

Consiglio Nazionale delle Ricerche  
Istituto di Matematica Applicata e Tecnologie Informatiche – Milano  
via E. Bassini 15, 20133 Milano

ISSN 1722–8964

ANALISI DELLA PIOVOSITÀ IN OGLIASTRA  
(SARDEGNA, ITALIA) NEL PERIODO 1951-1999

A. Bodini

Q. A. Cossu

2008 - IMATI MI/4

2008

# Analisi della piovosità in Ogliastra (Sardegna, Italia) nel periodo 1951–1999.

A. BODINI<sup>a</sup>, Q.A. COSSU<sup>b, a</sup>

<sup>a</sup>*CNR-Istituto di Matematica Applicata e Tecnologie Informatiche, Milano*

<sup>b</sup>*Servizio Agrometeorologico Regionale, Sassari*

## Sommario

Scopo di questo lavoro è presentare un'analisi organica, seppure di base, dei dati di pioggia giornaliera provenienti da 21 stazioni pluviometriche localizzate in Ogliastra, la regione della costa centro-orientale della Sardegna che più di ogni altra zona nell'isola è soggetta a fenomeni molto intensi. Oltre a diversi riassunti dei dati, si presenta una prima indagine, basata sui dati osservazionali, sull'eventuale presenza di *trend* nel fenomeno della piovosità, con particolare attenzione agli eventi estremi. Verranno per questo analizzati, col test della regressione lineare, diversi indici, per evidenziare quanti più possibili indizi del cambiamento climatico in corso o, viceversa, per mettere in luce la loro assenza. Parte di questi risultati è stata presentata al 10° Convegno Nazionale di Agrometeorologia (Capo Rizzuto, KR, maggio 2007) ed al Workshop *Cambiamenti climatici e dissesto idrogeologico: scenari futuri per un programma nazionale di adattamento* (Napoli, luglio 2007).

## 1. Introduzione

Gli studi relativi ai cambiamenti climatici cui tutto il pianeta è soggetto non hanno bisogno di essere giustificati: l'ultimo rapporto dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2007) ha con forza attirato sul problema non solo l'attenzione degli scienziati e degli

esperti del settore, ma soprattutto quella dei *media* e dell'opinione pubblica. Tuttavia, la complessità del problema è tale che studi sempre più approfonditi sono necessari per stabilire la portata di tali cambiamenti quando li si rapporti alla scala locale, soprattutto ai fini dell'individuazione di strumenti di mitigazione, nel caso degli eventi estremi di pioggia, o di strategie per la gestione dell'acqua, nel caso di aree a rischio di siccità. Nel caso delle precipitazioni, inoltre, l'esistenza di tendenze<sup>1</sup> significative è molto meno inequivocabile di quanto non lo sia nel caso delle temperature. In Europa, una netta maggioranza delle stazioni mostra un *trend* crescente nel numero dei giorni piovosi ( $\geq 1$  mm) con precipitazione moderata ( $> 75$ -mo percentile) o molto intensa ( $> 95$ -mo percentile) durante la seconda metà del Ventesimo secolo (Trenberth *et al.*, 2007). Nell'area mediterranea in particolare, la precipitazione annua ha un *trend* negativo nelle regioni orientali, ma non significativo nelle regioni occidentali (Norrant e Douguédroit, 2006). Inoltre, Kostopoulou e Jones (2005) indicano *trend* contrastanti negli eventi di pioggia molto intensa occorrenti in Italia, dove sembrano aumentare, e nei Balcani, dove paiono diminuire. L'Italia stessa, al suo interno, sembra sottostare a tale variabilità di risultati: in particolare, uno studio condotto sul periodo 1951-1996 e basato su 67 stazioni meteorologiche dislocate sull'intero territorio nazionale, ha messo in luce come le zone peninsulari mostrino tendenze opposte a quelle delle zone insulari dove, nel periodo autunno-invernale, le piovosità risultano in leggera diminuzione (Brunetti *et al.*, 2001).

