termini previsti dal PNRR.

Dal punto di vista idrologico, l'intervento si sviluppa all'interno del bacino del Riu Spinosu, nello specifico in affiancamento/parallelo al Riu Gora Perdosu (tributario del Riu Spinosu) e il Riu Spinosu, attraversamento una serie di corsi d'acqua secondari, affluenti del Riu Gora Perdosu e del Riu Spinosu stessi. La presente relazione descrive quindi lo studio idrologico eseguito al fine di determinare le portate di progetto per la verifica idraulica delle opere di attraversamento sui corsi d'acqua secondari interferenti nel tratto ferroviario compreso tra **Villaspeciosa e l'Abitato di Siliqua, ovvero nel lotto 2**.

Nel dettaglio l'analisi idrologica effettuata è stata eseguita secondo le seguenti fasi:

- studio della cartografia, della topografia e individuazione delle principali interferenze tra la linea ferroviaria in progetto e l'idrografia superficiale;
- perimetrazione dei bacini idrografici sottesi in corrispondenza del nuovo tracciato ferroviario e studio delle loro caratteristiche morfometriche;
- valutazione delle caratteristiche dei bacini e calcolo dei tempi di corrivazione mediante l'utilizzo di diverse equazioni disponibili in letteratura;
- calcolo delle altezze di pioggia per diversi tempi di ritorno mediante differenti modelli statistici;
- calcolo delle massime portate dei bacini idrografici mediante il metodo razionale.

Tutte le analisi sono state eseguite in accordo alla pianificazione di bacino vigente, ossia al *Piano di Gestione del Rischio Alluvioni – Regione Autonoma della Sardegna* (Deliberazione del Comitato Istituzionale n.14 del 21/12/2021), nonché alle relative Norme Tecniche di Attuazione.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DECIMOMANNU-VILLAMASSARGIA LOTTO 2 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RR0P	LOTTO 02 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA

Con specifico riguardo agli strumenti di pianificazione e di tutela presenti sul territorio, a scala nazionale e regionale, i riferimenti principali nel campo idrologico-idraulico sono elencati nel seguito.

2.1 Normativa nazionale

- [1] Regio Decreto n. 523/1904. Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie.
- [2] Legge 18 maggio 1989, n. 183. Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo.
- [3] L. 36/94 (Legge Galli). Disposizioni in materia di risorse idriche.
- [4] D.P.R. 14 aprile 1994. Atto di indirizzo e coordinamento in ordine alle procedure ed ai criteri per la delimitazione dei bacini idrografici di rilievo nazionale e interregionale.
- [5] Dpcm 4/3/96. Disposizioni in materia di risorse idriche.
- [6] Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Norme in materia ambientale.
- [7] Norme Tecniche per le Costruzioni (N.T.C.), DECRETO 17 gennaio 2018.
- [8] Circolare applicativa delle N.T.C. 2018, n.7/2019.

2.2 Normativa regionale

- [9] Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) – Regione Autonoma della Sardegna (Decreto del Presidente della Regione Sardegna n.67 del 10.07.2006).
- [10] P.A.I. – Regione Sardegna, Norme Tecniche di Attuazione (aggiornamento: marzo 2022).
- [11] Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.) – Regione Autonoma Sardegna (Delibera n. 2 del 17.12.2015 - Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino della Regione Sardegna).
- [12] Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) - Regione Autonoma della Sardegna (Deliberazione del Comitato Istituzionale n.14 del 21/12/2021).

3. ANALISI IDROLOGICA

3.1 Inquadramento generale dell'intervento

Nell'ambito del **lotto 2** (tratta *Villaspeciosa-Abitato di Siliqua*), l'intervento in progetto prevede il raddoppio della linea ferroviaria in affiancamento alla LS in variante altimetrica, con sviluppo di circa 5,5 km dopo la fermata di Villaspeciosa, in direzione di Siliqua.



Fig. 2 – Lotto 2: inquadramento su ortofoto dell'intervento di raddoppio in progetto

Dal punto di vista idrologico-idraulico, la tratta ferroviaria in progetto si sviluppa nel tratto terminale parallelamente al *Riu Gora Perdosu*, tributario in destra idraulica del *Riu Spinosu* (a sua volta tributario in destra idraulica del Flumini Mannu, a Decimomannu).

Questi ultimi due corsi d'acqua, nell'ambito del lotto 2, non sono attraversati dalla linea ferroviaria che invece attraversa una serie di corsi d'acqua minori, affluenti in destra idraulica sia del *Riu Gora Perdosu* sia del *Riu Spinosu*.

Per rappresentare l'andamento plano-altimetrico dell'area di studio è stato utilizzato il DTM (Digital Terrain Model) ricavato dal rilievo Lidar della Regione Sardegna (risoluzione 1mx1m) nonché quello del Ministero dell'Ambiente (risoluzione 1mx1m). Oltre al reticolo idrografico disponibile nel database dell'idrografia regionale della Regione Sardegna, sulla base del DTM è stata ricostruita la rete idrografica dell'area di intervento, perimetrando i bacini afferenti ai corsi d'acqua interferenti con la linea ferroviaria di progetto, come riportato nelle figure seguenti (rif. RR0P02R09C5ID0001001-2).

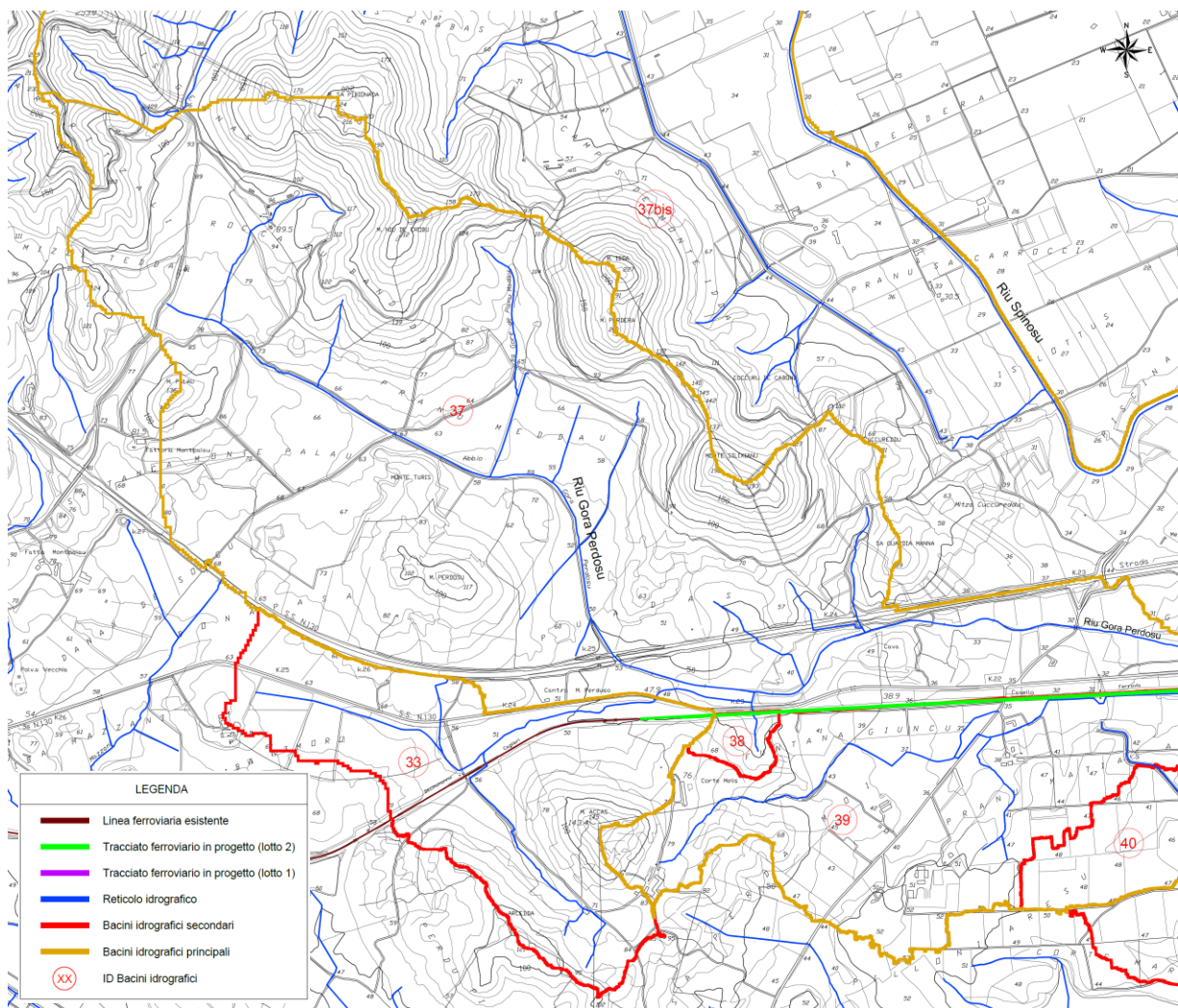


Fig. 3 – Lotto 2: bacini idrografici minori, stralcio 1 di 2.

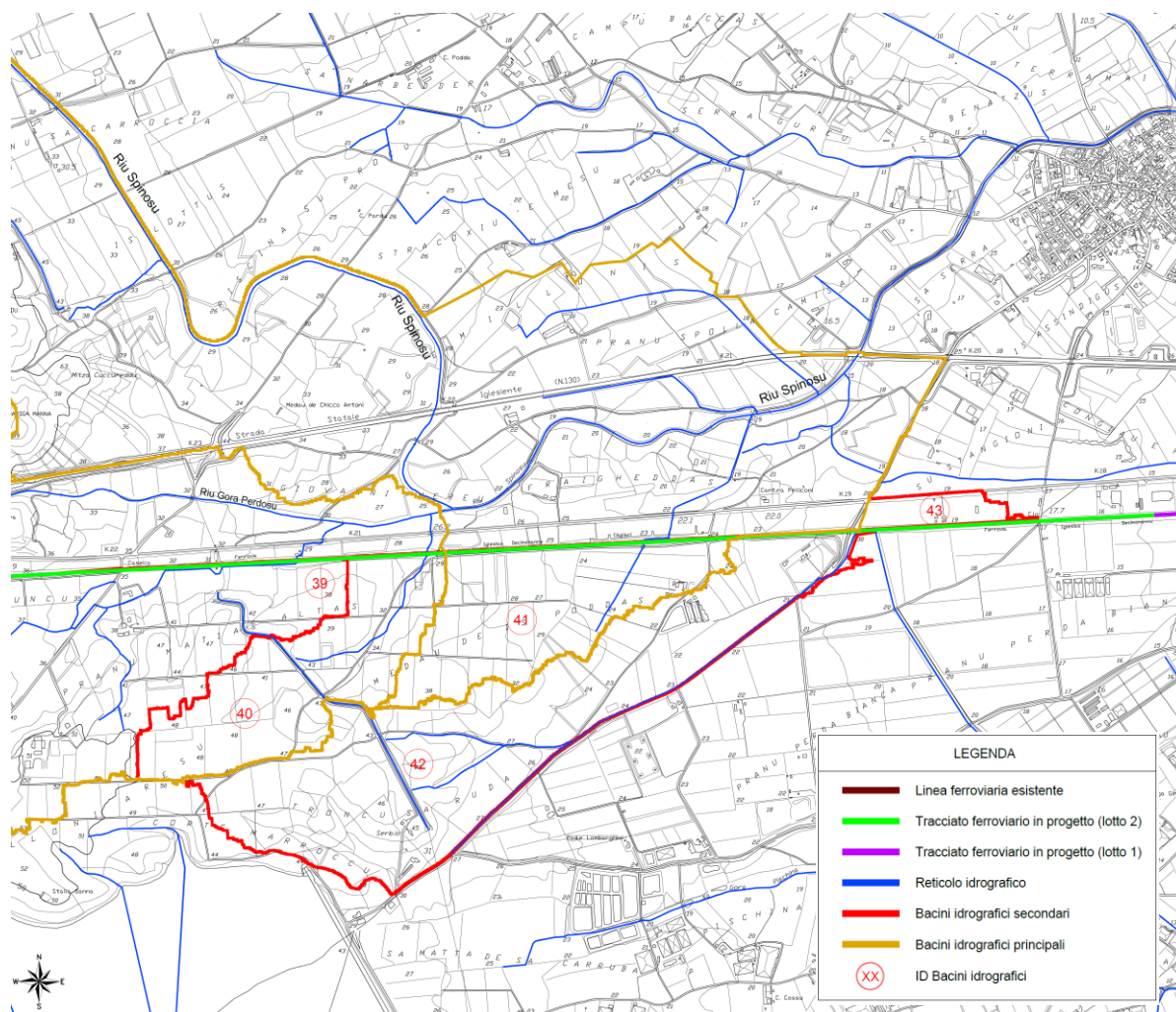


Fig. 4 – Lotto 2: bacini idrografici minori, stralcio 2 di 2.

In tabella sono riepilogati i valori dei parametri morfometrici dei bacini di interesse.

Sottobacino	A (kmq)	L (km)	H _{max} (m slm)	H _{min} (m slm)	H _{med} (m slm)	i _{asta} (m/m)	i _{bac} (m/m)
33	1.24	1.9	143.1	44.4	68.2	0.0221	0.118
37 (Gora Perdosu)	7.64	6.02	230.2	20.3	69.9	0.0161	0.128
37bis (Spinosu)	11.51	10.8	252.1	13.9	55.5	0.0025	0.109
38	0.06	0.2	74.01	41.65	53	0.0650	0.117
39	1.43	2.5	139.7	27.5	46.8	0.0196	0.064
40	0.51	1.4	49.1	25.9	40	0.0136	0.037
41	0.49	1.3	39.7	22.3	28.12	0.0115	0.016
42	1.10	2.2	48.6	19.1	32.2	0.0086	0.040
43	0.07	0.7	20.1	17.2	18.9	0.0043	0.004

Tab. 1 – Lotto 2, bacini idrografici: parametri morfometrici.

	RADDOPPIO DECIMOMANNU-VILLAMASSARGIA LOTTO 2					
	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA					
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RR0P	LOTTO 02 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B	FOGLIO 11 di 65

3.2 Analisi pluviometrica

L'analisi delle precipitazioni intense è stata eseguita mediante l'applicazione di differenti metodologie di calcolo:

- *Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche disponibili mediante il metodo di Gumbel*
- *Procedura Va.P.I. della Regione Sardegna*
- *Studio «1966-2016 Evoluzione e progressi negli studi degli eventi estremi di precipitazione in Sardegna», Prof. Roberto Deidda, Università di Cagliari (2016)*

3.2.1 Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche: il modello probabilistico di Gumbel

I dati di pioggia registrati nella Regione Sardegna sono caratterizzati da un periodo di osservazioni mancanti, riguardante gli anni 1989 – 2011 (n. 23). Come comunicato da ARPAS (AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE DELLA SARDEGNA), i dati delle piogge di massima intensità e breve durata dal 1989 al 2011 per le stazioni pluviometriche di interesse non sono disponibili (vedasi Allegato 1 – ARPAS Protocollo N. 19061/2022 del 09-06-2022).

I cartellini pluviografici per tale periodo e per le stazioni tradizionali di Siliqua, Uta e Villamassargia non sono stati digitalizzati da chi curava in quegli anni la pubblicazione degli *Annali Idrologici*.

Sono stati forniti i dati di pioggia di massima intensità e breve durata (per 1, 3, 6, 12, 24 ore) relative alle seguenti stazioni in telemisura della rete fiduciaria di Protezione Civile di:

- *'Flumini Mannu a Decimomannu'* (39° 18' 26,90" N; 8° 57' 10,68" E - SS130 KM16+920 OVEST)
- *'Diga Genna Is Abis'* (39° 16' 42,50" N; 8° 53' 42,50" E);
- *'Iglesias RF'* (39° 18' 05,15" N; 8° 33' 48,67" E)

dall'anno di installazione (2006-2008) al 2021 incluso, con una numerosità campionaria quindi inferiore a n. 20 osservazioni.

I dati disponibili e forniti, pertanto, non rispondono ai criteri generali di completezza e consistenza delle serie storiche, quali:

- 1) *Numerosità campione di dati (almeno 20 anni di osservazione)*

2) Numero massimo di dati mancanti $\leq 30\%$ sul totale

3) Numero massimo di anni consecutivi mancanti = 4

per poter esser elaborati statisticamente in questa sede secondo il metodo Gumbel ed avere significatività/attendibilità (soprattutto per l'estrazione di curve di pioggia per $Tr = 200$ anni).

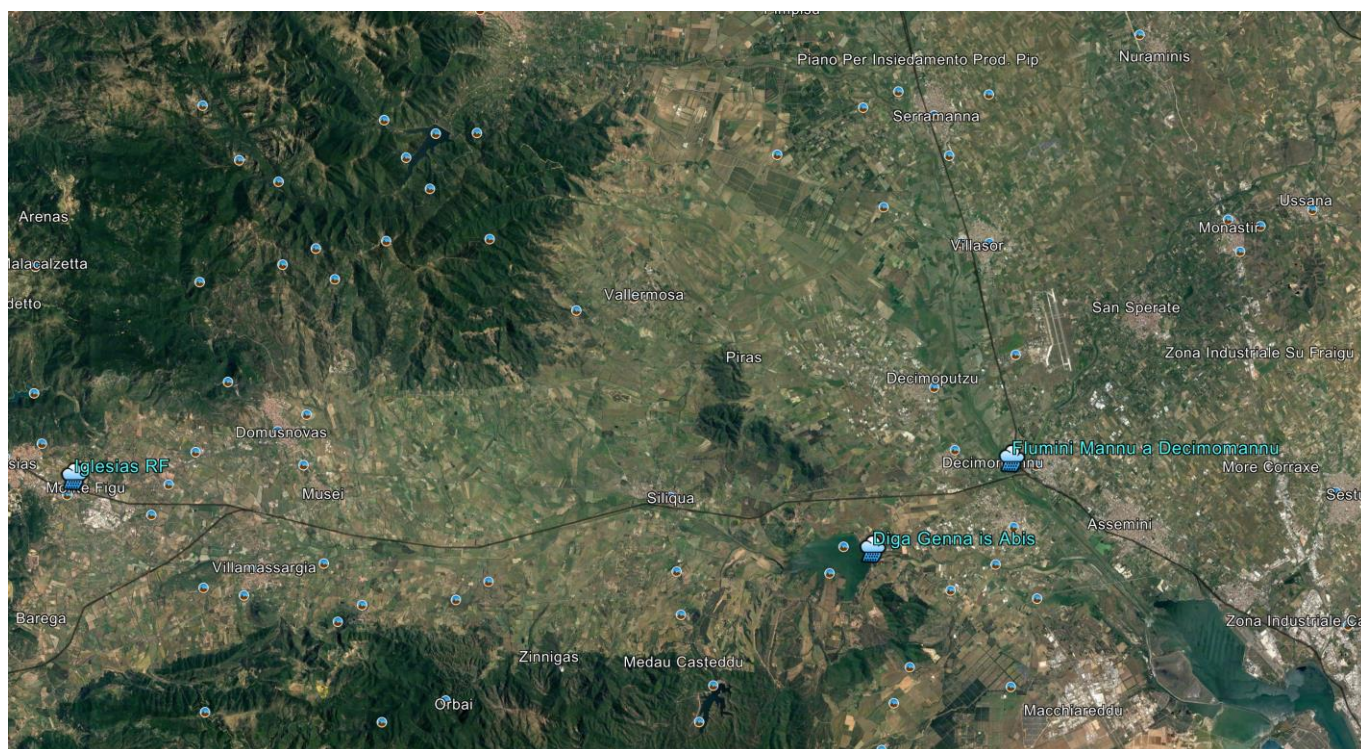


Fig. 5 – Stazioni pluviometriche nell'area di studio.