Per quanto riguarda la Sardegna, la letteratura fornisce diversi riferimenti sui regimi di piovosità e temperatura. In Serra e Sollai (1990), per esempio, viene presentata, assieme ad un'ampia rassegna degli studi precedenti, un'analisi della piovosità sull'isola, considerando anche l'orografia e la geomorfologia del territorio. In Benzi *et al.* (1997) dati di precipitazione e di temperatura per il periodo 1951-1992 vengono sottoposti ad analisi in componenti principali e ad analisi dello spettro principale. Per quanto riguarda la precipitazione, vengono messi in luce tre distinti regimi climatici associati a 3 diversi *pattern* spaziali. Analoghi risultati sono riportati in Chessa *et al.* (1999), dove tre *pattern* spaziali ricorrenti vengono posti in relazione con diversi tipi di circolazione sinottica tramite metodi di *cluster analysis* su dati giornalieri, per il periodo 1951-1980. In Delitala *et al.* (2000) le variazioni delle precipitazioni nel periodo 1946-1993 vengono messe in connessione con le principali variabili climatiche di larga scala. Sul piano dell'analisi dei *trend* temporali, invece, la letteratura sembra essere meno estesa e più frammentata. Una breve ricerca bibliografica senza nessuna pretesa di esaustività ha evidenziato alcuni lavori a scala paleoclimatica (Antonioli *et al.*,

---

<sup>1</sup>In questo lavoro, *trend*, tendenza e segnale saranno usati come sinonimi.

2003; Montagna *et al.*, 2004) e diversi lavori nell'ambito degli effetti del cambiamento climatico in agricoltura, principalmente facenti riferimento a ricerche svolte presso l'Istituto di Biometeorologia del CNR o presso lo stesso Servizio Agrometeorologico Regionale (S.A.R.) per la Sardegna (si veda, per es., Duce *et al.*, 2006). Tali ricerche, tuttavia, si basano prevalentemente sulle proiezioni climatiche dell'IPCC a scala globale, e non su ricerche mirate. I lavori facenti capo a Brunetti e co-autori che analizzano la variabilità climatica dell'Italia intera, infine, si basano, per la Sardegna, su tre stazioni soltanto (Cagliari, Sassari e Capo Bellavista) e, pertanto, necessano di essere approfonditi. Uno studio condotto su 4 stazioni appartenenti all'area che verrà qui considerata e riferito al periodo settembre-gennaio degli anni 1961-1990, ha portato ad ipotizzare, sulla base dei risultati ottenuti modellizzando il fenomeno della pioggia giornaliera tramite un *hidden Markov model*, l'esistenza di un andamento crescente nel numero di giorni con pioggia trascurabile, ma una frequenza costante nel ricorrere di eventi intensi e/o estremi, (Betrò *et al.*, 2008). L'analisi che si presenta ha inteso avviare un approfondimento di questi aspetti e rientra in un progetto più ampio di caratterizzazione del cambiamento climatico in questa area e, in futuro, in tutta l'isola.

Nella Sezione 2 verranno descritte le caratteristiche principali del territorio, dal punto di vista dell'orografia, della geomorfologia e dell'utilizzo. L'inquadramento più dettagliato delle stazioni in studio dal punto di vista idrografico e della climatologia generale verrà descritto nella Sezione 3. Le Sezioni 4 e 5 presenteranno i dati ed i risultati dell'analisi descrittiva, mentre l'analisi dei *trend* verrà illustrata nella Sezione 6 e discussa nella Sezione 7.

## 2. Il territorio

Il territorio in esame comprende gran parte della Provincia di Ogliastra (Figura 1), situata nella zona centro-orientale della Sardegna e confinante a nord-ovest con la Provincia di Nuoro e a sud-ovest con la Provincia di Cagliari. La provincia comprende 23 comuni, 58.389 abitanti (ultimo censimento, 2001) e si estende per 1.854 chilometri quadrati.

Il suo territorio è rappresentato da una piccola parte pianeggiante costiera che va a salire quasi vertiginosamente di quota culminando nel monte Gennargentu, alto 1834 metri. In alcuni tratti costieri le ripide montagne sprofondano direttamente sul mare, creando suggestivi paesaggi (Figura 2(a)).