Inoltre, nel caso specifico del lotto 2, le stazioni pluviometriche presenti nell'area di studio (per le quali sono stati forniti i dati di pioggia da ARPAS) non sono rappresentative dei bacini idrografici di interesse, ricadendo in altri bacini (e.g. la stazione "Diga Genna is Abis" ricade nel bacino del Riu Cixerri). In conclusione, per la stima delle portate al colmo di progetto per i corsi d'acqua interferiti, si è ritenuto ragionevole fare riferimento alle altre due metodologie (di regionalizzazione) considerate, di seguito descritte, ormai consolidate e applicate nella Regione Sardegna, anche a livello di pianificazione di bacino (i.e. P.A.I./P.G.R.A.). Per completezza, nell'Allegato 2 della presente relazione, è riportato comunque un confronto critico tra i modelli di regionalizzazione di riferimento adottati e i risultati dell'analisi statistica dei dati di pioggia (per durate superiori e inferiori all'ora) disponibili per l'area di studio.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DECIMOMANNU-VILLAMASSARGIA LOTTO 2 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RR0P	LOTTO 02 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

3.2.2 Procedura di regionalizzazione VA.P.I. – Regione Sardegna

I risultati salienti del Progetto VAPI per la stima delle portate di assegnato tempo di ritorno, per qualsiasi sezione del reticolo idrografico dei corsi d'acqua della Sardegna, sono sintetizzati in:

- indagini effettuate nella modellazione dei dati pluviometrici ed idrometrici della regione, contenute nel Rapporto Regionale pubblicato, Valutazione delle Piene in Sardegna [Cao et al., 1991];
- indagini derivate da analisi e materiali prodotti in data successiva [Deidda et al., 1993; Deidda e Piga, 1996; Deidda et al., 1997], che costituiscono la base per l'aggiornamento del Rapporto stesso, che sarà oggetto di successive attività di ricerca dell'U.O. 1.7 del GNDCl, presso l'Università di Cagliari.

3.2.2.1. Pluviometria

Al primo livello di regionalizzazione è stata verificata ed accolta l'ipotesi che tutto il territorio regionale ricada in una unica Zona Omogenea, caratterizzata dalla costanza in tutti i punti del territorio del coefficiente d'asimmetria e dei parametri di modello λ^* e θ^* . Le loro stime, effettuate col metodo di massima verosimiglianza (MV), sono risultate:

$$\lambda^* = 0.5717; \theta^* = 2.207$$

Le verifiche di questa ipotesi sono state condotte generando, per ogni serie osservata, 1000 serie sintetiche di pari numerosità, costruendo da questi dati la curva di ripartizione teorica del coefficiente d'asimmetria campionario, determinando la probabilità di non superamento relativa al valore del coefficiente d'asimmetria osservato e verificando infine l'uniformità della distribuzione delle 200 probabilità di non superamento ottenute per le 200 stazioni. L'analisi è stata supportata dal confronto visivo tra la distribuzione empirica dei 200 valori di asimmetria osservati e la distribuzione di riferimento, costituita dai 200000 valori calcolati delle generazioni.

Al secondo livello di regionalizzazione è stata riconosciuta la necessità di ripartire il territorio in tre sottozone omogenee (SZO), ognuna caratterizzata dalla costanza del coefficiente di variazione e del parametro λ_1 . L'aggregazione delle stazioni in gruppi omogenei è stata condotta con tecniche di cluster analysis. La stima dei parametri è stata condotta dapprima col metodo di massima verosimiglianza ed è

stata in seguito affinata variando iterativamente i valori dei parametri sino ad ottenere nelle serie generate sinteticamente gli stessi coefficienti di variazione (CV) osservati in media in ciascuna SZO.

Per la verifica di queste stime è stato adottato un procedimento analogo a quello impiegato al primo livello di regionalizzazione. La delimitazione territoriale delle SZO è stata effettuata utilizzando anche i dati delle 111 stazioni con minor numero di osservazioni, le quali sono state attribuite ai tre gruppi mediante tecniche di analisi discriminante, ed è semplicemente basata sull'aggregazione dei topoiets delle stazioni appartenenti ad una medesima SZO. La spezzata costituita dai lati di confine, che separano topoiets appartenenti a diverse SZO, è stata regolarizzata con una *spline function*.

I valori del parametro Λ_1 nelle tre SZO sono risultati:

1^a SZO $\Lambda_1 = 74.50$

2^a SZO $\Lambda_1 = 21.20$

3^a SZO $\Lambda_1 = 6.68$

mentre la delimitazione geografica delle tre sottozone è riportata nella figura di seguito riportata.

Fissati i parametri di forma e di scala della distribuzione di probabilità cumulata (DPC) all'interno di ciascuna SZO previamente identificata, resta univocamente determinata la relazione fra periodo di ritorno T e valore del coefficiente di crescita K_T , definito dal rapporto fra la precipitazione di assegnato tempo di ritorno e la pioggia indice.

$$T = \frac{1}{1 - F_K(k)} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\theta_*} e^{-\eta k/\theta_*})}$$

Nella tabella seguente sono riportati in sintesi i parametri dell'equazione precedente ottenuti per le differenti SZO della Sardegna.

Pioggie giornaliere	SZO 1	$\Lambda_1 = 74.50$	$\eta = 5.856$
$\theta_* = 2.207$	SZO 2	$\Lambda_1 = 21.20$	$\eta = 4.599$
$\Lambda_* = 0.5717$	SZO 3	$\Lambda_1 = 6.68$	$\eta = 3.444$

Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa dell'equazione precedente per cui, fissato un valore T del periodo di ritorno, si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita K_T . Per la distribuzione TCEV tale relazione non è analiticamente ottenibile.

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0P	02 R 09	RI	ID0001 001	B	15 di 65

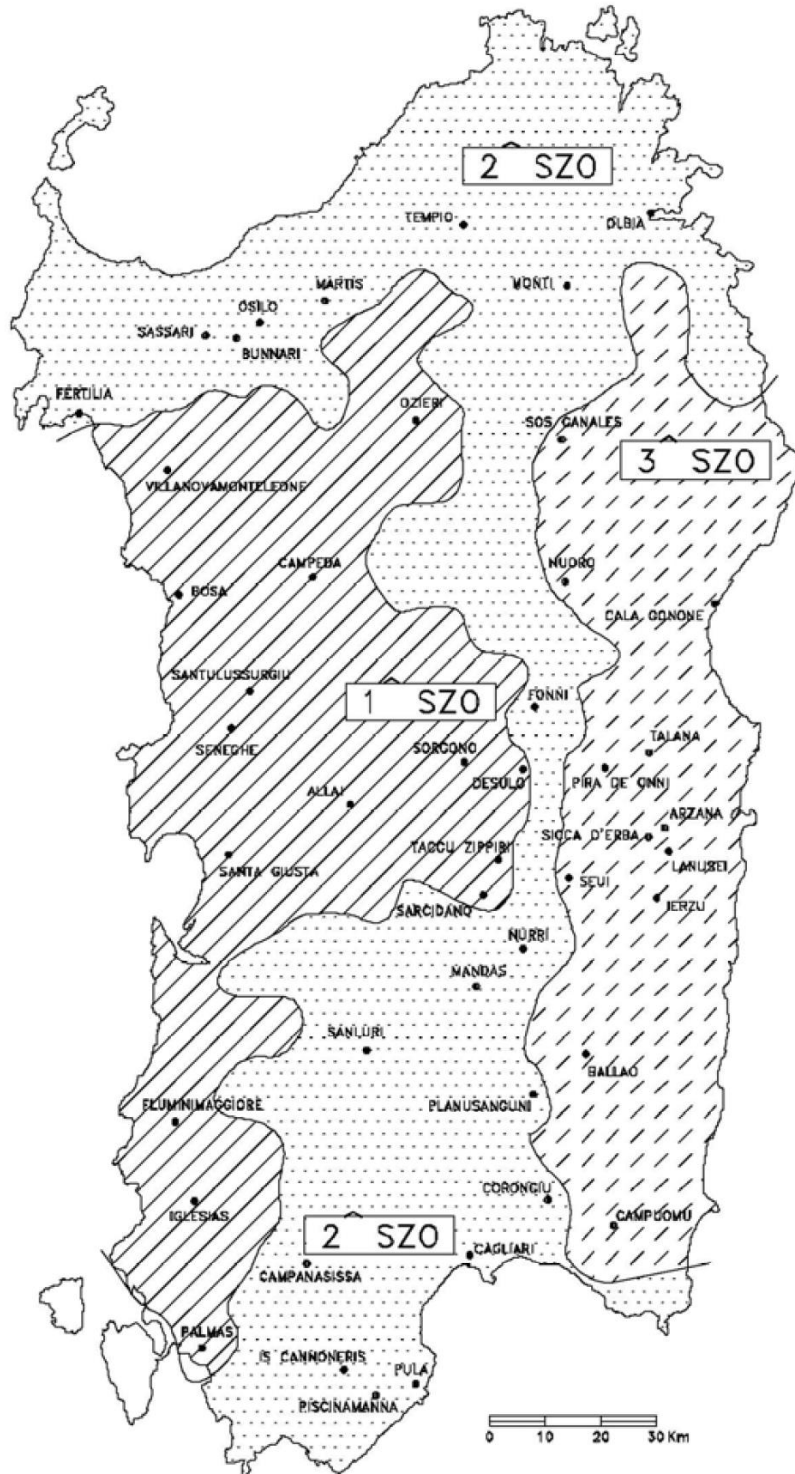


Fig. 6 – VAPI: divisione delle sottozone omogenee SZO della Regione Sardegna

Si riportano di seguito i valori di K_T ottenuti numericamente per alcuni valori del periodo di ritorno.

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
K_T (SZO1)	0.92	1.21	1.44	1.68	1.76	1.93	2.01	2.26	2.52	2.87	3.13
K_T (SZO2)	0.90	1.27	1.56	1.86	1.96	2.18	2.28	2.61	2.94	3.38	3.71
K_T (SZO3)	0.86	1.36	1.74	2.15	2.28	2.57	2.71	3.15	3.59	4.18	4.62

Allo scopo di semplificare l'applicazione del modello, sono state ricavate tre espressioni esplicite di K_T in funzione del logaritmo decimale del tempo di ritorno T dell'evento, espresso in anni. Dette relazioni, valide per tempi di ritorno compresi tra 2 e 1000 anni, risultano:

$$1^\circ \text{ SZO } K_T = 0.69319 + 0.72015 \text{ Log } T + 3.1364 \cdot 10^{-2} (\text{Log}T)^2$$

$$2^\circ \text{ SZO } K_T = 0.60937 + 0.91699 \text{ Log } T + 3.9932 \cdot 10^{-2} (\text{Log}T)^2$$

$$3^\circ \text{ SZO } K_T = 0.47839 + 1.2245 \text{ Log } T + 5.3321 \cdot 10^{-2} (\text{Log}T)^2$$

Nell'analisi delle piogge brevi ed intense sono state adottate al primo ed al secondo livello di regionalizzazione le medesime procedure di stima dei parametri e di verifica dei valori ottenuti, già impiegate per le piogge giornaliere.

In particolare, è stata verificata ed accolta per tutte le durate l'esistenza di una sola ZO al primo livello di regionalizzazione e la ripartizione del territorio in tre SZO al secondo livello di regionalizzazione.

Per quanto riguarda i parametri Λ^* , θ^* e Λ_1 , l'indagine ha evidenziato una stretta dipendenza dei loro valori dalla durata dell'evento. I valori di Λ^* e θ^* forniti dall'algoritmo di MV sono stati regolarizzati al variare della durata, come indicato nella tabella seguente.

durata	Λ^*	θ^*	Λ_1		
			1 ^a SZO	2 ^a SZO	3 ^a SZO
30'	0.5717	1.402	12.88	11.78	10.35
45'	0.5717	1.805	17.80	15.11	13.20
60'	0.5717	2.207	26.55	20.85	16.55
3 ore	0.5717	2.207	31.06	27.40	15.31
6 ore	0.5717	2.207	47.39	29.16	12.94
12 ore	0.5717	2.207	45.85	31.57	10.17
24 ore	0.5717	2.207	56.29	27.12	8.07

Anche per le piogge brevi ed intense sono state ricavate delle espressioni approssimate di K_T , funzione della durata d e del tempo di ritorno T . Per ottenere queste espressioni, sono stati calcolati in ciascuna delle tre SZO e per tempi di ritorno da 2 a 1000 anni i valori di K_T corrispondenti alle durate da 0.5 a 24 ore. Mentre per tempi di ritorno sino a 10 anni l'andamento di K_T al variare della durata d risulta adeguatamente interpretato in tutto il campo da un'unica espressione monomia del tipo:

$$K_T = a_1 d^{n_1}$$

dove i coefficienti a_1 ed n_1 dipendono dal tempo di ritorno T , al crescere di questa grandezza l'andamento presenta un ginocchio sempre più marcato in corrispondenza alla durata di 1 ora, dovuto ad un analogo andamento riscontrato nelle statistiche di ordine superiore, che ha imposto l'adozione di due differenti espressioni monomie valide rispettivamente per durate inferiori e superiori ad 1 ora:

$$K_T = a_2' d^{n_2'} \quad \text{per } d \leq 1 \text{ ora}$$

$$K_T = a_2'' d^{n_2''} \quad \text{per } d \geq 1 \text{ ora}$$

Ovviamente, i valori dei coefficienti a_2' e a_2'' , che rappresentano entrambi la stima della pioggia oraria, debbono risultare uguali tra loro. In particolare, i coefficienti a_1 e n_1 dell'espressione monomia relativa a tempi di ritorno non superiori a 10 anni risultano:

$$1^\circ \text{ SZO } \quad a_1 = 0.66105 + 0.85994 \text{ Log } T \quad ; \quad n_1 = -0.13558 \cdot 10^{-3} - 0.13660 \cdot 10^{-1} \text{ Log } T$$

$$2^\circ \text{ SZO } \quad a_1 = 0.64767 + 0.89360 \text{ Log } T \quad ; \quad n_1 = -0.60189 \cdot 10^{-2} + 0.32950 \cdot 10^{-3} \text{ Log } T$$

$$3^\circ \text{ SZO } \quad a_1 = 0.62408 + 0.95234 \text{ Log } T \quad ; \quad n_1 = -0.25392 \cdot 10^{-1} + 0.47188 \cdot 10^{-1} \text{ Log } T$$

mentre, per tempi di ritorno da 10 a 1000 anni, i coefficienti delle due espressioni monomie valgono:

1° SZO

$$a_2' = a_2'' = 0.46378 + 1.0386 \text{ Log } T;$$

$$n_2' = -0.18449 + 0.23032 \text{ Log } T - 0.33330 \cdot 10^{-1} (\text{Log } T)^2;$$

$$n_2'' = -0.10563 \cdot 10^{-1} - 0.79034 \cdot 10^{-2} \text{ Log } T ;$$

2° SZO

$$a_2' = a_2'' = 0.44182 + 1.0817 \text{ Log T};$$

$$n_2' = -0.18676 + 0.24310 \text{ Log T} - 0.35453 \cdot 10^{-1} (\text{Log T})^2;$$

$$n_2'' = -0.56593 \cdot 10^{-2} - 0.40872 \cdot 10^{-2} \text{ Log T};$$

3° SZO

$$a_2' = a_2'' = 0.41273 + 1.1370 \text{ Log T};$$

$$n_2' = -0.19055 + 0.25937 \text{ Log T} - 0.38160 \cdot 10^{-1} (\text{Log T})^2;$$

$$n_2'' = 0.15878 \cdot 10^{-1} + 0.76250 \cdot 10^{-2} \text{ Log T};$$

Al terzo livello di regionalizzazione, viene presa in considerazione come pioggia indice la media del massimo annuale dell'altezza di precipitazione giornaliera $m[h_g]$. Per definire la distribuzione sul territorio della pioggia indice sono stati formulati tre differenti modelli di trasposizione e sono state confrontate le relative prestazioni:

- il primo modello è basato sulla mappatura spaziale della grandezza di interesse, attraverso tecniche di Kriging;
- il secondo è fondato sull'identificazione di aree omogenee caratterizzate da correlazioni lineari tra il logaritmo della pioggia indice e la quota sul mare della stazione;
- il terzo è basato sull'applicazione di modelli neurali.

La taratura dei tre modelli è stata effettuata utilizzando le osservazioni delle 200 stazioni con base dati più estesa, mentre la loro verifica è stata condotta raffrontando i risultati con le osservazioni delle 111 stazioni con minor numero di dati, non impiegate nel processo di taratura.

Le indagini hanno evidenziato la miglior capacità interpretativa del modello basato sulle tecniche di Kriging. Per facilitare l'impiego del modello, sono stati preliminarmente stimati i valori di $m[h_g]$ in corrispondenza ai nodi di un reticolo di 1 km di lato, ricoprente l'intero territorio regionale. Il valore della pioggia indice in qualunque punto del territorio può essere facilmente stimato mediante interpolazione

lineare tra i valori nei quattro nodi circostanti. Una sintesi cartografica delle elaborazioni effettuate è mostrata nella figura seguente.

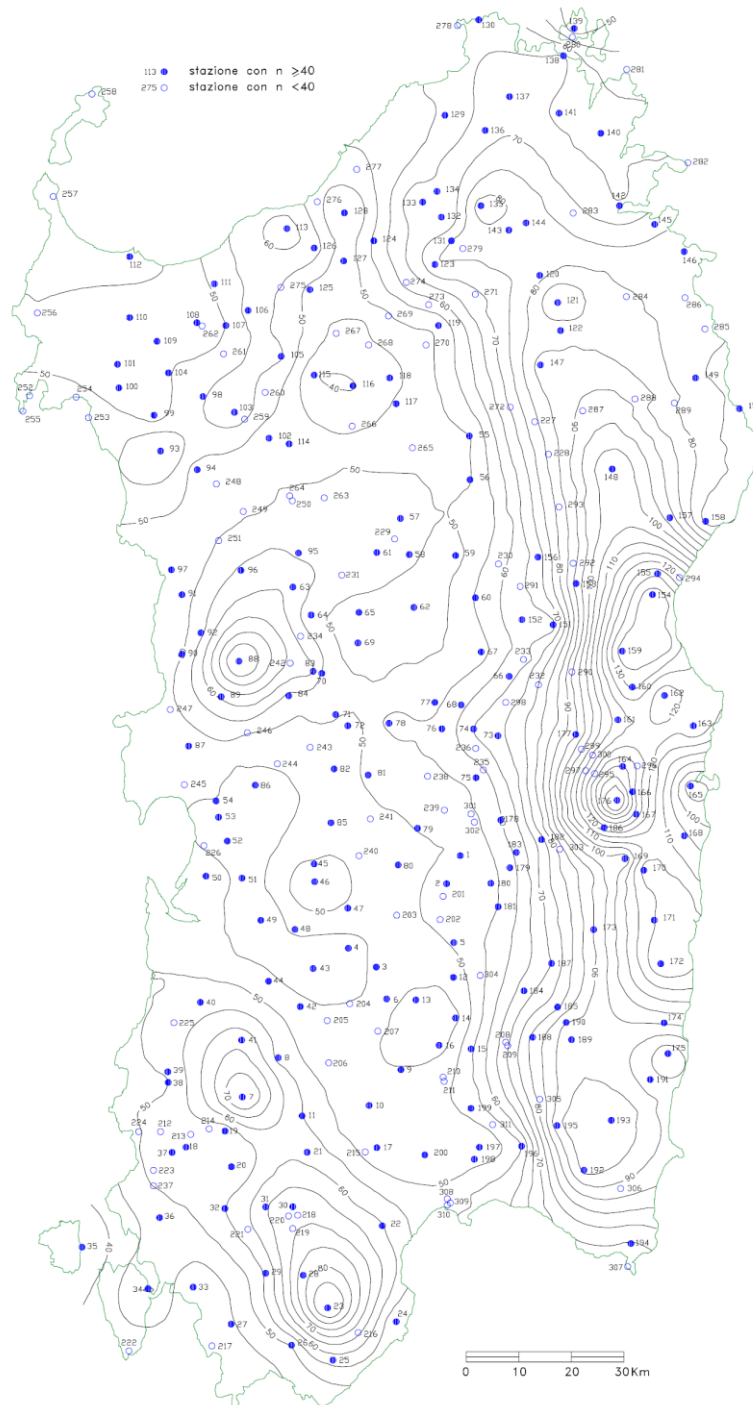


Fig. 7 – VAPI: carta delle isoiete per identificare la pioggia indice giornaliera $m(h_g)$ (espressa in mm).