Il nord del territorio, ricadente nei comuni di Urzulei e Baunei, è costituito da un massiccio carbonatico del Paleozoico e del Mesozoico. Il suolo presenta forme aspre ed accidentate, pietrosità elevate, scarsa profondità e forte pericolo di erosione. Viene per lo più sfruttato per

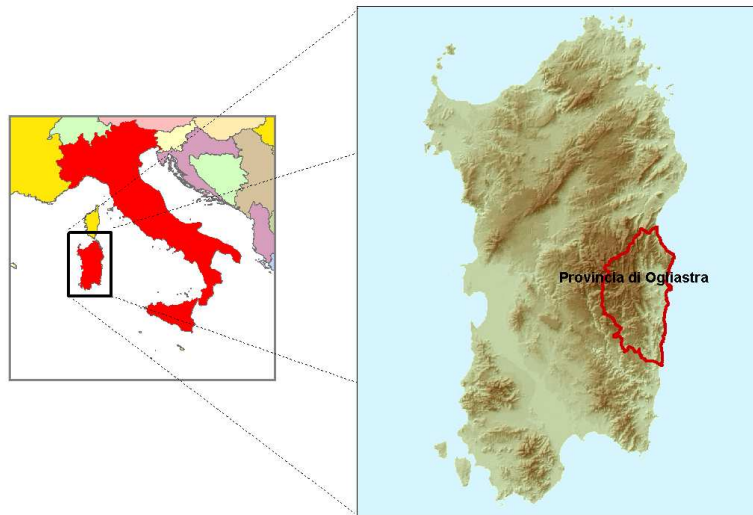
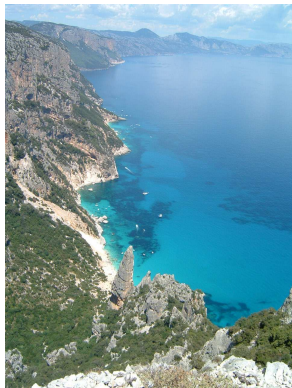


Figura 1: Provincia di Ogliastra, Sardegna.

il pascolo caprino e suino, e per tutti questi motivi non presenta alcun interesse economico, mentre notevoli risultano essere quello ambientale e quello scientifico–naturalistico, anche per la presenza di specie vegetali endemiche. La parte pianeggiante costiera è costituita da rocce intrusive (graniti). I suoli presentano in genere poca profondità, un eccesso di scheletro e un forte pericolo di erosione, ma nei tratti morfologicamente più favorevoli viene adottata un’agricoltura adatta all’ambiente (vite, olivo, agrumi, colture ortive). Ancora più a sud il territorio si fa collinare, è costituito da metamorfiti (scisti) e presenta le stesse caratteristiche del tratto pianeggiante. Ad aggravare la situazione di degrado del suolo vi è la forte presenza di numerosi allevamenti ovini, cui consegue il diffondersi degli incendi e, quindi, dei fenomeni erosivi e di trasporto del suolo, sino alla sua totale scomparsa. Salendo verso il Gennargentu continuano a essere presenti metamorfiti (scisti) con un suolo sempre degradato, di scarsa fertilità ed a forte pericolo di erosione, anche a causa dell’elevata pendenza dei versanti, spesso superiore al 40%. Soprattutto nel periodo estivo-primaverile, la zona è importante per il pascolo, che andrebbe però razionalizzato con un più corretto carico di peso vivo, proporzionale alla produttività del pascolo stesso. Per la presenza di aree altamente degradate, come quelle prospicienti la stazione di Genna Silana (Figura 2(b)), caratterizzate da ingenti perdite di materiale sedimentario e da evidenti fenomeni di erosione, nonchè per tutte le caratteristiche qui elencate sia del suolo che del suo utilizzo, quasi tutto il territorio è da considerarsi a ri-



(a) Scorcio della costa Nord dell'Ogliastra:  
Golfo di Orosei da P. Salinas (Baunei)



(b) Pietraie a Genna Silana (Urzulei)

Figura 2: L'Ogliastra, dettagli.

schio di desertificazione, intendendo con ciò che qualsiasi alterazione degli equilibri tra risorse ambientali e attività umane potrebbe portare alla progressiva desertificazione del territorio (Motroni *et al.*, 2005). Il fattore climatico fornisce certamente un importante contributo al fenomeno: il prolungarsi delle condizioni di siccità, per esempio, può portare alla riduzione della copertura vegetale e, quindi, a successivi fenomeni di erosione.