Per le piogge brevi ed intense, il legame tra la pioggia indice $m[h(d)]$ e la durata d è risultato ben descritto in tutti i siti considerati da una espressione monomia analoga a quella impiegata per rappresentare le curve di crescita:

$$m[h(d)] = a_0 d^{n_0}$$

Per trasferire i valori di a_0 ed n_0 a siti non osservati, dopo aver esplorato alcune ipotesi alternative basate su correlazioni con i parametri morfologici e sull'impiego di superfici interpolari, risultate non praticabili per l'esiguo numero di stazioni osservate, si è prescelto di ricercare delle relazioni generali con l'altezza di pioggia giornaliera media, che è facilmente calcolabile in tutti i punti del territorio.

Le relazioni ritrovate risultano:

$$a_0 = m[h_g] / (0.886 24^{n_0})$$

$$n_0 = - 0.493 + 0.476 \text{ Log } m[h_g]$$

I bacini idrografici di interesse per il lotto 2 in progetto ricadono nella sottozona VAPI "SZO 2". Nella tabella seguente sono riepilogati i valori dei parametri $m(h_g)$, a_0 , n_0 , per ciascun bacino.

Sottobacino	$m[h_g]$ (mm)	a_0	n_0
33	56.20	21.54	0.34
37	54.90	21.37	0.34
37bis	53.10	21.12	0.33
38	55.30	21.42	0.34
39	55.10	21.39	0.34
40	54.20	21.27	0.33
41	52.90	21.10	0.33
42	53.50	21.18	0.33
43	50.80	20.80	0.32

Tab. 2 – Lotto 2, bacini idrografici: parametri per l'applicazione della metodologia VAPI.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DECIMOMANNU-VILLAMASSARGIA LOTTO 2 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RR0P	LOTTO 02 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

3.2.3 Studio di regionalizzazione Prof. R. Deidda, Università di Cagliari (2016)

Le curve di possibilità pluviometrica ottenute con il modello TCEV e basate sull'approccio regionale, come da procedura VAPI sopra descritta, hanno mostrato anch'esse delle limitazioni e criticità.

Infatti, sebbene con l'introduzione di ampie Sotto-Zone Omogenee (SZO) si siano superate le incertezze di attribuzione di una generica località ad uno dei quattro gruppi definiti con il modello lognormale, permangono alcune incertezze nella attribuzione della SZO nei siti al confine fra SZO contigue.

Un'altra grande limitazione risiede inoltre proprio nell'approccio regionale che assume che ampi gruppi di stazione siano accomunati dagli stessi coefficienti di variazione e dagli stessi momenti statistici di ordine superiore. Un aspetto negativo dell'approccio regionale è infatti quello di accettare che serie storiche caratterizzate da code più o meno pesanti possano essere rappresentate con una medesima distribuzione (a meno del parametro di posizione, in genere la media) quando queste differenze siano interpretabili come incertezza campionaria nella stima delle statistiche di ordine superiore ad uno.

In occasione di una recente revisione delle curve di possibilità pluviometrica per la Regione Sardegna, stimolata dalla disponibilità di nuovi dati sino al 2008, si è quindi investigato un approccio innovativo che fa uso delle tecniche geostatistiche per la rappresentazione spaziale non solo della pioggia indice, ma anche dei parametri legati alle statistiche di ordine superiore. Da questa revisione è anche emerso che le caratteristiche statistiche delle precipitazioni estreme in Sardegna possono essere ben rappresentate dalla distribuzione a tre parametri GEV (Generalized Extreme Value). Il lavoro è stato condotto nell'ambito del progetto Elaborazione della banca dati pluviometrica della Direzione Generale dell'Agenzia Regionale del Distretto Idrografico della Sardegna finalizzata all'aggiornamento delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica per l'intero territorio regionale, oggetto di un accordo di collaborazione tra il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura dell'Università degli Studi di Cagliari e la Direzione Generale dell'Agenzia Regionale del Distretto Idrografico della Sardegna.

Rimandando il lettore ai rapporti tecnici prodotti nell'ambito di detto progetto, nel seguito si riassumono gli elementi essenziali per la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica ottenute con il modello GEV, i cui parametri sono stati restituiti su tutto il territorio della Regione Sardegna con la tecnica geostatistica del kriging per dati incerti che tiene nel dovuto conto le incertezze campionarie nella stima dei parametri.

Per il calcolo delle parametrizzazioni fornite nel seguito occorre preventivamente determinare, per la località in esame, il parametro di forma k_D ed il parametro di scala adimensionale σ^*_D della distribuzione GEV, nonché il valore della pioggia indice m_D calcolati sui massimi annui di precipitazione giornaliera e consegnati rispettivamente nelle figure seguenti.

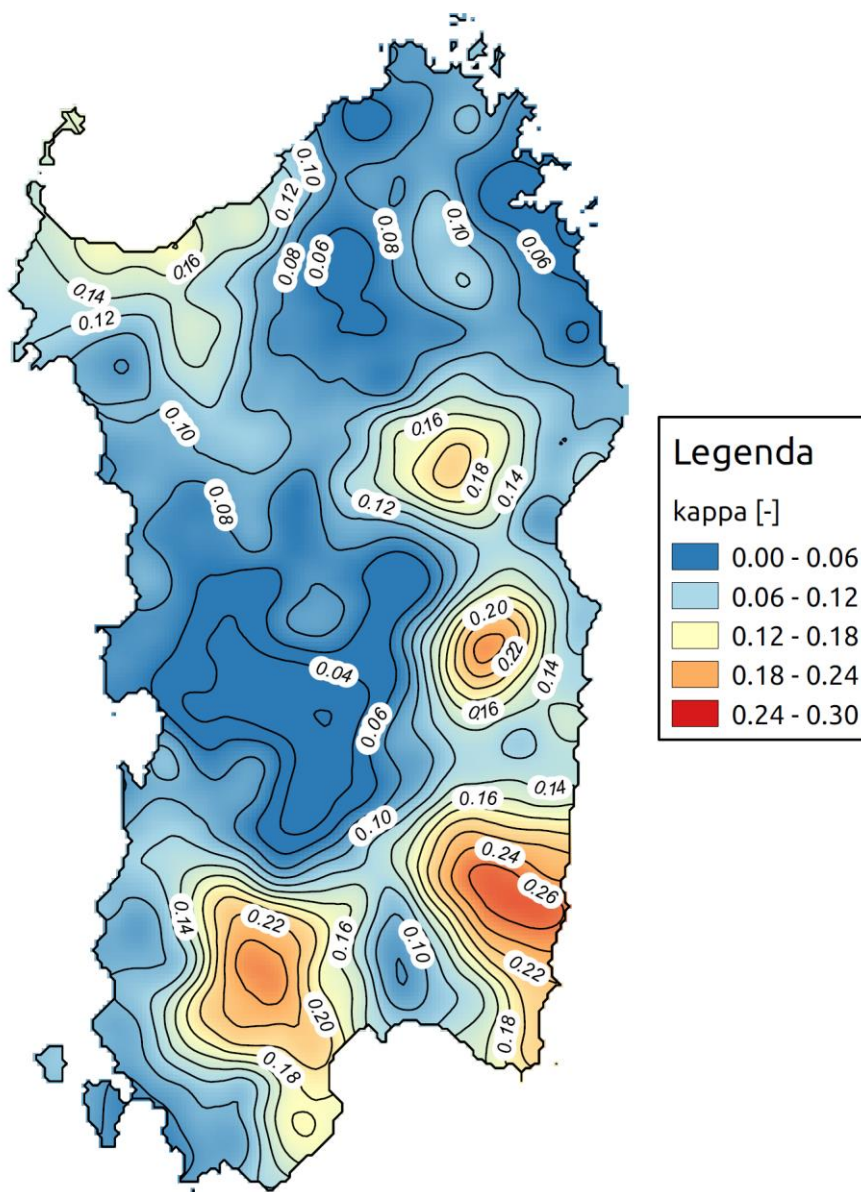


Fig. 8 – Modello GEV: rappresentazione della distribuzione spaziale del parametro di forma k_D delle piogge giornaliere.

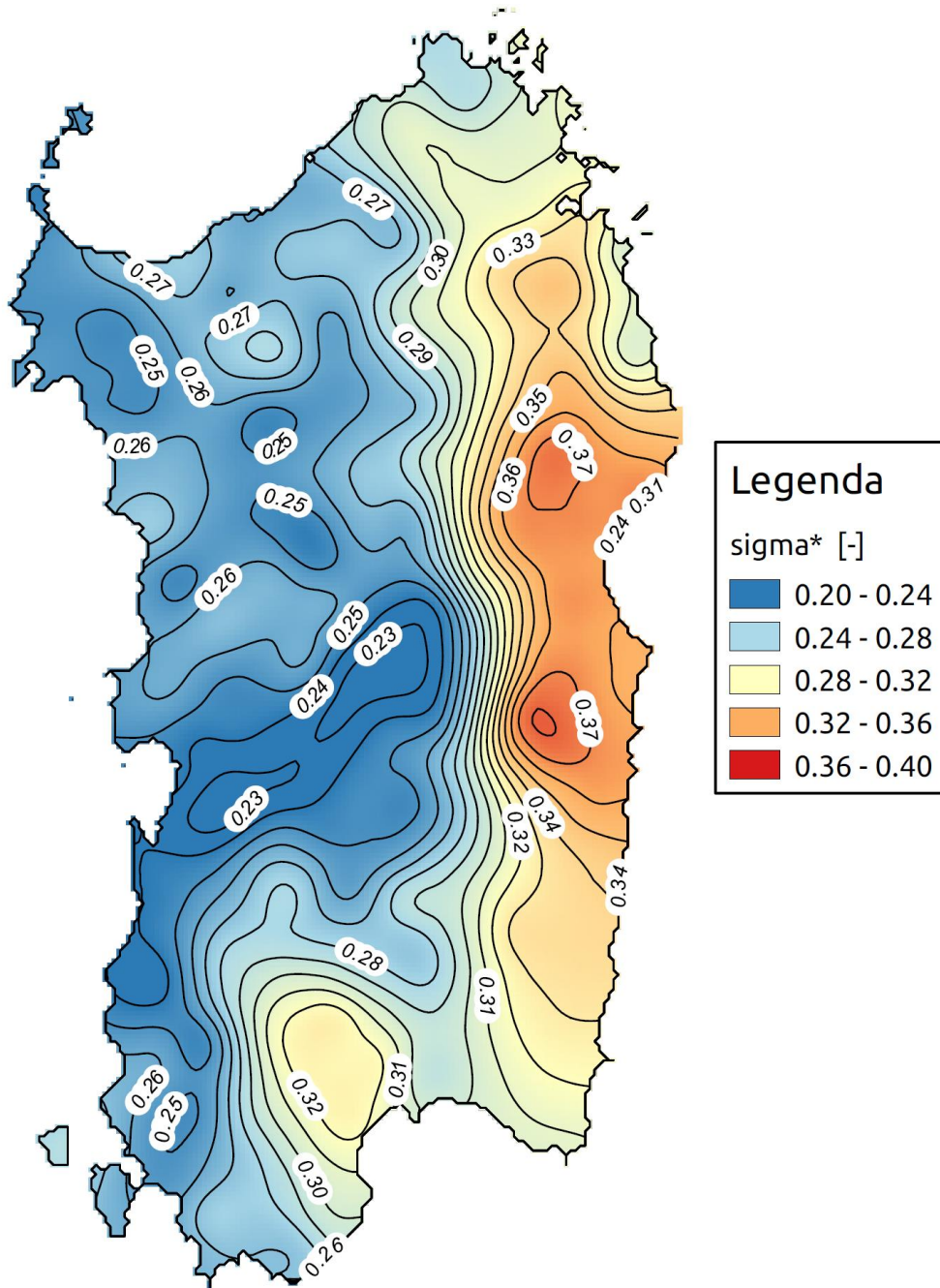


Fig. 9 – Modello GEV: rappresentazione della distribuzione spaziale del parametro di forma σ^*_D delle piogge giornaliere.

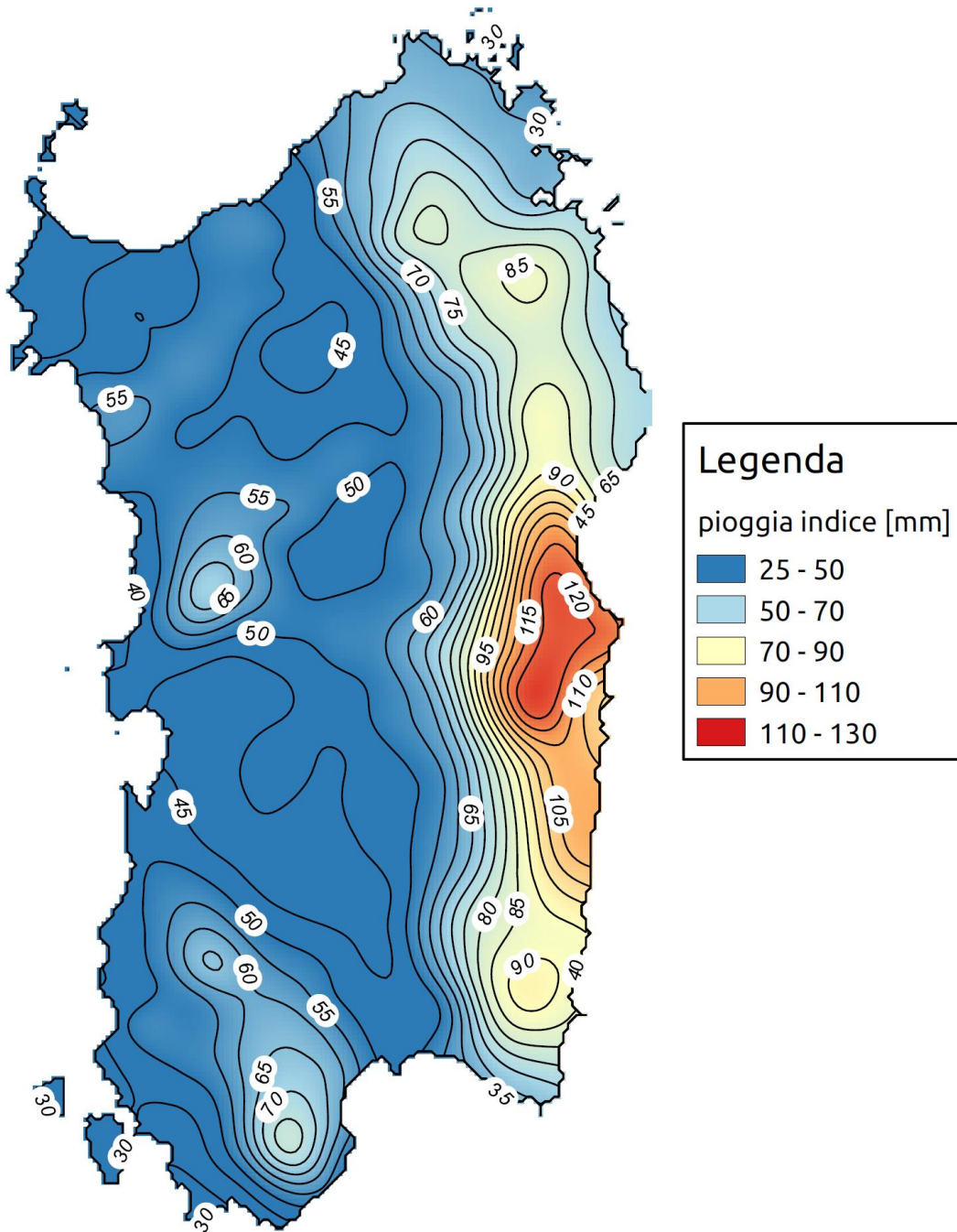


Fig. 10 – Modello GEV: rappresentazione della distribuzione spaziale del parametro di forma m_0 delle piogge giornaliere.

3.2.3.1. Piogge di breve durata

Il quantile $h_T(\tau)$ delle precipitazioni brevi ed intense di durata τ , corrispondente al tempo di ritorno T, si ottiene dalla seguente espressione monomia ed è pari al prodotto della pioggia indice $m(\tau)$ e della variabile ridotta adimensionale $y_T(\tau)$ relative alla stessa durata τ :

$$h_T(\tau) = m(\tau) * y_T(\tau) = \begin{cases} a_1 \tau^{n_1} & \tau \leq 1 \text{ ora} \\ a_2 \tau^{n_2} & \tau \geq 1 \text{ ora} \end{cases}$$

dove l'altezza di precipitazione $h_T(\tau)$ è espressa in mm, la durata τ in ore, il tempo di ritorno T in anni.

La pioggia indice $m(\tau)$ espressa in mm e la variabile ridotta adimensionale $y_T(\tau)$ sono anch'esse fornite in forma monomia:

$$m(\tau) = \begin{cases} a_{1m} \tau^{n_{1m}} & \tau \leq 1 \text{ ora} \\ a_{2m} \tau^{n_{2m}} & \tau \geq 1 \text{ ora} \end{cases}$$

$$y_T(\tau) = \begin{cases} a_{1y} \tau^{n_{1y}} & \tau \leq 1 \text{ ora} \\ a_{2y} \tau^{n_{2y}} & \tau \geq 1 \text{ ora} \end{cases}$$

Ovviamente valgono le seguenti relazioni che permettono di calcolare i parametri della relazione monomia:

$$a_1 = a_{1m} * a_{1y}$$

$$a_2 = a_{2m} * a_{2y}$$

$$n_1 = n_{1m} + n_{1y}$$

$$n_2 = n_{2m} + n_{2y}$$

I parametri relativi alla componente pioggia indice $m(\tau)$ dipendono dalla località di interesse attraverso la pioggia indice giornaliera m_D e si determinano con le seguenti espressioni:

$$n_{1m} = -0.20 + 0.33 \log_{10} m_D$$

$$n_{2m} = -0.60 + 0.52 \log_{10} m_D$$

$$a_{1m} = a_{2m} = \frac{-10 + 1.25 m_D}{24^{n_{2m}}}$$

I parametri relativi alla componente variabile ridotta adimensionale $y_T(\tau)$ dipendono dal tempo di ritorno T e dalla località di interesse attraverso i parametri di forma κ_D e di scala adimensionale σ_D^* della precipitazione giornaliera e si determinano con le seguenti espressioni:

$$n_{1y} = n_{1y_p} + n_{1y_q} \log_{10} T$$

$$n_{2y} = n_{2y_p} + n_{2y_q} \log_{10} T$$

$$a_{1y} = a_{2y} = 10^{a_{1y_p} + a_{1y_q} \log_{10} T + a_{1y_r} (\log_{10} T)^2}$$

La dipendenza territoriale della variabile ridotta adimensionale $y_T(\tau)$ è introdotta infine dalle seguenti relazioni:

$$n_{1y_p} = -0.08441 - 0.09092 \kappa_D + 0.07846 \sigma_D^* + 0.32383 \kappa_D^2 + 0.00793 \kappa_D \sigma_D^* + 0.01891 \sigma_D^{*2}$$

$$n_{1y_q} = +0.02720 + 0.13097 \kappa_D + 0.18360 \sigma_D^* - 0.37370 \kappa_D^2 - 0.07701 \kappa_D \sigma_D^* - 0.07303 \sigma_D^{*2}$$

$$n_{2y_p} = +0.01206 - 0.17695 \kappa_D + 0.01612 \sigma_D^* - 0.67415 \kappa_D^2 - 0.05609 \kappa_D \sigma_D^* + 0.13555 \sigma_D^{*2}$$

$$n_{2y_q} = -0.10358 + 0.17971 \kappa_D + 0.29584 \sigma_D^* + 0.74819 \kappa_D^2 + 0.36062 \kappa_D \sigma_D^* - 0.34968 \sigma_D^{*2}$$

$$a_{1y_p} = -0.06465 - 0.04403 \kappa_D - 0.08110 \sigma_D^* + 0.08870 \kappa_D^2 + 0.06253 \kappa_D \sigma_D^* + 0.05123 \sigma_D^{*2}$$

$$a_{1y_q} = +0.20019 + 0.06131 \kappa_D + 0.38674 \sigma_D^* - 0.09988 \kappa_D^2 - 0.10208 \kappa_D \sigma_D^* - 0.10724 \sigma_D^{*2}$$

$$a_{1y_r} = -0.01193 - 0.00329 \kappa_D - 0.05745 \sigma_D^* - 0.01044 \kappa_D^2 + 0.01938 \kappa_D \sigma_D^* + 0.01084 \sigma_D^{*2}$$

Nella tabella seguente sono riepilogati i valori dei parametri κ_D , σ_D^* e m_D , per ciascuno dei bacini oggetto di studio.

Bacino	m_D	k_D	σ^*_D
33	61.8	0.239	0.32
37	61.1	0.239	0.32
37bis	60.1	0.239	0.32
38	61.5	0.24	0.32
39	61.4	0.239	0.32
40	61.1	0.239	0.32
41	60.65	0.234	0.32
42	60.9	0.235	0.32
43	59.6	0.223	0.32

Tab. 3 – Lotto 2, bacini idrografici: parametri per l'applicazione del modello GEV.

Da questi, per il tempo di ritorno di progetto di 200 anni (in accordo alle NTC2018 e alle NTA del P.A.I.), si ottengono i seguenti valori di a_1 , a_2 , n_1 , n_2 .

Bacino	a_1	a_2	n_1	n_2
33	71.29	71.29	0.521	0.435
37	70.94	70.94	0.519	0.432
37bis	70.43	70.43	0.517	0.429
38	71.14	71.14	0.520	0.435
39	71.09	71.09	0.520	0.434
40	70.94	70.94	0.519	0.432
41	70.74	70.74	0.519	0.426
42	70.87	70.87	0.519	0.428
43	70.27	70.27	0.517	0.411

Tab. 4 – Lotto 2, bacini idrografici: parametri delle curve di possibilità pluviometrica da modello GEV.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DECIMOMANNU-VILLAMASSARGIA LOTTO 2 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RR0P	LOTTO 02 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

3.3 Determinazione delle portate al colmo

Per la stima della portata al colmo di piena di progetto (200 anni) si è proceduto all'applicazione della formula razionale.

La formula razionale o il metodo cinematico costituisce una delle metodologie più comuni e utilizzate per il calcolo della portata conseguente ad un'assegnata precipitazione incidente su un determinato bacino. Il metodo si basa sulle seguenti tre ipotesi fondamentali:

1. la pioggia critica ha durata pari al tempo di corrivazione;
2. la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento;
3. il tempo di ritorno della portata è pari a quello della pioggia critica.

La portata di piena, in funzione del tempo di ritorno, è valutata come:

$$Q_{\max} = 278 \frac{\varphi \cdot S \cdot h}{\tau_c}$$

in cui Q_{\max} = portata di piena [m³/sec]; φ = coefficiente di deflusso; h = pioggia netta [m]; S = area del bacino [km²]; τ_c = tempo di corrivazione [ore].

Per quanto riguarda la valutazione del coefficiente di deflusso (φ), si è fatto riferimento al metodo del *Soil Conservation Service* (SCS), denominato *Curve Number* (CN). In particolare:

$$\varphi = \frac{P_e}{P}$$

con P = altezza di pioggia di progetto corrispondente ad un tempo di ritorno T e una durata τ_c , $P = a \cdot \tau_c^n$; P_e = pioggia efficace, dipendente dal Curve Number, valutabile come: $P_e = (P - 0.2 \cdot S)^2 / (P + 0.8 \cdot S)$; $S = 254 \cdot (100 / \text{CN} - 1)$.

I valori del parametro CN sono stati determinati facendo riferimento alla carta del CN costruita sulla base delle informazioni sull'uso suolo, la litologia e la permeabilità, messa a disposizione dalla Regione Sardegna. In particolare, tale mappa, a corredo della pianificazione di bacino vigente, fornisce valori del CN già associati a specifiche categorie di suolo (A,B,C,D) definite sulla base di studi specifici condotti sul territorio della Regione Sardegna ed in particolare sulle relative caratteristiche litologiche.

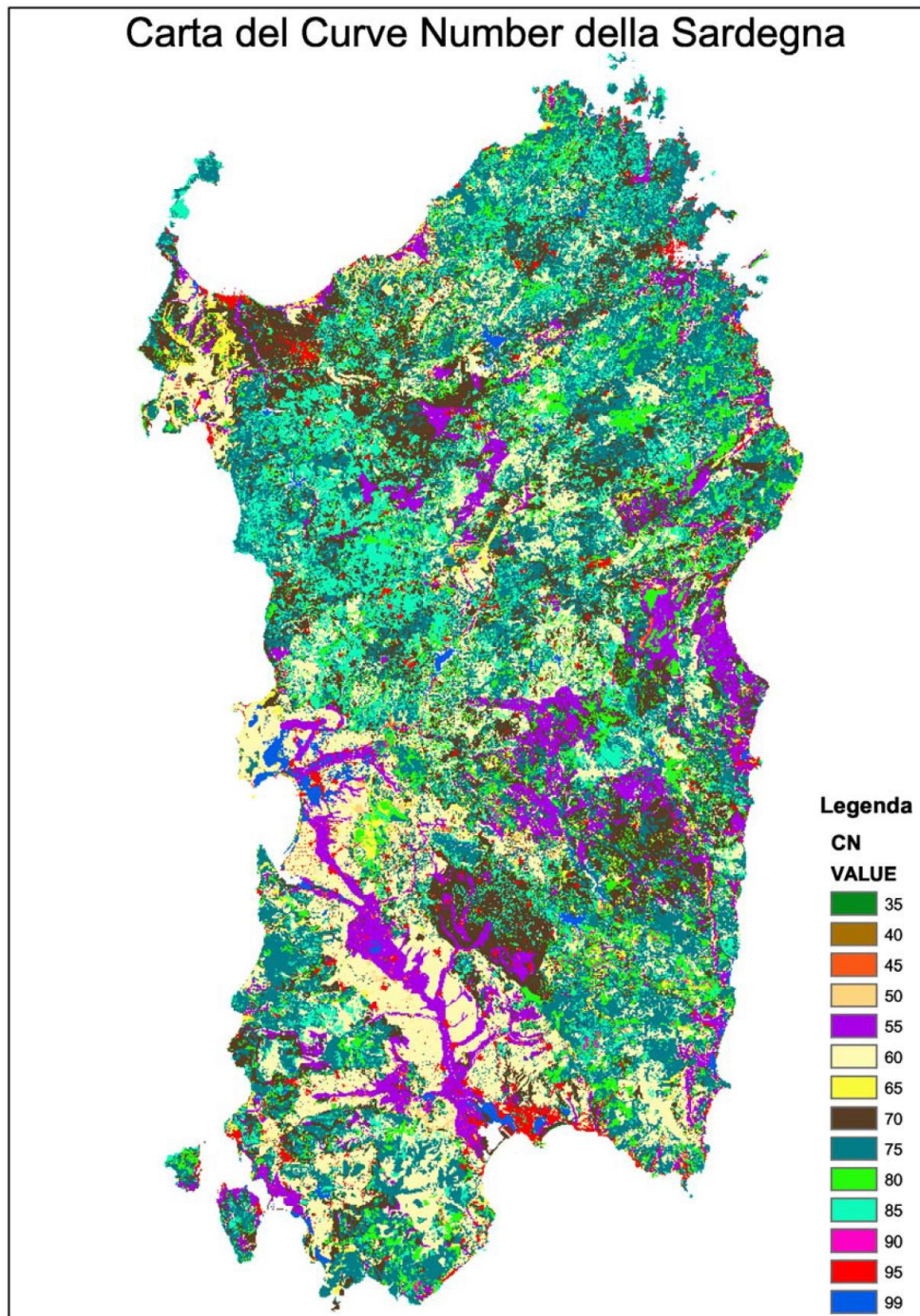


Fig. 11 – Regione Sardegna: carta del Curve Number.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DECIMOMANNU-VILLAMASSARGIA LOTTO 2 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RR0P	LOTTO 02 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

I valori rappresentati nella carta riportata nella figura precedente si riferiscono ad una condizione AMC (*Antecedent soil moisture classes*) pari a II. Tali valori, ricavati poi i bacini oggetto di studio, sono stati successivamente modificati secondo la seguente relazione assimilandoli cautelativamente alla condizione III delle AMC:

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

Per ogni sottobacino individuato è stato quindi valutato il valore medio del CN (III).

Sottobacino	CN II	CN III
33	69.3	84.0
37	67.0	82.5
37bis	65.1	81.3
38	77.6	89.0
39	69.1	83.9
40	62.8	79.7
41	63.0	79.8
42	66.2	82.0
43	61.7	78.9

Tab. 5 – Lotto 2, bacini idrografici: valori del Curve Number.

La determinazione del tempo di corrivazione (τ_c) può effettuarsi mediante alcune classiche formule empiriche di uso comune; in particolare, per bacini di media o modesta estensione come quelli in esame, possono essere applicate le seguenti formulazioni:

– Ventura

$$\tau_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{i_m}}$$

– Pasini

$$\tau_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{L \cdot A}}{\sqrt{i_m}}$$

– Pezzoli

$$\tau_c = 0,055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i_m}}$$

– Kirpich

$$\tau_c = 0.000325 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{i}}\right)^{0.77}$$

– Viparelli

$$L/v$$

– SCS

$$\tau_c = 1.67 * \frac{100L^{0.8} \cdot [(1000/CN) - 9]^{0.7}}{1900 \cdot i^{0.5}} \quad [\text{minuti}]$$

– VAPI Sardegna

$$\tau_c = 0.212 \cdot A^{0.231} \cdot \left(\frac{H_m}{i_m}\right)^{0.289}$$

con A = area (km²), i_m = pendenza media dell'asta (m/m); i = pendenza media del bacino (m/m); H_m = quota media del bacino (m slm); L = lunghezza dell'asta fluviale (km); v = velocità media della corrente (1-1.5 m/s).

In tal caso, il tempo di corrivazione di riferimento è valutato come il valore minimo ottenuto dall'applicazione delle differenti formulazioni sopra introdotte. Nella tabella seguente sono riportati i valori di riferimento del tempo di corrivazione assunti per i bacini idrografici di interesse.

Sottobacino	τ_c (ore) progetto
33	0.248
37	1.486
37bis	2.673
38	0.043
39	0.387
40	0.306
41	0.361
42	0.420
43	0.194

Tab. 6 – Lotto 2, bacini idrografici: tempo di corrivazione di riferimento.

Nelle tabelle seguenti, si riportano dunque i risultati del calcolo delle portate al colmo ($T = 200$ anni) per i bacini di interesse, secondo le curve di possibilità pluviometrica (CPP) derivanti sia dalla procedura VAPI-Sardegna sia dal modello GEV (rif. *Studio Prof. R. Deidda*, 2016).

Nello specifico, il tempo di corrivazione di progetto dei bacini oggetto di studio è per tutti inferiore all'ora, tranne per i bacini con ID = 37 e 37bis; pertanto, nell'ambito della procedura VAPI sono stati considerati per il calcolo del K_T (con $T = 200$ anni) i seguenti parametri: $a_2' = a_2'' = 2.931$, $n_2' = 0.185$ (per $\tau_c < 1h$), $n_2'' = -0.01506$ (per $\tau_c \geq 1h$), e quindi determinati i valori del parametro $a_T = a_o \cdot K_T$.

Per l'applicazione delle CPP derivanti dal modello GEV, sono stati invece adottati i valori dei parametri a_1 e n_1 (per $\tau_c < 1h$), e a_2 e n_2 (per $\tau_c \geq 1h$).

Sottobacino	K_T	a_T	h (mm)	he (mm)	i (mm/h)	φ	Q (mc/s)
33	2.26	48.77	30.35	6.17	122.5	0.20	8.58
37 (Gora Perdosu)	2.91	62.25	71.08	31.84	47.8	0.45	45.46
37bis (Spinosu)	2.89	61.00	84.22	40.16	31.5	0.48	48.04
38	1.64	35.11	12.19	0.93	282.5	0.15	0.76
39	2.46	52.61	38.25	10.50	98.8	0.27	10.78
40	2.35	50.08	33.79	5.09	110.4	0.15	2.36
41	2.43	51.21	36.69	6.46	101.6	0.18	2.43
42	2.50	52.88	39.74	9.70	94.5	0.24	7.05
43	2.17	45.04	26.72	2.14	137.4	0.15	0.40

Tab. 7 – Lotto 2, bacini idrografici: calcolo della portata al colmo, $Tr200$ (procedura VAPI).

Sottobacino	h (mm)	i (mm/h)	ϕ	Q (mc/s)
33	34.46	139.1	0.24	11.64
37 (Gora Perdosu)	84.20	56.6	0.50	60.44
37bis (Spinosu)	107.36	40.2	0.55	71.02
38	13.87	321.4	0.15	0.86
39	43.40	112.1	0.32	14.09
40	38.35	125.4	0.19	3.33
41	41.71	115.5	0.21	3.37
42	45.19	107.5	0.29	9.38
43	30.12	154.9	0.15	0.45

Tab. 8 – Lotto 2, bacini idrografici: calcolo della portata al colmo, Tr200 (modello GEV).

I coefficienti di deflusso equivalenti ottenuti si attestano a valori compresi tra 0.15 e 0.55 (0.15 soltanto per i due bacini 38 e 43, con riferimento al modello GEV dello *Studio Deidda*), del tutto compatibili con le coperture del suolo dei bacini oggetto di studio caratterizzati da aree verdi, superfici agricole, terreni incolti, boschi per le quali anche la letteratura tecnica suggerisce valori pari a 0.10-0.15 / 0.20-0.30 (e.g. Ven Te Chow, 1964).

Come valori di portata al colmo di progetto, sono stati adottati/considerati quelli derivanti dalla metodologia più cautelativa, nel caso specifico il modello GEV (rif. *Studio Prof. R. Deidda*, 2016).

Sottobacino	Q (mc/s)
33	11.64
37 (Gora Perdosu)	60.44
37bis (Spinosu)	71.02
38	0.86
39	14.09
40	3.33
41	3.37
42	9.38
43	0.45

Tab. 9 – Lotto 2, bacini idrografici: valori delle portate al colmo di progetto (Tr = 200 anni).

Tali valori sono stati quindi considerati nelle analisi e nelle verifiche idrauliche, di dimensionamento delle opere di attraversamento in progetto (per maggiori dettagli, si rimanda alla relazione idraulica annessa RR0P02R09RIID0002001).

Nello specifico, tali verifiche sono state condotte secondo modelli numerici monodimensionali, in regime di moto permanente.

Per completezza, di seguito si riporta in forma tabellare e grafica l'andamento del contributo specifico di portata ($Q_s = \text{portata}/\text{superficie}$) rispetto all'estensione del bacino idrografico sotteso. In generale si osserva che la portata specifica tende a diminuire all'aumentare della superficie del bacino sotteso.

bacino	Q_s (l/s/ha)
33	93.9
37	79.1
37bis	61.7
38	133.9
39	98.5
40	65.2
41	68.8
42	85.3
43	64.5

Tab. 10 – Lotto 2: portata specifica ($T_r = 200$ anni) dei bacini idrografici oggetto di studio.

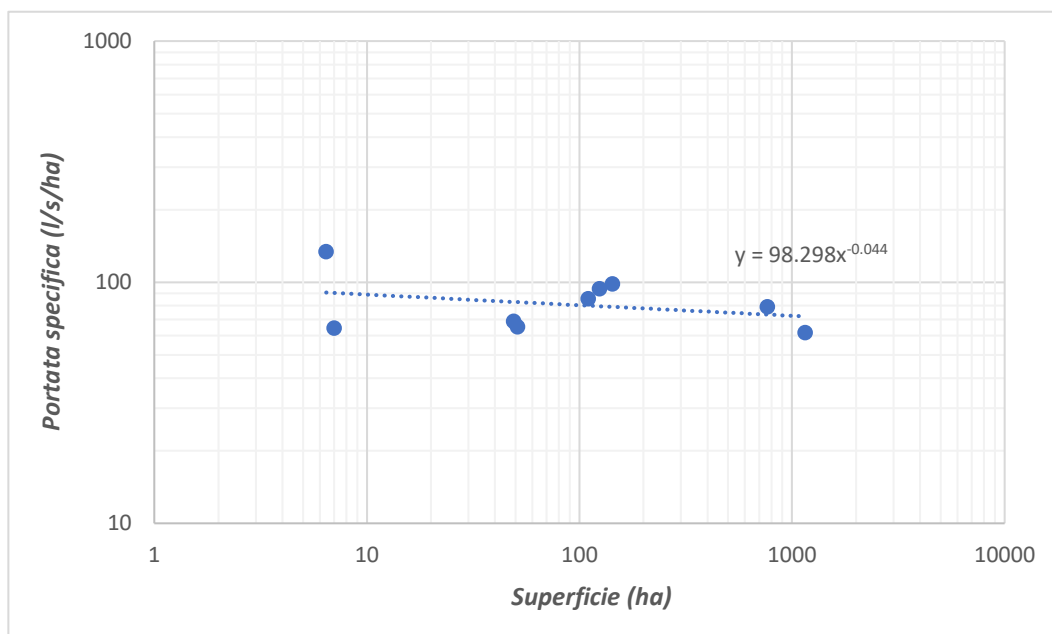
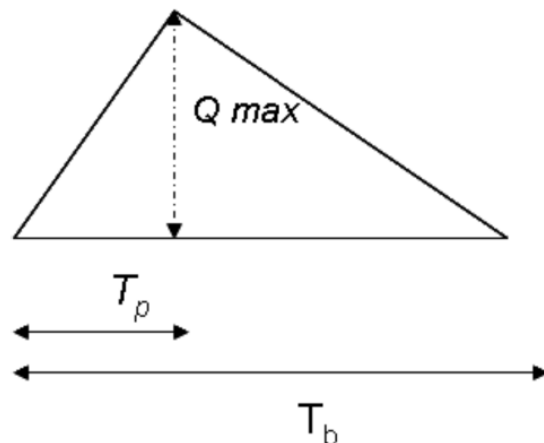


Fig. 12 – Lotto 2, bacini idrografici: portata specifica vs estensione/superficie bacino sotteso.

Per i sottobacini con ID = 33, 37 e 37bis, relativi ai due rami fluviali del Riu Gora Perdosu che scorre parallelo alla linea ferroviaria oggetto di intervento, e al Riu Spinosu, non attraversati dalla linea ferroviaria in progetto, è stato sviluppato un modello numerico di propagazione delle piene secondo un approccio bidimensionale, in moto vario, al fine di meglio valutare l'eventuale interferenza dell'infrastruttura con le rispettive aree potenzialmente inondabili, nonché di determinare/valutare le condizioni al contorno di valle da assumere nei modelli numerici monodimensionali, in regime di moto permanente, dei corsi d'acqua secondari attraversati.

A tal fine, per i sottobacini con ID = 33, 37 e 37bis, sono stati definiti anche i corrispondenti idrogrammi di piena, applicando in via semplificata le indicazioni riportate nelle *Integrazioni Metodologiche alle Linee Guida, par. 4.2.1, redatte dalla Direzione Scientifica del Progetto su commissione della Regione Autonoma Sardegna*, in ottemperanza dell'articolo 8 comma 5septies delle N.T.A. del P.A.I. (rif. Allegato alla deliberazione del Comitato Istituzionale n. 7 del 07.04.2021 dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna). In particolare, si assume un idrogramma di forma triangolare, ipotizzando che il tempo di base T_b sia dato da: $T_b = 2W / Q_{max}$, dove W è il volume di pioggia netta e Q_{max} la portata al colmo stimata ($Tr200$).