### 3. Area di studio

Sono state considerate stazioni della rete storica del Servizio Idrografico Nazionale che ricadono nella provincia di Ogliastra ed anche stazioni limitrofe che ricadono nella provincia di Nuoro, per un completo inquadramento del territorio (Figura 3). L'elenco delle stazioni con informazioni geografiche più dettagliate è presentato in Tabella 1.

#### 3.1 Il territorio

Il territorio in esame è suddiviso in tre bacini idrografici (Figura 3). A nord troviamo il bacino del Cedrino che comprende tutta la parte del Supramonte di Dorgali, di Oliena e di Orgosolo ed include le stazioni omonime nonché quelle di Noce Secca e Genna Silana, fino ad un limite geografico a sud individuabile nelle stazioni di Montes e Giustizieri. A sud-ovest è presente il bacino idrografico del Flumendosa. In esso ricadono le stazioni di Bau Mandara, Bau Mela, Bau Muggeris, Flumendosa e Gairo. A est è individuabile il terzo bacino idrografico, nominato "Minori tra Cedrino e Flumendosa" (brevemente, Minori), che

Tabella 1: Caratteristiche geografiche delle stazioni in studio.

	stazione	UTM Est	UTM Nord	Distanza dal mare (m)	Quota (m s.l.m.)	Penden- za(†)	Esposi- zione(°)	Esposizione, Est-Ovest
<i>MINORI</i>	Arzana	545220	4418935	13297	674	21.38	105.26	Est
	Baunei	556830	4431475	3287	480	18.56	225.00	Ovest
	Genna Scalas	551380	4437265	7776	666	42.14	324.66	Ovest
	Cala Gonone	554250	4459575	46	25	17.00	143.97	Est
	Genna Cresia	547430	4404065	9928	272	38.24	258.69	Ovest
	Jerzu	543880	4406265	13712	550	3.54	45.00	Est
	Lanusei	546040	4414695	12288	595	35.58	18.43	Est
	Sa Teula C.	546200	4423875	12407	251	14.28	113.20	Est
	Villagrande	543350	4423775	15527	679	23.35	74.48	Est
<i>CEDRINO</i>	Dorgali	550160	4460385	3972	387	11.86	288.43	Ovest
	Noce Secca	548990	4456365	4161	504	45.63	359.22	Ovest
	Oliena	534460	4458585	18841	378	12.02	332.10	Ovest
	Montes	533700	4441725	21314	1060	23.54	100.71	Est
	Orgosolo	530200	4450705	23148	591	19.04	23.20	Est
	Genna Silana	543330	4445715	10915	1010	14.25	52.13	Est
	Giustizieri	545280	4438865	11744	700	2.50	180.00	Est
	<i>FLUMENDOSA</i>	Gairo	539860	4412145	18612	784	10.08	299.74
Bau Mandara		537650	4425925	21067	812	5.59	206.57	Ovest
Bau Mela		535550	4427025	23184	812	40.48	76.61	Est
Bau Muggeris		536500	4422925	22122	820	21.29	183.37	Ovest
Flumendosa		538050	4422425	20599	658	0.00	0.00	Ovest

(°) In gradi rispetto a Nord.

(†) In percentuale.