Una volta stimato il volume di pioggia netta è quindi possibile calcolare i tempi caratteristici dell'idrogramma, assunte le relazioni: $T_p = T_b/2,67$; $T_b - T_p = 1,67 \cdot T_p$.

Nella figura seguente, sono riportati dunque gli idrogrammi di piena ($Tr = 200$) relativi ai bacini con ID = 33, 37, 37bis così determinati.

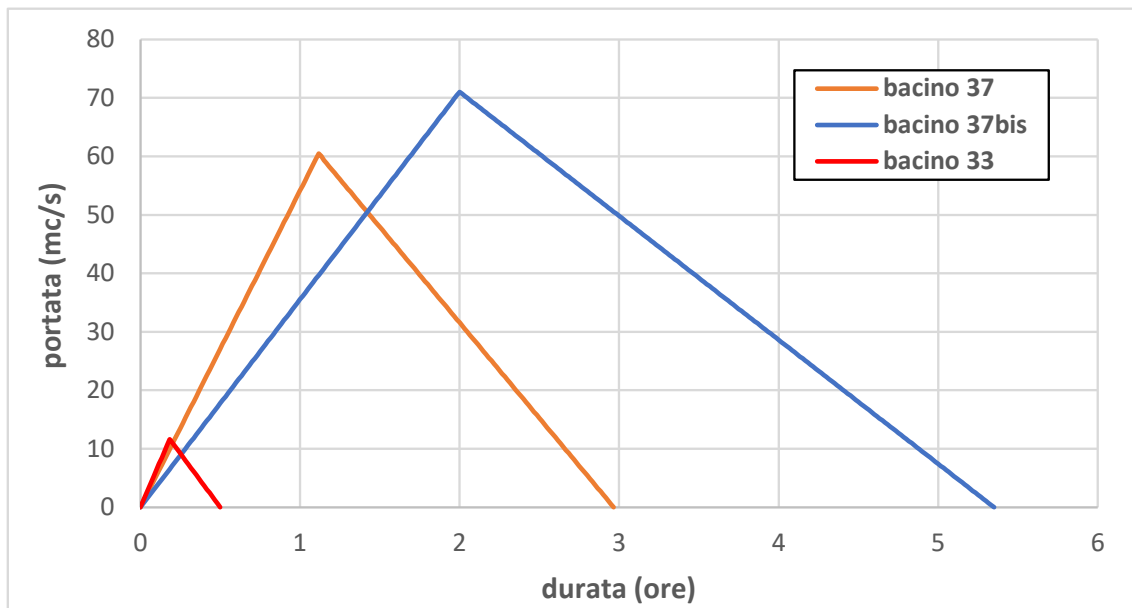


Fig. 13 – Lotto 2, bacini idrografici: idrogrammi di piena $Tr = 200$ anni per i bacini 33, 37 e 37bis.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DECIMOMANNU-VILLAMASSARGIA LOTTO 2 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RR0P	LOTTO 02 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

4. EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE PRECIPITAZIONI

La conoscenza delle variazioni climatiche sul territorio italiano, in corso e previste, è il presupposto fondamentale per la valutazione degli impatti e della strategia nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici (cfr. SNAC - MATTM, 2015).

Mentre la conoscenza del clima presente e passato e delle variazioni in corso si fonda sulla osservazione delle variabili climatiche e sull'applicazione di metodi e modelli statistici di riconoscimento e stima delle tendenze in corso, la conoscenza del clima futuro si basa sulle proiezioni dei modelli climatici.

Secondo la definizione della *World Meteorological Organization* (WMO), le proiezioni climatiche forniscono la probabilità con cui determinate variazioni del clima possono verificarsi nei prossimi decenni, in relazione a diverse possibili evoluzioni dello sviluppo socio-economico globale.

Tali condizioni (scenari) comportano, in particolare, diversi andamenti delle emissioni di gas climalteranti in atmosfera. A tale proposito, l'*Intergovernmental Panel for Climate Change* (IPCC) ha recentemente ridefinito gli scenari futuri a scala globale (*Representative Concentration Pathways – RCP*), allo scopo di fornire informazioni sulla probabile evoluzione delle diverse componenti della forzante radiativa (emissioni di gas serra, inquinanti e uso del suolo), da utilizzare come input per i modelli climatici.

Gli scenari RCP sostituiscono i precedenti scenari pubblicati dall'IPCC nello *Special Report on Emission Scenarios* (SRES). I quattro nuovi RCP includono uno scenario di mitigazione, che stima un valore molto basso della forzante radiativa al 2100 (2.6 W/m² - RCP2.6), due scenari intermedi (4.5 W/m² - RCP4.5 e 6 W/m²- RCP6) e uno scenario caratterizzato da un'elevata emissione e da un elevato valore della forzante radiativa (8.5 W/m² - RCP8.5).

Proprio l'IPCC ha introdotto una definizione più specifica del termine "*proiezione climatica*", riferendola alla stima delle variazioni del clima futuro che viene fornita dai modelli climatici.

Questi ultimi possono essere classificati in due categorie, *globali* e *regionali*, che contraddistinguono la diversa scala spaziale delle simulazioni del clima futuro. I modelli regionali ("*Regional Climate Models*", *RCM*) rispondono alla necessità di fornire una migliore rappresentazione dei fenomeni a scala locale.

Tali modelli, innestandosi su un modello globale da cui vengono acquisite le condizioni iniziali e al contorno, producono le proiezioni climatiche su una specifica area di interesse, ad una risoluzione più elevata (fino a una massima risoluzione orizzontale di 10-50 km).

Secondo le più recenti proiezioni climatiche, i Paesi dell'area del Mediterraneo sono ad alto rischio a causa di variazioni negative degli eventi estremi che potranno avere un forte impatto sulla gestione delle risorse idriche, la produzione delle colture e la fornitura di acqua potabile; le Regioni del Mediterraneo stanno già sperimentando una vasta gamma di minacce di origine naturale ed antropica alla sicurezza dell'acqua.

Le minacce sono dovute a gravi eventi siccitosi e inondazioni, salinizzazione di acquiferi costieri, degrado dei suoli fertili e desertificazione causati da pratiche di gestione inefficienti e non sostenibili.

Nelle aree più vulnerabili si prevede che i cambiamenti nel ciclo idrologico daranno luogo ad un crescente potenziale di tensioni e conflitti tra gli attori politici ed economici.

In tale contesto si inserisce il *Progetto di Ricerca, in Cooperazione Transnazionale del VII Programma Quadro sull'Ambiente e il Cambiamento Climatico e Sistema modellistico e di Monitoraggio integrati per la riduzione dell'incertezza e la quantificazione del rischio idrologico, denominato **CLIMB - Cambiamenti indotti dal Clima sulla Idrologia del Bacino del Mediterraneo.***

La strategia di *CLIMB* è volta ad utilizzare ed integrare tecniche avanzate di monitoraggio sul campo, telerilevamento a distanza, confronto incrociato e verifica di modelli climatici, modellistica idrologica integrata e valutazione dei fattori socio-economici in un nuovo quadro concettuale, per ridurre significativamente le incertezze esistenti nell'analisi dell'impatto del cambiamento climatico.

Viene realizzato uno strumento integrato di valutazione del rischio per la gestione adattiva delle risorse idriche e per le migliori pratiche agricole in condizioni di cambiamento climatico.

Lo strumento per l'analisi di rischio e vulnerabilità consente la valutazione dei rischi di conflitto.

I nuovi modelli e strumenti di valutazione ed i loro risultati sono comparati con le attuali metodologie.

CLIMB analizza i cambiamenti indotti dal clima in bilanci idrici selezionati e negli eventi estremi del bacino del Mediterraneo e Paesi adiacenti.

Nello specifico, una combinazione di analisi sul campo, rilevazioni in remoto, assimilazione di dati, modellistica idrologica integrata, analisi dei fattori socio - economici viene impiegata per ridurre le incertezze nella analisi degli impatti del cambiamento climatico. I risultati di un insieme (ensemble) di modelli fornisce i parametri per gli strumenti di valutazione del rischio e vulnerabilità basati su GIS, che servono da piattaforma per la disseminazione dei risultati del progetto a stakeholder locali e regionali.

I siti di studio considerati nel progetto *CLIMB* sono bacini idrografici con estensione fino a migliaia di chilometri quadrati e rappresentano unità di gestione idrica per le autorità regionali dell'acqua.

La scelta dei siti studio ha tenuto conto dell'importanza dell'acqua in aree con agricoltura intensiva, con problemi di intrusione di acqua marina, con acque in alcuni casi inquinate e con episodi passati di rivalità tra usi civili, per l'agricoltura e per le attività turistiche.

L'analisi specifica per ciascun sito permette di valutare con accuratezza la vulnerabilità e i fattori di rischio per la risorsa idrica e le rivalità future.

Tra i siti oggetto di studio (in totale n. 7), con riferimento alla Regione Sardegna, vi è il bacino del Riu Mannu di San Sperate, tributario (come il Riu Spinosu) del Flumini Mannu a Decimomannu.

Nell'ambito del progetto *CLIMB*, relativamente ai bacini di studio, sono stati confrontati i risultati dei diversi modelli climatici selezionando i migliori nella capacità di riprodurre le precipitazioni e le temperature a scala regionale e scala di bacino.

In particolare, per l'intera area del bacino del Rio Mannu sono stati utilizzati controlli e processi di verifica (*climate audit*) su diversi Modelli Climatici (CM) che hanno prodotto una graduatoria di quelli che più si accordano alla regione Mediterranea.

I modelli climatici si basano su strumenti numerici e permettono di simulare il passato e fare previsioni future. I Modelli Climatici Globali, detti anche Modelli di Circolazione Generale (GCMs), forniscono informazioni su larga scala e non sono utilizzabili direttamente a scala regionale o scala di bacino. E' necessaria quindi una ri-elaborazione secondo tecniche di *downscaling*.

Ciascun modello climatico consiste di cinque variabili climatiche: temperature, precipitazioni, umidità, relativa, velocità del vento. Per il periodo di riferimento e il periodo degli scenari le due variabili temperature e precipitazioni sono state ulteriormente ri-verificate per migliorarne la congruenza all'orografia e alle caratteristiche locali.

La struttura di ricerca CLIMB è basata sull'implementazione di ENSAMBLE di molti modelli idrometeorologici nei sette casi studio e la comparazione dei cambiamenti futuri – FUT (2041 - 2070) rispetto ad un periodo di riferimento (1971 - 2000).

Ciascun modello idrologico è stato scelto dopo essere stato calibrato e validato su almeno 2 criteri indipendenti per ciascun sito e la configurazione completa è stata applicata con 4 forzanti climatiche selezionate perché meglio si sono adattate a tutti i siti di studio.

Nel bacino del Mediterraneo le analisi concordano nel prevedere una riduzione delle precipitazioni annuali e un moderato spostamento delle piogge stagionali che si accompagna a maggiori rischi che si verifichino periodi siccitosi.

L'aumento previsto delle temperature in tutte le quattro stagioni farà aumentare l'evapotraspirazione potenziale (ETp) e al contrario porterà alla diminuzione di acque disponibili per le colture.

L'unica eccezione sembra riguardare il caso studio del bacino del Noce nel sud delle Alpi, dove invece i modelli prevedono precipitazioni maggiori.

Per il bacino del Rio Mannu sono stati utilizzati il modello Soil and Water Assessment Tool - SWAT (CRS4), il Water balance Simulation Model - WaSiM (LMU) e TIN-based Real-Time Basin Simulator Distributed Hydrologic Model - tRIBS (CINFAI).

Tutti i modelli concordano verso la previsione di una diminuzione di circa il 12% delle precipitazioni annuali (PRC), mentre l'evapotraspirazione potenziale (ETP) aumenterà lievemente (1-14% a seconda delle zone) per effetto dell'aumento delle temperature.

Il contenuto di acqua nel suolo (SWC) diminuirà del 10% circa ed è attesa una riduzione relativamente marcata dell'evapotraspirazione effettiva (ETR) proprio durante I mesi primaverili con effetti negativi sulla produzione agricola nel periodo di crescita di molte colture. Entrambi i modelli idrologici prevedono anche riduzioni dal 15 al 20% dei deflussi superficiali (RUN) e aumento del numero dei giorni con bassa velocità di flusso.

Complessivamente l'acqua totale disponibile subirà nelle previsioni riduzioni tra il 15 e il 20%.

Gli indicatori dei cambiamenti previsti dai modelli per il Rio Mannu sono sintetizzati nella tabella seguente. Dei quattro modelli climatici ECH-RCA, ECH-RMO, ECH-REM, HCH-RCA è riportato l'ECH-REM, ma tutti concordano nei principali indicatori.

Indicator		Actual		ECH-REM		
		1970 - 2000	Model Average Change	1970 - 2000	2040 - 2070	Change
Average temperature						
Annual	°C	15.8	↑ 2.2	16.0	17.9	1.9
Summer	°C	23.0	↑ 2.7	23.6	25.7	2.1
Winter	°C	9.4	↑ 1.8	9.3	11.1	1.8
Temperature change	°C/decade	0.43	↑ + 27 %	0.21	0.5	+ 29 %
Temperature extremes						
Hot days	no/year	2.0	↑ + 555 %	2.1	9.8	+ 362 %
Tropical nights	no/year	20.8	↑ + 146 %	33.1	77.9	+ 135 %
Hot days and tropical nights	no/year	1.8	↑ + 648 %	2.1	9.8	+ 362 %
Heat wave index	no/year	7.5	↑ + 303 %	11.7	38.3	+ 227 %
Total Precipitation						
Annual	mm	454.5	↓ - 12 %	440.1	405.6	- 8 %
Spring (Mar, Apr, May)	mm	116.7	↓ - 28 %	103.4	79.5	- 23 %
Summer (Jun, Jul, Aug)	mm	22.4	↓ - 15 %	20.6	19.9	- 3 %
Fall (Sep, Oct, Nov)	mm	155.7	↓ - 15 %	164.3	141.3	- 14 %
Winter (Dec, Jan, Feb)	mm	159.7	↑ + 5 %	151.8	164.8	+ 9 %
Precipitation extremes						
Consecutive dry days	no/year	60.6	↑ + 8 %	49.9	50.4	+ 1 %
Consecutive wet days	no/year	8.0	↓ - 5 %	10.5	10.1	- 3 %
Severe Droughts (SPI<1.5)						
3-month	no in period	37	↑ + 33 %	49	56	+ 14 %
6-month	no in period	22	↑ + 118 %	27	54	+ 100 %
12-month	no in period	29	↑ + 155 %	43	99	+ 130 %
24-month	no in period	13	↑ + 246 %	27	119	+ 341 %
48-month	no in period	6	↑ + 235 %	31	140	+ 352 %
Total Available Water						
Annual	mm		↓ - 25 %	-929.7	-1063.9	- 14 %
Spring (Mar, Apr, May)	mm		↓ - 48 %	-195.0	-257.3	- 32 %
Summer (Jun, Jul, Aug)	mm		↓ - 10 %	-546.3	-584.9	- 7 %
Fall (Sep, Oct, Nov)	mm		↓ - 114 %	-159.4	-191.8	- 20 %
Winter (Dec, Jan, Feb)	mm		↓ - 12 %	-29.1	-30.0	- 3 %

Nello specifico, tutti i modelli descrivono scenari in cui ci saranno:

- Aumenti delle temperature di circa 2°C soprattutto d'estate.
- Sei volte tanto saranno frequenti giorni particolarmente caldi.
- Più di quattro volte tanto con temperature di quattro giorni consecutivi che non si verificavano nell'arco di dieci anni.

- Diminuzione delle precipitazioni del 12% medio annuale; il 28% di questa diminuzione si verificherà in particolare in marzo, aprile e maggio, mentre il 15% della diminuzione annuale sarà tra settembre e novembre; leggero aumento delle precipitazioni sarà invece in inverno tra dicembre e febbraio.
- Moderato (8%) aumento dei giorni secchi.
- Aumento del verificarsi di siccità, rispetto al passato.

Per ultimo i modelli suggeriscono di tener conto dello slittamento delle precipitazioni durante l'anno, la più alta percentuale delle precipitazioni si verificherà tra settembre e gennaio.

In ragione della vicinanza e appartenenza al medesimo bacino (Flumini Mannu), nel presente studio si è fatto quindi riferimento a quanto sopra riportato. Nello specifico è stato preso in considerazione l'aumento delle precipitazioni (i.e. precipitazione totale) atteso per il periodo invernale dicembre – febbraio, stimato **pari al 9% al 2040-2070**.

Applicando (impropriamente) tale incremento alle altezze di pioggia di progetto, riferite a specifiche durate (i.e. tempi di corrivazione dei singoli bacini), ne deriva un contestuale aumento delle portate al colmo di riferimento, della medesima entità. Tali considerazioni sono prese come riferimento nelle analisi idrauliche a corredo del presente progetto per lo sviluppo di ulteriori verifiche di compatibilità sia delle opere di attraversamento (ponti/viadotti/tombini) sia dei sistemi di drenaggio della piattaforma stradale e ferroviaria, nei confronti quindi anche di eventuali variazioni (nello specifico, incrementi) delle precipitazioni per effetto dei cambiamenti climatici. Maggiori dettagli saranno forniti nella successiva fase progettuale.

In particolare, sulla base delle portate incrementate per effetto dei cambiamenti climatici, si procede a verificare se le opere di attraversamento fluviale e di drenaggio previste in progetto consentano il transito delle portate di riferimento (a pelo libero, senza specifico franco minimo) nell'ipotesi di incremento delle precipitazioni, dedotto dalle proiezioni più cautelative (massimo scenario di emissione, massimo orizzonte temporale) ad oggi disponibili. In mancanza di una specifica normativa o linea guida di riferimento (a livello nazionale e/o locale) sul tema, si ritiene che tale criterio di verifica sia ragionevole e conforme alle indicazioni riportate nella Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (MATTM, 2015).

ALLEGATO 1



REGIONE AUTONOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

AGENZIA REGIONALE PRO S'AMPARU DE S'AMBIENTE DE SARDIGNA
AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE DELLA SARDEGNA

ARPAS

Direzione Generale
Servizio Supporti direzionali

Cagliari, 09.06.2022

Posta elettronica ordinaria

> Cesali Chiara
c.cesali@italferr.it

Oggetto: Accesso informazione ambientale (D.lgs 195/2005 e s.m.i. e D.lgs 152/2006 s.m.i.) – Risposta alla richiesta mezzo posta elettronica ordinaria del 30.05.2022 (Prot. ARPAS 18022/2022 del 31.05.2022) - Comunicazione di avvio e conclusione del procedimento.

In riferimento alla richiesta in oggetto, si comunica che:

- è stato avviato il procedimento di accesso avente ad oggetto *Richiesta informazioni* per dati pluviometrici dagli Annali Idrologici, zona Decimomannu-Villamassargia, per il periodo 1988-2011, per quanto di competenza di questa Amministrazione;
- l'accesso in oggetto è inquadrabile nell'ipotesi di accesso all'informazione ambientale (Decreto legislativo 195/2005 e s.m.i. e Decreto legislativo 152/2006 – art. 3 sexies e s.m.i.);
- l'Ufficio responsabile del procedimento di accesso è la Direzione Generale – Servizio Supporti direzionali, Via Luigi Contivecchi, 7 - 09122 Cagliari;
- il domicilio digitale è arpas@pec.arpas.sardegna.it;
- il Responsabile del procedimento di accesso è il sig. Francesco Fanni (ffanni@arpa.sardegna.it tel. 070 271681 281);
- nella sezione Procedimento per l'Accesso <http://www.sardegnaambiente.it/index.php?xsl=612&s=418800&v=2&c=4504&idsito=21> del sito web istituzionale di questa Agenzia <http://www.sardegnaambiente.it/arpas/> sono contenute le informazioni sul procedimento di accesso all'informazione ambientale;
- consultata la struttura tecnico scientifica di questa Agenzia, si comunica che i dati delle piogge di massima intensità e breve durata dal 1989 al 2011 per le stazioni tradizionali non sono disponibili. I cartellini pluviografici per tale periodo e per le stazioni tradizionali di Siliqua, Uta e Villamassargia non sono stati digitalizzati da chi curava in quegli anni la pubblicazione degli annali idrologici;
- la richiesta è stata tuttavia accolta e pertanto si procede all'invio, mezzo Posta elettronica ordinaria e all'indirizzo indicato nella richiesta in oggetto, della seguente informazione ambientale:
 - Piogge Brevi-Intense Decimomannu-Iglesias-Genna_Is_Abis** [file.ods]
contenente i dati delle piogge di massima intensità e breve durata relative alle stazioni in telemisura della rete fiduciaria di Protezione Civile di:
 - 'Flumini Mannu a Decimomannu' (39° 18' 26,90" N; 8° 57' 10,68" E - SS130 KM16+920 OVEST, in prossimità della vostra stazione);
 - 'Diga Genna Is Abis' (39° 16' 42,50" N; 8° 53' 42,50" E);
 - 'Iglesias RF' (39° 18' 05,15" N; 8° 33' 48,67" E)dall'anno di installazione (2006-2008) al 2021 incluso.

Il Direttore del Servizio
Marcello Atzeni
firmato digitalmente*


MARCELLO ATZENI
ARPAS Sardegna
DIRIGENTE
09.06.2022 11:10:16
GMT+0000

Francesco Fanni
Ufficio Comunicazione istituzionale, URP, Sicurezza dati personali, Educazione ambientale

(*) documento firmato digitalmente ai sensi del D.Lgs. 82/2005 s.m.i. e norme collegate e sostituisce il documento cartaceo e la firma autografa.

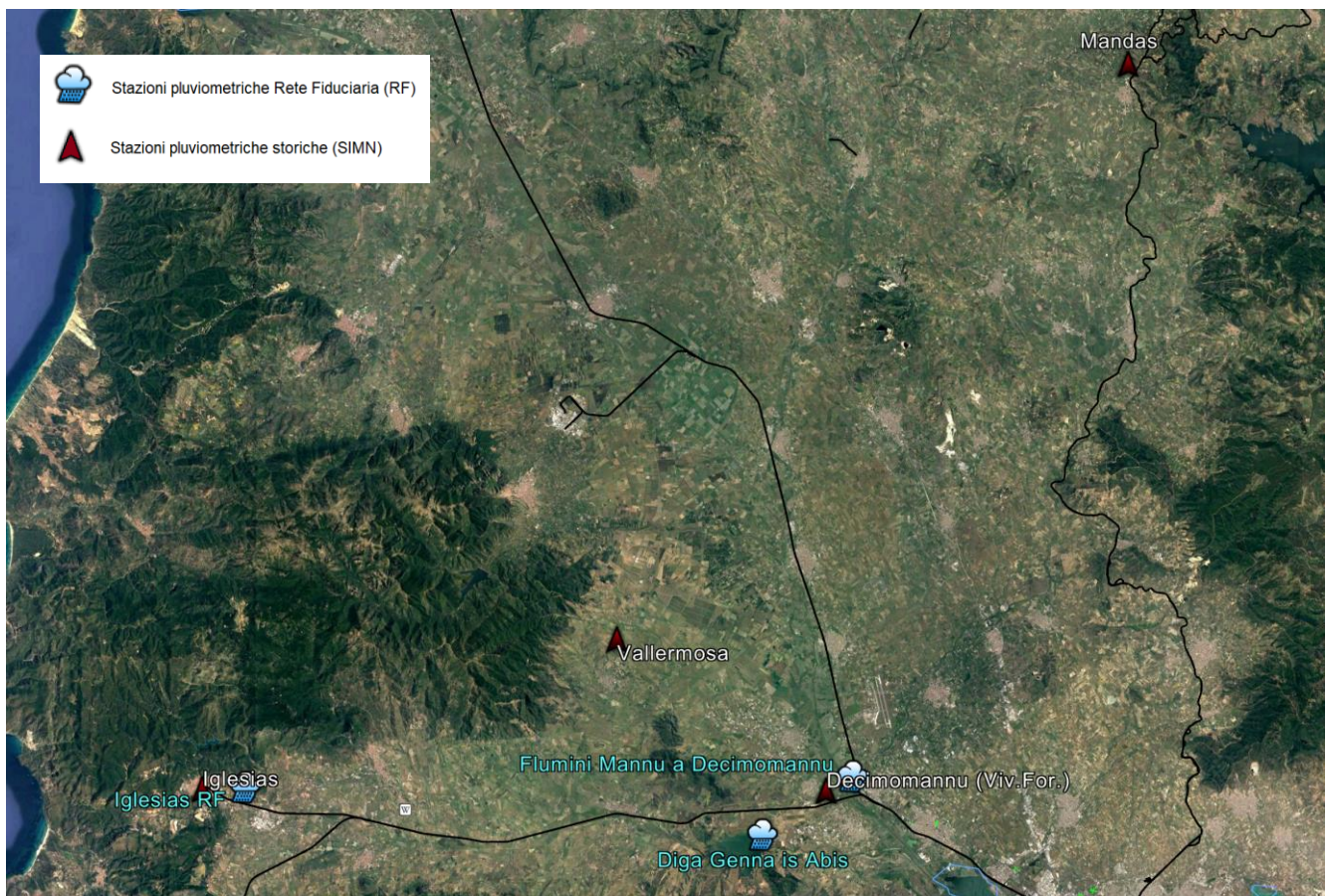
ARPAS – Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Sardegna
Direzione Generale – Servizio Supporti direzionali, Via Contivecchi 7 – 09122 Cagliari - tel. +39 070/271681 - fax +39 070 271402
info@arpa.sardegna.it - arpas@pec.arpas.sardegna.it
Sede legale: via Contivecchi 7 - 09122 Cagliari - Codice Fiscale 92137340920 - arpas@pec.arpas.sardegna.it
www.sardegnaambiente.it/arpas

ALLEGATO 2

Confronto critico tra modelli di regionalizzazione delle precipitazioni e analisi statistica dei dati di pioggia disponibili nell'area di studio.

In ragione di quanto descritto al paragrafo 3.2.1, è stato condotto un approfondimento circa le registrazioni pluviometriche disponibili nell'area di studio, comprendente l'intera tratta ferroviaria, *Decimomannu-Villamassargia*, oggetto di intervento di raddoppio.

ARPAS (AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE DELLA SARDEGNA), ente deputato alla raccolta e alla divulgazione delle registrazioni pluviometriche, ha fornito i dati di pioggia (per 1, 3, 6, 12, 24 ore) presso le stazioni di misura di *Flumini Mannu a Decimomannu*, *Diga Genna Is Abis*, *Iglesias RF* (rif. Allegato 1).



Per le medesime stazioni pluviometriche (i.e. *Flumini Mannu a Decimomannu*, *Diga Genna Is Abis*, *Iglesias RF*), oltre a tali dati (per 1, 3, 6, 12, 24 ore) sono stati recuperati presso gli *Annali Idrologici* anche i dati registrati per durate inferiori all'ora (per 10, 15, 30, 45 min).

Inoltre, sempre dagli *Annali Idrologici*, sono stati recuperati i dati di pioggia (per durate superiori e inferiori all'ora) presso le stazioni di misura "storiche" del SIMN, presenti nell'area di studio, in particolare "*Decimomannu (Vivaio Forestale)*" e "*Iglesias*", limitrofe alle stazioni di *Flumini Mannu a Decimomannu* e *Iglesias RF*, come mostrato nella figura precedente, nonché "*Vallermosa*" e "*Mandas*", ricadenti nel bacino del *Flumini Mannu*.

Sono quindi analizzati, tramite il metodo probabilistico di *Gumbel*, i dati di pioggia per durate superiori e inferiori all'ora, recuperati e disponibili presso le stazioni pluviometriche di riferimento suddette, riportati (per completezza) nel successivo Allegato 3.

Analisi delle precipitazioni per durate superiori all'ora

In tabella, sono riepilogate le caratteristiche (i.e. periodo di osservazione e numerosità campionaria) delle serie storiche dei dati di pioggia disponibili per durate superiori all'ora (i.e. 1, 3, 6, 12, 24 ore), presso le stazioni di misura di riferimento, considerati nell'analisi statistica.

Stazione pluviometrica	periodo osservazione	numero osservazioni	bacino
<i>Iglesias</i>	1935-1988	37	<i>Riu Cixerri</i>
<i>Iglesias RF</i>	2008-2022	15	<i>Riu Cixerri</i>
<i>FluminiMannu a Decim.</i>	2007-2022	16	<i>Flumini Mannu</i>
<i>Decimomannu (Viv.For.)</i>	1969-1988	15	<i>Flumini Mannu</i>
<i>Diga Genna Is Abis</i>	2006-2022	17	<i>Riu Cixerri</i>
<i>Mandas</i>	1952-2022	38	<i>Flumini Mannu</i>
<i>Vallermosa</i>	2010-2022	12	<i>Flumini Mannu</i>

Le informazioni riportate nella tabella precedente dimostrano quanto precedentemente dichiarato, ossia la mancanza di registrazioni pluviometriche nel ventennio 1989-2011; nello specifico, le stazioni di misura storiche del SIMN, alcune delle quali oggi non più funzionanti e sostituite dalle stazioni pluviometriche della rete fiduciaria ("*RF*"), dispongono di dati registrati fino all'anno 1988 (e.g. "*Iglesias*", "*Decimomannu (Viv.For.)*").

Le altre stazioni di misura (della rete fiduciaria) dispongono di registrazioni pluviometriche a partire dalla fine del primo decennio ovvero dal secondo decennio degli anni 2000, oppure comunque, con specifico riferimento alla stazione pluviometrica di *Mandas* (ex SIMN, inglobata nella rete fiduciaria), non dispongono di dati nel periodo 1989-2011 (numerosità campionaria pari a 38, a fronte di un periodo di osservazione di 70 anni circa, cfr. Allegato 3).

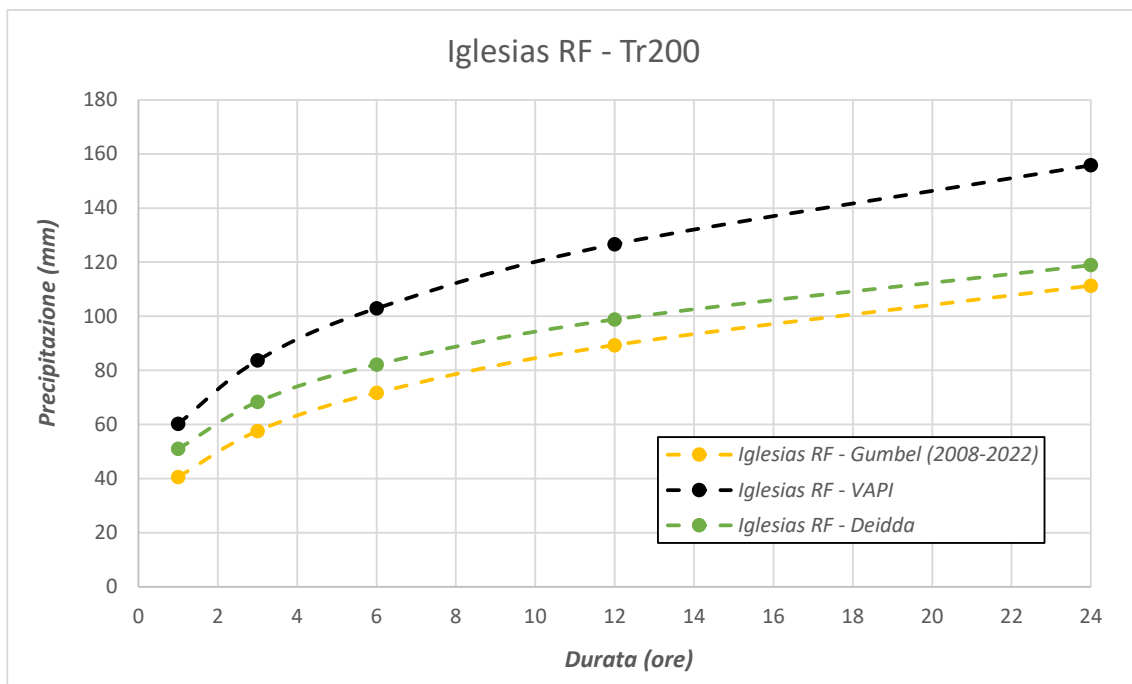
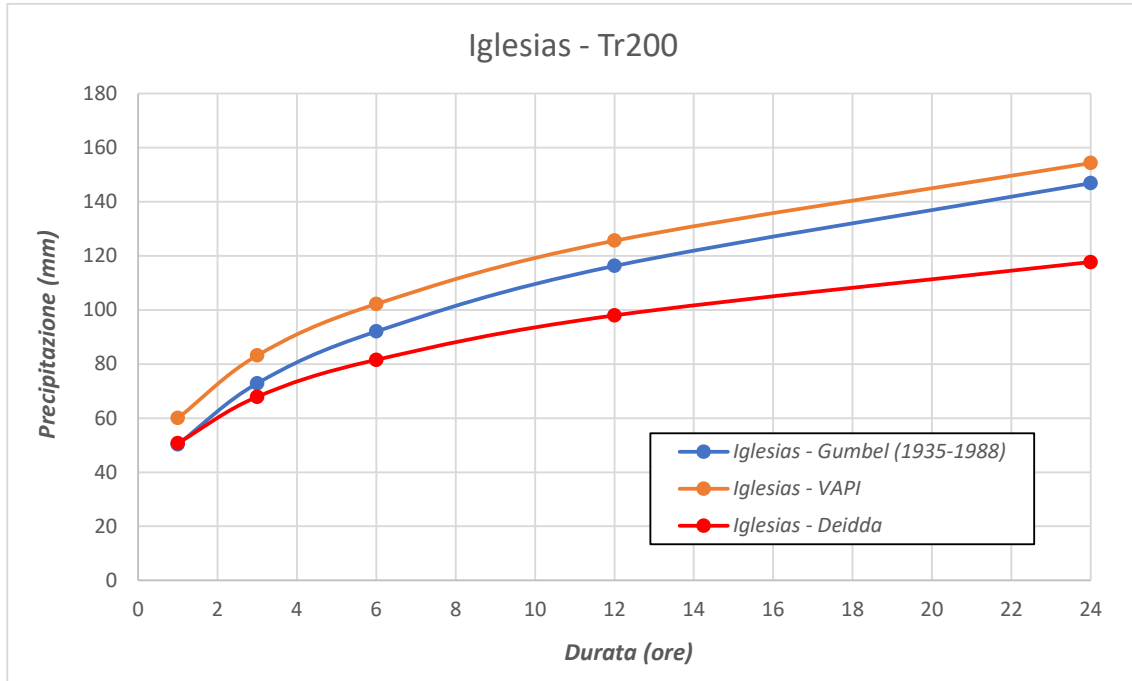
Di seguito, si riportano i valori dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica (per $Tr = 200$ anni) ottenute dall'elaborazione statistica secondo Gumbel (i.e. a , n), per ognuna delle stazioni pluviometriche prese in esame, unitamente ai rispettivi parametri dei modelli di regionalizzazione "VAPI-Regione Sardegna" e "Studio Deidda (2016)", estratti in corrispondenza delle stazioni di misura medesime (tali parametri sono evidentemente validi per durate superiori all'ora).

Stazione pluviometrica	Gumbel		VAPI Regione Sardegna						Studio Deidda (2016)				
	a_{200}	n_{200}	$m[hg]$ (mm)	SZO	a_2''	n_2''	a_0	n_0	m_D	k_D	σ^*_D	a_2	n_2
<i>Iglesias</i>	50.30	0.34	52.5	1	2.85	-0.03	21.04	0.33	50.22	0.12	0.26	50.7	0.27
<i>Iglesias RF</i>	40.59	0.32	53.0	1	2.85	-0.03	21.11	0.33	51.41	0.118	0.253	51.0	0.27
<i>FluminiMannu a Decim.</i>	90.85	0.24	50.0	2	2.93	-0.02	20.69	0.32	56.33	0.197	0.32	56.2	0.36
<i>Decimomannu (Viv.For.)</i>	58.44	0.26	50.0	2	2.93	-0.02	20.69	0.32	58.34	0.21	0.32	57.1	0.37
<i>Diga Genna Is Abis</i>	83.01	0.30	55.2	2	2.93	-0.02	21.40	0.34	62	0.233	0.32	58.6	0.40
<i>Mandas</i>	68.30	0.17	51.0	2	2.93	-0.02	20.83	0.32	48.1	0.09	0.28	50.5	0.25
<i>Vallermosa</i>	84.62	0.36	54.7	2	2.93	-0.02	21.34	0.33	58.5	0.24	0.314	56.8	0.39

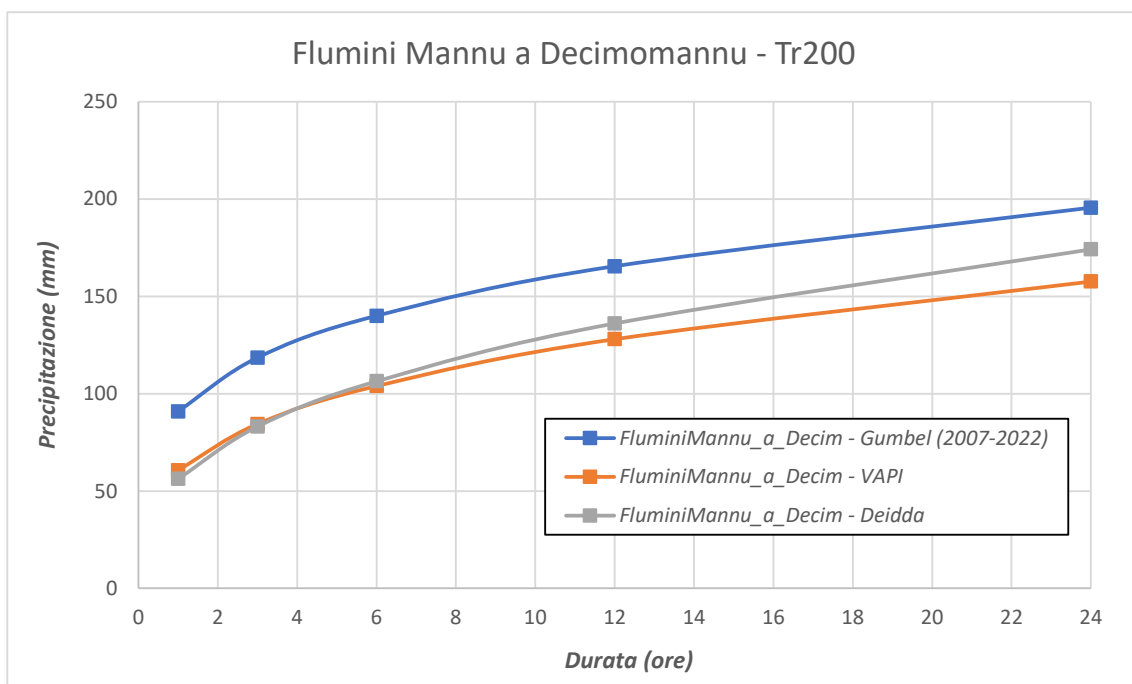
Nelle figure seguenti è riportato il confronto diretto tra le curve di possibilità pluviometrica ($Tr = 200$ anni) descritte dai parametri riportati nella tabella precedente, derivanti da differenti metodologie.

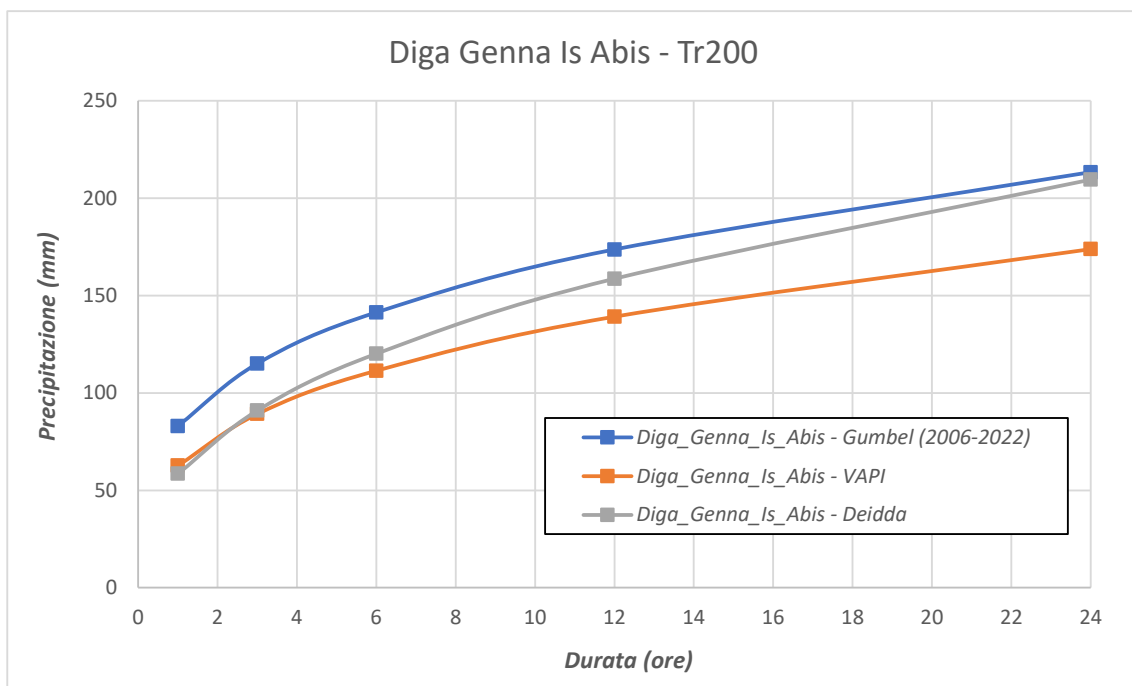
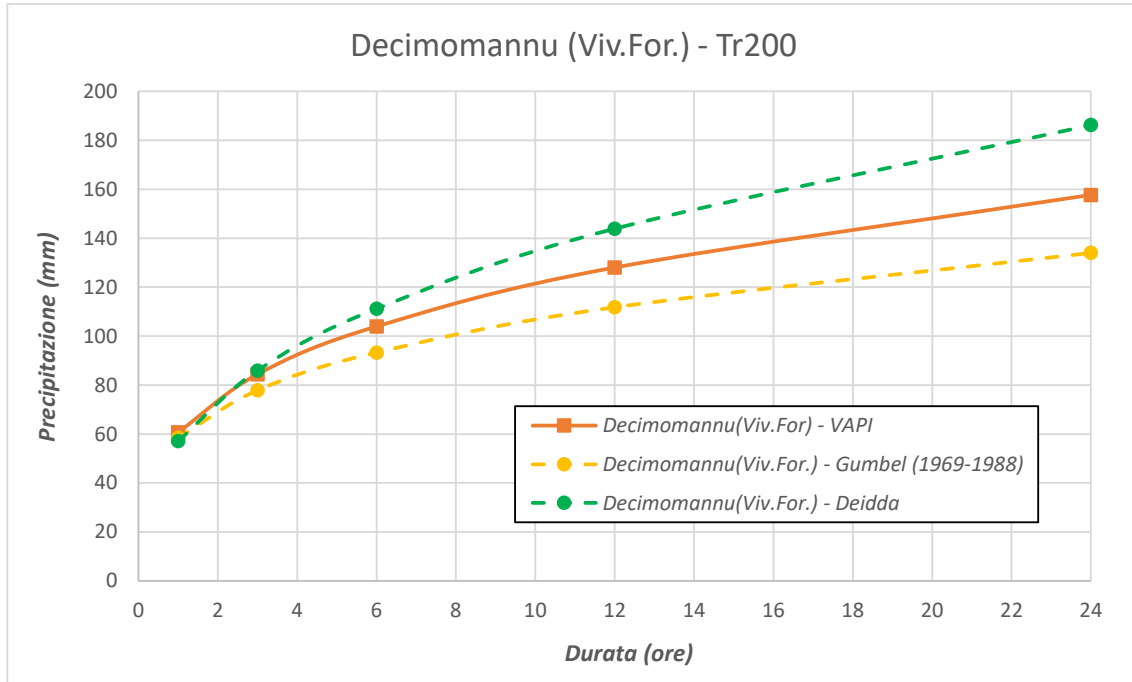
Nello specifico si osserva quanto segue.

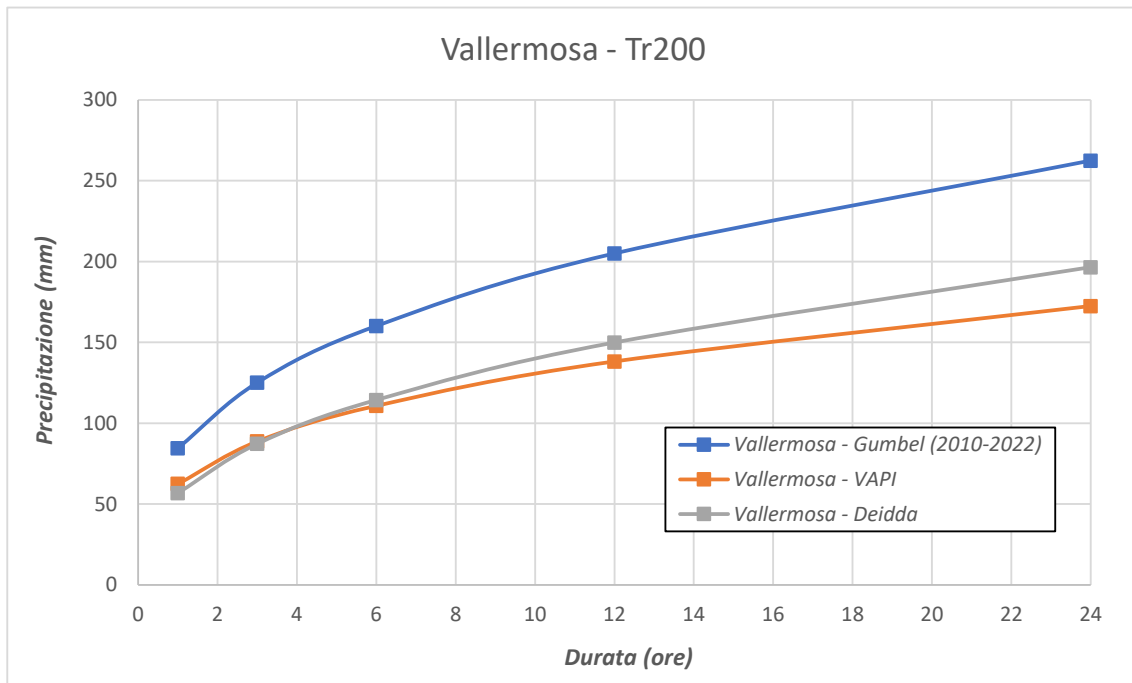
- Con riferimento alle stazioni di misura di "Iglesias" e "Iglesias RF", i modelli di regionalizzazione (i.e. VAPI per "Iglesias"; entrambi, VAPI e Studio Deidda, per "Iglesias RF") forniscono curve di possibilità pluviometrica più cautelative rispetto a quelle derivanti dall'analisi statistica (secondo Gumbel) delle registrazioni pluviometriche disponibili.



- Per quanto riguarda la stazione di misura di “*Flumini Mannu a Decimomannu*”, i modelli di regionalizzazione forniscono curve di possibilità pluviometrica meno cautelative rispetto a quelle derivanti dall’analisi statistica (secondo Gumbel) delle registrazioni pluviometriche disponibili.
- Relativamente alla stazione di misura di “*Decimomannu (Viv.For.)*”, i modelli di regionalizzazione forniscono curve di possibilità pluviometrica più cautelative rispetto a quelle derivanti dall’analisi statistica (secondo Gumbel) delle registrazioni pluviometriche disponibili.
- Con riferimento alla stazione di misura di “*Diga Genna Is Abis*”, i modelli di regionalizzazione forniscono curve di possibilità pluviometrica meno cautelative rispetto a quelle derivanti dall’analisi statistica (secondo Gumbel) delle registrazioni pluviometriche disponibili.
- Per quanto riguarda la stazione di misura di “*Mandas*”, i modelli di regionalizzazione (i.e. VAPI) forniscono curve di possibilità pluviometrica (per durate superiori all’ora) più cautelative rispetto a quelle derivanti dall’analisi statistica (secondo Gumbel) delle registrazioni pluviometriche disponibili.







 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DECIMOMANNU-VILLAMASSARGIA LOTTO 2 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RR0P	LOTTO 02 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

- Relativamente alla stazione di misura di “*Vallermosa*”, i modelli di regionalizzazione forniscono curve di possibilità pluviometrica meno cautelative rispetto a quelle derivanti dall’analisi statistica (secondo Gumbel) delle registrazioni pluviometriche disponibili.

Quanto sopra esposto dimostra come il confronto eseguito sia fortemente influenzato dalla mancanza di dati di pioggia nel periodo 1989-2011 nonché soprattutto dalla numerosità campionaria delle registrazioni pluviometriche comunque disponibili.

In particolare, come era da attendersi, rispetto all’analisi statistica di serie storiche comprendenti dati di pioggia registrati negli ultimi 15 anni soltanto (i.e. presso le stazioni di misura di “*Flumini Mannu a Decimomannu*”, “*Diga di Genna Is Abis*”, “*Vallermosa*”), i modelli di regionalizzazione forniscono valori di altezza di pioggia differenti e minori (ovvero maggiori con riferimento a “*Iglesias RF*”). Rispetto all’analisi statistica di serie storiche comprendenti dati di pioggia registrati nel periodo antecedente l’anno 1989 (i.e. presso “*Iglesias*” e “*Decimomannu (Viv.For.)*”), i modelli di regionalizzazione forniscono invece valori di altezza di pioggia maggiori. E forniscono valori di altezza di pioggia maggiori anche rispetto all’analisi statistica di serie storiche comprendenti dati di pioggia registrati nel periodo sia antecedente sia precedente gli anni 1989÷2011 (e.g. presso “*Mandas*”) che, sebbene affette da un numero non trascurabile di dati mancanti, sono comunque più rappresentative (in ragione anche di una numerosità campionaria maggiore) del regime pluviometrico che caratterizza l’area di studio.

Analisi delle precipitazioni per durate inferiori all’ora

In tabella, sono riepilogate le caratteristiche (i.e. periodo di osservazione e numerosità campionaria) delle serie storiche dei dati di pioggia disponibili per durate inferiori all’ora (i.e. 10, 15, 30, 45 min), presso le stazioni di misura di riferimento, considerati nell’analisi statistica.

Con riferimento alle stazioni di misura considerate nell’analisi precedente relativa alle precipitazioni per durate superiore all’ora, in questo caso, per le stazioni di “*Diga di Genna Is Abis*” e “*Vallermosa*” non sono disponibili dati pioggia per durate inferiori all’ora o comunque sono disponibili soltanto nel periodo 2020-2022. Pertanto, le due stazioni pluviometriche suddette non sono state prese in considerazione nelle analisi seguenti.

Stazione pluviometrica	periodo osservazione	numero osservazioni
<i>Iglesias</i>	1935-1986	30
<i>Iglesias RF</i>	2012-2022	11
<i>FluminiMannu a Decim.</i>	2012-2022	11
<i>Decimomannu (Viv.For.)</i>	1969-1988	15
<i>Mandas</i>	1952-2022	33

Come precedentemente osservato per i dati di pioggia per durate superiori all'ora, anche le serie storiche dei dati di pioggia per durate inferiori all'ora sono affette da un periodo (1989÷2011) di registrazioni pluviometriche mancanti (cfr. Allegato 3).

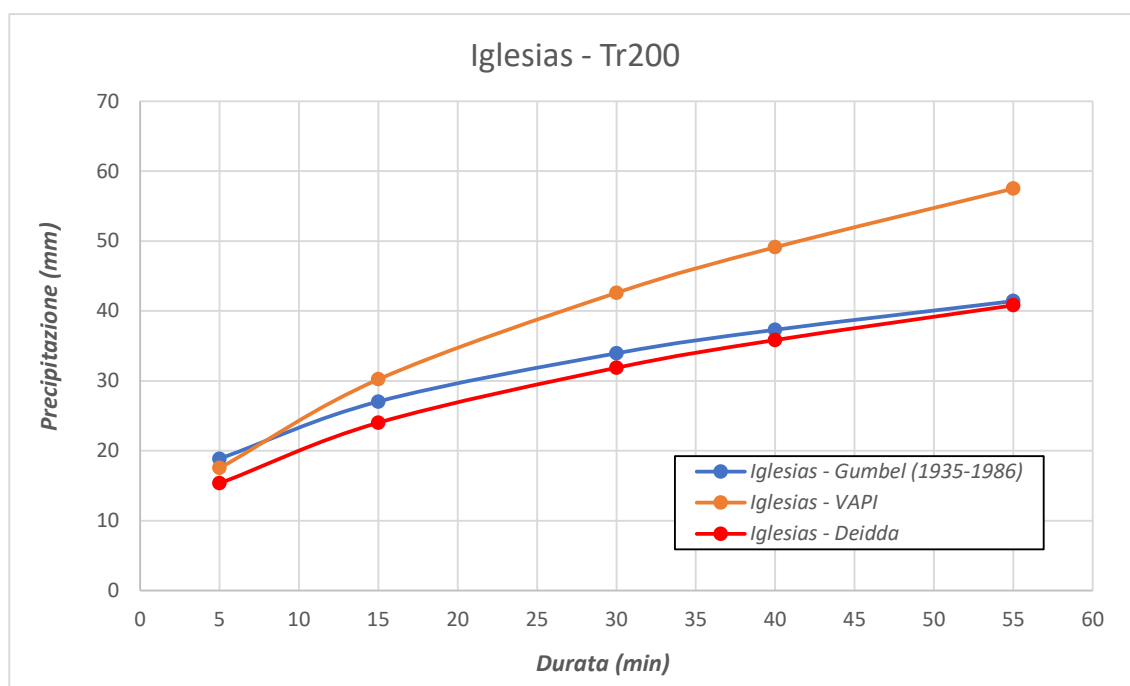
Procedendo in maniera analoga, di seguito si riportano i valori dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica (per $Tr = 200$ anni) ottenute dall'elaborazione statistica secondo Gumbel (i.e. a , n), per ognuna delle stazioni pluviometriche prese in esame, unitamente ai rispettivi parametri dei modelli di regionalizzazione "VAPI-Regione Sardegna" e "Studio Deidda (2016)", estratti in corrispondenza delle stazioni di misura medesime (tali parametri sono evidentemente validi per durate inferiori all'ora).

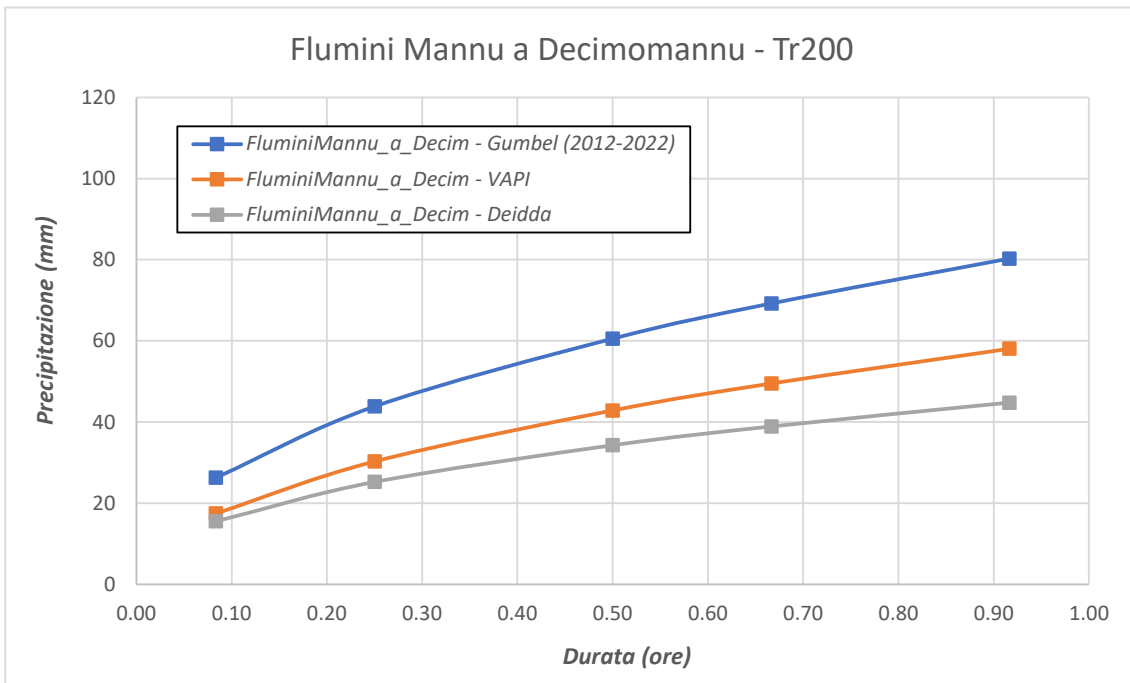
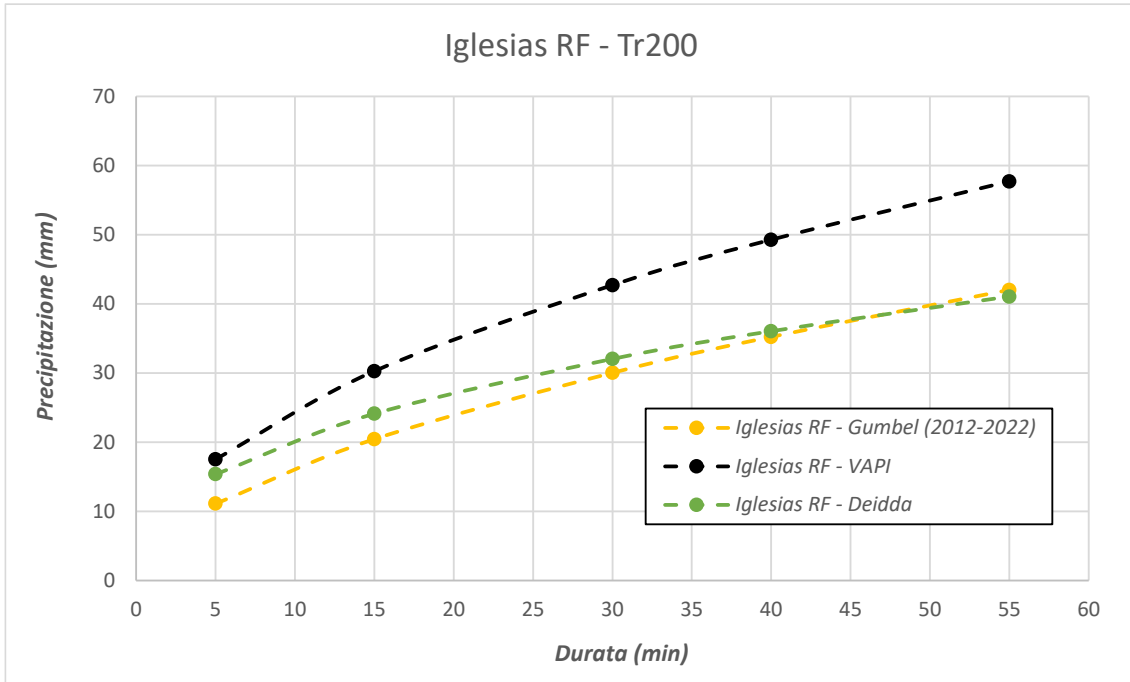
Stazione pluviometrica	Gumbel		VAPI Regione Sardegna						Studio Deidda (2016)				
	a_{200}	n_{200}	$m[hg]$ (mm)	SZO	a_2'	n_2'	a_0	n_0	m_D	k_D	σ^*_D	a_1	n_1
<i>Iglesias</i>	42.62	0.33	52.5	1	2.85	0.17	21.04	0.33	50.22	0.12	0.26	42.3	0.41
<i>Iglesias RF</i>	44.08	0.55	53.0	1	2.85	0.17	21.11	0.33	51.41	0.118	0.253	42.5	0.41
<i>FluminiMannu a Decim.</i>	83.59	0.47	50.0	2	2.93	0.19	20.69	0.32	56.33	0.197	0.32	46.5	0.44
<i>Decimomannu (Viv.For.)</i>	60.89	0.70	50.0	2	2.93	0.19	20.69	0.32	58.34	0.21	0.32	47.3	0.45
<i>Mandas</i>	70.34	0.54	51.0	2	2.93	0.19	20.83	0.32	48.1	0.09	0.28	42.0	0.41

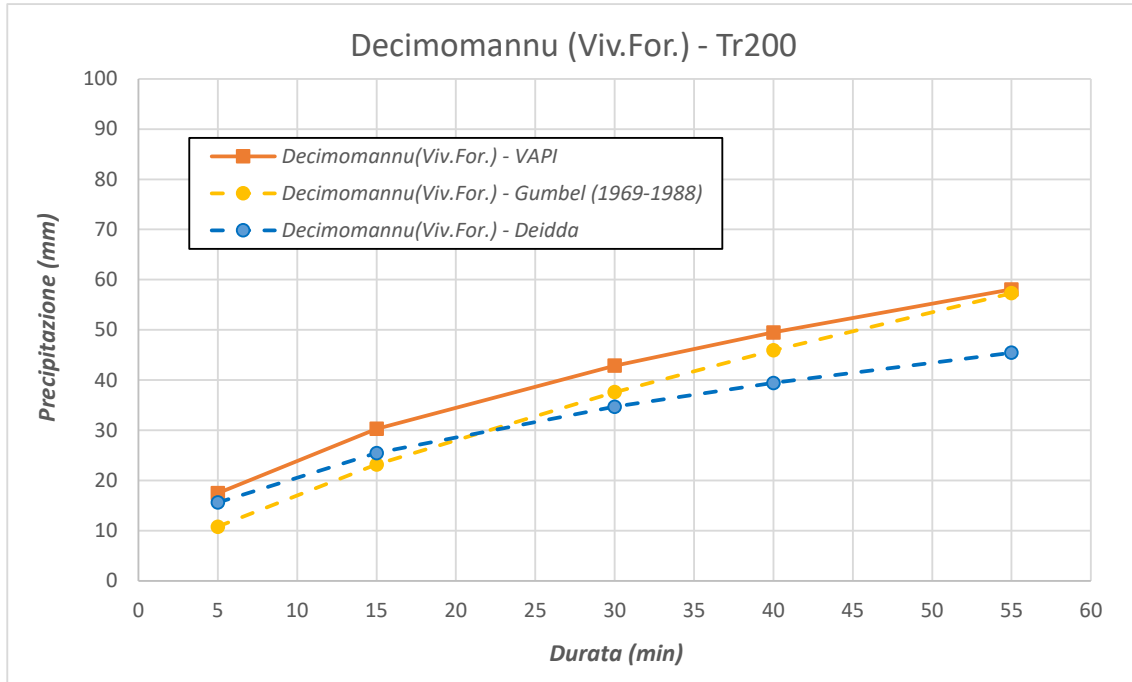
Nelle figure seguenti è riportato il confronto diretto tra le curve di possibilità pluviometrica ($Tr = 200$ anni) descritte dai parametri riportati nella tabella precedente, derivanti da differenti metodologie.

Nello specifico si osserva quanto segue.

- Con riferimento alle stazioni di misura di “Iglesias” e “Iglesias RF”, i modelli di regionalizzazione (i.e. VAPI per “Iglesias”; entrambi, VAPI e Studio Deidda, per “Iglesias RF”) forniscono curve di possibilità pluviometrica più cautelative rispetto a quelle derivanti dall’analisi statistica (secondo Gumbel) delle registrazioni pluviometriche disponibili.
- Per quanto riguarda la stazione di misura di “Flumini Mannu a Decimomannu”, i modelli di regionalizzazione forniscono curve di possibilità pluviometrica meno cautelative rispetto a quelle derivanti dall’analisi statistica (secondo Gumbel) delle registrazioni pluviometriche disponibili.
- Relativamente alla stazione di misura di “Decimomannu (Viv.For.)”, i modelli di regionalizzazione (i.e. VAPI-Regione Sardegna per tutte le durate; Studio Deidda soltanto per durate ≤ 20 min) forniscono curve di possibilità pluviometrica più cautelative rispetto a quelle derivanti dall’analisi statistica (secondo Gumbel) delle registrazioni pluviometriche disponibili.
- Per quanto riguarda la stazione di misura di “Mandas”, i modelli di regionalizzazione forniscono curve di possibilità pluviometrica meno cautelative rispetto a quelle derivanti dall’analisi statistica (secondo Gumbel) delle registrazioni pluviometriche disponibili (i.e. il modello di regionalizzazione “VAPI” appena meno cautelative, dell’ordine del -5% circa).







 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DECIMOMANNU-VILLAMASSARGIA LOTTO 2 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RR0P	LOTTO 02 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

Anche in questo caso, il confronto eseguito sopra illustrato risulta fortemente influenzato dalla mancanza di dati di pioggia nel periodo 1989-2011, nonché, soprattutto, dalla (scarsa) numerosità campionaria delle registrazioni pluviometriche comunque disponibili. Rispetto all'analisi statistica di serie storiche comprendenti dati di pioggia registrati negli ultimi 11 anni soltanto (e.g. "Flumini Mannu a Decimomannu"), i modelli di regionalizzazione forniscono valori di altezza di pioggia differenti e minori (ovvero maggiori con riferimento a "Iglesias RF"). Rispetto all'analisi statistica di serie storiche comprendenti dati di pioggia registrati nel periodo antecedente l'anno 1989 (i.e. presso "Iglesias" e "Decimomannu (Viv.For.)"), i modelli di regionalizzazione forniscono invece valori di altezza di pioggia maggiori. E forniscono valori di altezza di pioggia comparabili/paragonabili (i.e. VAPI) a quelli derivanti dalle curve di possibilità pluviometrica ricavate dall'analisi statistica di serie storiche comprendenti dati di pioggia registrati nel periodo sia antecedente sia precedente gli anni 1989÷2011 (e.g. presso "Mandas"), caratterizzate da una maggiore numerosità campionaria.

Considerazioni conclusive

In conclusione, i confronti sopra illustrati dimostrano che, per durate sia superiori sia inferiori all'ora, i modelli di regionalizzazione (i.e. VAPI e Studio Deidda) forniscono curve di possibilità pluviometrica: **a)** più cautelative rispetto all'analisi statistica di serie storiche di dati di pioggia registrati nel periodo antecedente l'anno 1989; **b)** meno cautelative rispetto all'analisi statistica di serie storiche di dati di pioggia registrati negli ultimi 11-15 anni soltanto; **c)** più cautelative ovvero comparabili rispetto all'analisi statistica di serie storiche di dati di pioggia registrati nel periodo sia antecedente sia precedente gli anni 1989÷2011, più rappresentative (in ragione anche di una numerosità campionaria maggiore) del regime pluviometrico che caratterizza l'area di studio, sebbene affette comunque da un numero non trascurabile di dati mancanti. Pertanto, in ragione di tali risultati, si ritiene ragionevole applicare i modelli di regionalizzazione adottati (comunque metodologie ormai consolidate e già applicate anche a livello di pianificazione di bacino), soprattutto per l'estrapolazione di curve di possibilità pluviometrica associate a tempi di ritorno di 100 (e.g. per il drenaggio di piattaforma) e 200 (e.g. per gli attraversamenti fluviali) anni, per i quali nel caso di derivazione da analisi statistica è necessario disporre di serie storiche di dati di pioggia consistenti, con elevata numerosità campionaria, non disponibili per l'area di studio, in particolare con riferimento alla maggior parte delle stazioni pluviometriche della rete fiduciaria attualmente funzionanti, caratterizzate da un numero di osservazioni inferiore a 20.

ALLEGATO 3

Flumini Mannu a Decimomannu

(precipitazioni massime per durate superiori all'ora)

Anno \ ore	1	3	6	12	24
2007	9.8	20.4	35.4	37.2	38
2008	38	60.2	63.6	65.2	65.2
2009	30.4	30.4	30.4	35	47.4
2010	70.4	76.6	82	82	82.2
2011	24.8	36.4	37.8	46.8	47.4
2012	12	20.4	28	33	51.2
2013	20.8	36	36.6	36.6	44.2
2014	25.8	33.4	37.6	37.8	41
2015	31.6	56	56.2	57	79.8
2016	28.4	38.2	38.8	51	53.6
2017	6	9.2	13.8	16	20.8
2018	45.8	92.2	130	134.8	193.6
2019	20.4	30.2	30.8	30.8	42.2
2020	25.8	26	29.2	31	39.2
2021	11.8	19.8	32.6	40.6	43.4
2022	49	49	49	49	57.4

(precipitazioni massime per durate inferiori all'ora)

Anno \ min	15	30	45
2012	7.4	8.6	10.2
2013	14.4	18	19.4
2014	11.8	14.6	20.2
2015	11.6	19.4	26.4
2016	17.6	25.2	28
2017	4.2	4.6	5
2018	25.6	32.4	40.4
2019	15.2	17	19
2020	19.6	20.8	25.2
2021	9.4	10.2	11.4
2022	29.4	47.2	49

Diga Genna Is Abis

(precipitazioni massime per durate superiori all'ora)

Anno \ ore	1	3	6	12	24
2006	26.6	67.6	83.6	84	89.8
2007	11.8	25.6	39.4	42.2	43.4
2008	22.6	31.2	35.6	36.2	36.6
2009	42.8	63.6	76.4	122	162.4
2010	19.4	36.4	40.4	41.4	46.4
2011	22.6	26.8	26.8	31.4	33
2012	12.2	19.6	26.8	31	47.6
2013	27	30	30	33.8	44.6
2014	24.6	43.6	48.8	49	53
2015	21.4	26.8	33.6	50.6	59.6
2016	38.2	41.4	41.4	41.4	46.8
2017	14	21.6	28.8	31	32
2018	85.6	97.4	103.8	111.6	218.8
2019	26.2	33	33.8	33.8	44
2020	29.6	40.4	54.8	62.2	68.4
2021	22	28.6	34.4	37.6	40.2
2022	32.6	32.6	32.6	35	36.8

Iglesias RF

(precipitazioni massime per durate superiori all'ora)

Anno \ ore	1	3	6	12	24
2008	16.8	18.6	19.6	27.6	30
2009	27.4	28	29.2	37.4	48.2
2010	11.4	22.6	41.8	70.8	90
2011	20.4	36	44.2	61.8	77
2012	22.4	26	29.8	36.2	54.6
2013	19	24.6	29.6	35.8	52.2
2014	26.4	51.2	57.2	64.8	72
2015	17.6	22.6	31.6	42.4	57.6
2016	20.6	20.6	29.6	40.4	49.4
2017	20	26	34.2	42.8	55.2
2018	29.6	39.4	40.6	45.2	67

Anno \ ore	1	3	6	12	24
2019	15.6	24.6	31.2	35.6	52.4
2020	13	25.2	31.8	43.8	59.8
2021	27.6	30.8	42.6	48.8	48.8
2022	23	29	36.4	54	71

(precipitazioni massime per durate inferiori all'ora)

Anno \ min	15	30	45
2012	15.4	18.2	21.6
2013	12.2	15.4	17.6
2014	12	22.6	22.6
2015	9.8	12.8	15.8
2016	13	17	20.6
2017	12.8	17.8	19.2
2018	14	21	26.8
2019	12.4	15	15.6
2020	9	12	12.8
2021	14.2	22.6	27
2022	15.4	19.2	22.6

Iglesias

(precipitazioni massime per durate superiori all'ora)

Anno \ ore	1	3	6	12	24
1935	23	27.6	33	47.4	51
1936	21	22	26	34.8	49.5
1937	15.2	28	36	41.4	76.4
1938	20.6	27.5	36	40	56
1941	15.1	37	48.5	53.1	79.5
1942	21	58	101	133.8	135.5
1944	18.5	30	37.5	41.4	48.9
1951	21.6	31	40.4	65.4	115.4
1952	18.4	22	28	33.2	35
1953	21.2	21.4	27.6	32.6	58.4
1954	11.5	11.5	14.7	31.7	47.8
1955	37.4	49	80	80	80

Anno \ ore	1	3	6	12	24
1957	18	25.2	25.8	29.6	45.6
1958	13.4	24.2	27	32.6	38.6
1959	39.4	41.8	42.2	54	65.6
1960	14.6	22	40.8	54.2	82
1961	25.8	32.2	39.8	60.4	73.2
1962	27	43.6	47.4	47.6	47.6
1964	47	48.6	48.6	66.2	68.2
1965	24.6	34.6	45	61.4	62.4
1966	18.2	23	35.4	40.6	64.8
1968	14.6	22.4	38.8	54	75
1969	26.8	37.2	38	46.8	47.6
1970	27	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	30.8	30.8	30.8	44
1977	30	51	51.4	63.2	63.2
1978	13	23	38	63	71
1979	11	17	23.4	32.4	38.4
1980	14	30	40.6	50.4	52.4
1981	17	29.6	46	63.4	88.6
1983	13	23	32.6	33.4	41.8
1986	26.8	35.6	35.8	35.8	37.4
1987	10	21	33	46	63.8
1988	13.4	24.4	26.4	28.4	52.8

(precipitazioni massime per durate inferiori all'ora)

Anno \ min	10	15	20	30
1935	9			
1936	7.6			
1937	8.6			
1938	12.7		15.4	
1939	11			
1940	20.8			
1941	11			13
1942				13
1951	13.2			

Anno\min	10	15	20	30
1952	8			
1953	15		21.2	
1954	10.4			
1955		13	14.2	
1957		10.8		
1958	8.8	5.2		
1959	6.2			21.4
1960	6.2			11
1961	10.4		18	
1962		12.8	14.6	23
1963				
1964	17			38
1965		13	18	20
1966	8.4	8	16.4	17.4
1968	9.6	10		11
1969	10	16	18.4	19
1970	10	16		20
1972	8	10		12.4
1974	7	8.4		10.4
1975	10	12.6		13.2
1976	15	20		27
1977	12	15		20
1978	8	9		10
1979	6	6.8		10
1980	9	11		13
1981	7	10		12
1983	10	12		14
1986		12		15

Decimomannu (Viv.For.)

(precipitazioni massime per durate superiori all'ora)

Anno\ore	1	3	6	12	24
1969	28	33	35.4	36.2	38.8
1970	10.4	12.6	15.2	15.4	19.8
1971	36	42.2	43	43	43.2
1972	11.8	18.2	33	49.4	56.4
1973	9	10.8	18.6	22.4	28.4
1974	20	43	50.2	66.8	77
1975	22	22.2	20.8	38	49
1976	38	49	51	65.4	75.4
1977	15.6	20	20.8	27.4	39
1978	24	29	36.8	62.2	62.2
1980	11.4	17.4	22.8	29.8	33.2
1981	10.8	10.8	15	22.4	30.2
1982	23	34.6	49.6	51.4	58.2
1987	24	56	68	80.8	80.8
1988	23	44	57	66.4	67.6

(precipitazioni massime per durate inferiori all'ora)

Anno\min	10	15	30
1969	11	13	20
1970		4.4	6
1971	6	12	21
1972	4	7	7.6
1973	9	9	9
1974	8	9	10
1975	8	11.6	13.6
1976	12	20	29.6
1977	9	11	14.4
1978	9	12	14
1980	4	6	7
1981	7	8	9.2
1982	9	10	16
1987		14	16
1988		11	14

Mandas

(precipitazioni massime per durate superiori all'ora)

Anno\ore	1	3	6	12	24
1952	19.2	19.8	23.8	27.4	27.4
1954	25	32.6	32.6	32.6	32.6
1955	24.4	24.4	31.8	45.4	51.2
1956	17.2	22	33.6	41.2	47.2
1957	14.8	23.6	29.4	36.8	56.8
1958	15.6	26.4	38.6	43.4	44.2
1959	22.2	32.2	53.2	61	64.6
1960	25.2	25.2	25.2	35	39.2
1961	14.8	27.8	39	65.8	116.2
1963	42.2	54.2	54.2	54.6	54.6
1964	30.6	32.2	32.2	37.4	47.2
1965	18.2	20.6	22.6	30.2	36.2
1966	26.2	28.2	31.4	38.4	41.4
1967	28.6	36.8	36.8	49.2	51.8
1968	26.8	35.8	47	59.4	71.8
1969	33.6	52.4	55.6	55.6	55.6
1970	13.8	15.2	19	25.4	29
1971	36	43.8	43.8	43.8	43.8
1974	29.4	31.2	31.2	48	60
1975	20.2	20.5	20.5	38.4	51
1977	31	32.2	32.2	37	54.6
1979	15.4	27.6	33.8	37	40.2
1981	13	16.8	22.8	27.4	33.2
1984	18	38.4	42.6	44	46.4
1985	21.8	23.2	40.2	63.2	96
1987	16.2	16.6	20	34.4	44
2010	58.4	78.6	80.4	86	86
2012	20	21.4	23.6	32	42
2013	21.80	25.80	32.60	32.60	37.00
2014	38.6	62.20	70.2	71.6	71.60
2015	19.60	31.4	42.6	56.4	64.4
2016	20.4	22.4	26	33	50.2
2017	15	17.2	26.6	34.4	51.8
2018	32.4	35.4	35.4	47.2	74.2

Anno\ore	1	3	6	12	24
2019	24.8	26.2	30.2	45	48
2020	67	70.6	71.8	73.2	82.4
2021	11.6	19.2	25.6	35.8	41.6
2022	25.8	34.4	42.6	44.2	44.8

(precipitazioni massime per durate inferiori all'ora)

Anno\min	10	15	30	45
1952	14			
1954		9.7	7.2	
1955	14			19.2
1956	7.6			
1957				
1958		11.6		
1959	5.5		15	
1960	15.2			
1961	10.8		11	
1962		7	20.2	
1963	24.6	22.4	51.8	
1964	17.6	20	27.6	
1965	8.2		15.6	
1966		10	20	
1967	10	15	25	
1968	15	17		
1969	10	14	18	25.2
1970	7.8	10.2	11	
1971	10.6	12.8	15	
1973	13.2	13.6	14.4	
1974	14	18	20.2	
1975	10	12	15	
1977	12	15	24	
1979	8	10	11	
1981	9	11	12.6	
1982	8	9	10.4	
1984	12	15	21.6	
1985		13.2	16	19.8
1987		9	13.4	14
2012		14.8	18.2	19.4

Anno\min	10	15	30	45
2013		11.6	19.2	21.4
2014		14.8	22.2	29.2
2015		12	12	16.4
2016		12	15.2	17.2
2017		12.4	14.6	15
2018		14.6	25.6	29.8
2019		19.6	21.6	23.4
2020		28	43	60.6
2021		5.8	7.6	10.2
2022		17.8	22.4	24.2

Vallermosa

(precipitazioni massime per durate superiori all'ora)

Anno\ore	1	3	6	12	24
2010	46.8	64	79.6	80.6	80.6
2012	40.8	48.2	48.4	48.4	48.4
2013	64.00	95.20	135.20	183.20	189.40
2014	27.6	34.8	38	42	46
2015	33.8	34.4	36.2	46.6	63.8
2016	19	26	34.4	51	57.6
2017	16.2	19	19	26.4	44.6
2018	28.8	35.4	41	51.2	91
2019	14.8	24.6	25.8	26.2	34.8
2020	29.4	52.4	70.4	85	141.8
2021	22	24.6	37.6	37.6	37.8
2022	16.8	25.2	28.4	39.2	45.6