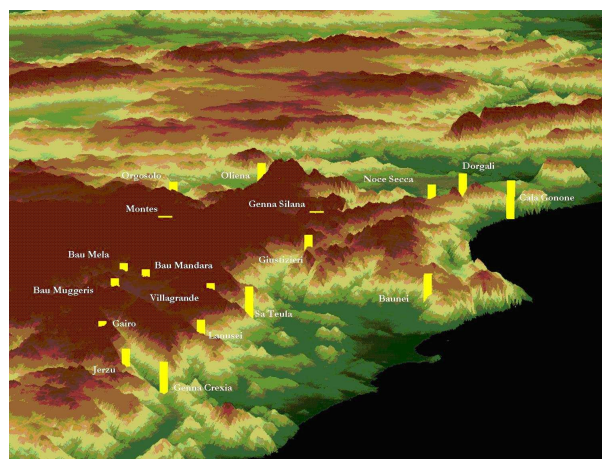
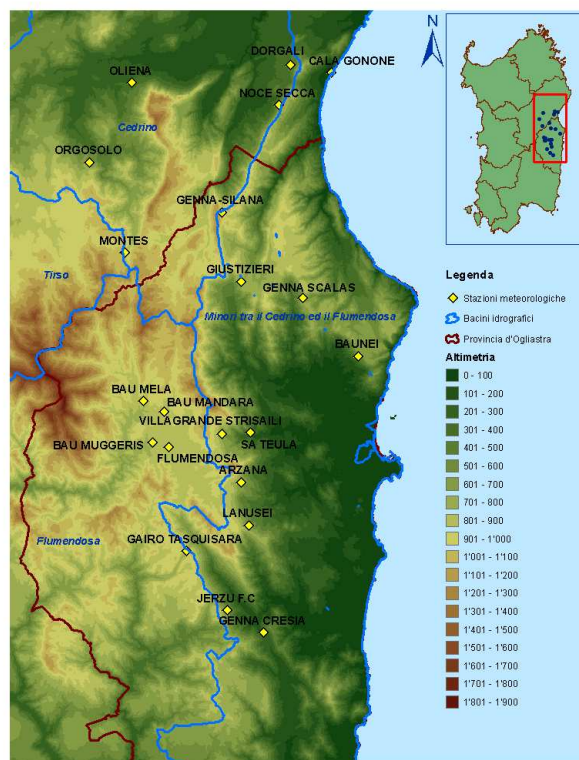


Figura 3: Ricostruzione tridimensionale dell'area di studio ottenuta tramite un *Digital Elevation Model* (DEM); dislocazione delle stazioni rispetto all'orografia del territorio ed ai bacini idrografici.



di fatto comprende diversi sottobacini di secondaria importanza e si estende lungo tutta la costa dell'Ogliastra. In esso ricadono le stazioni di Baunei e Genna Scalas a nord, e quelle di Genna Cresia, Jerzu, Lanusei, Arzana, Villagrande e Sa Teula Centrale, tutte dislocate poco sotto la linea spartiacque di confine con il Bacino del Flumendosa.

### *3.2 Il contesto climatico*

Come precedentemente descritto, l'orografia del territorio è abbastanza semplice, con una pianura costiera che si snoda dal comune di Triei fino a Cardedu, mentre l'entroterra è occupato da strutture montuose piuttosto ripide, che distano solo 10–15 Km dal mare ed arrivano a superare gli 800-1000 m, fino a raggiungere le vette dei monti del Gennargentu.

Diversamente da altre zone della Sardegna, questa semplice struttura orografica e la presenza di un alto numero di stazioni storiche, sia termometriche che pluviometriche, permettono un'analisi piuttosto dettagliata del clima del territorio. Tuttavia, la densità delle stazioni non è uniforme e questo impedisce di descrivere correttamente il clima di alcune aree relativamente più complesse. In particolare, risultano completamente scoperte le cime del Gennargentu.

Nel seguito si presentano le linee generali del comportamento, nell'area di studio, di precipitazione, temperatura, umidità e vento, come riportate da vari studi effettuati, a diverso titolo, presso il S.A.R. .

#### *3.2.1 Precipitazione*

Il bacino Minori è fortemente interessato dal regime di precipitazione cosiddetto Orientale, quel regime cioè che produce precipitazioni che vanno diminuendo da Est verso Ovest. Queste piogge, dette anche *orografiche*, vengono originate dall'innalzamento delle masse d'aria sopra la barriera fisica costituita dai contrafforti del Monte Gennargentu.

Le piogge orografiche tendono a mostrare *pattern* spaziali regolari, temporalmente consistenti. Spazialmente tendono a seguire i contorni orografici sottovento (*upwind*). Il *pattern* temporale dipende dalle proprietà della massa d'aria e dei venti che la muovono, nel caso specifico dei venti di scirocco. L'innalzamento della costa, anche se lento, determina una riduzione del vento vicino alla superficie a causa dell'attrito provocato dalle irregolarità del territorio. Tale riduzione provoca un sollevamento della massa d'aria (*upwind effect*). La Figura 4 mostra come le masse d'aria inizino a salire prima di raggiungere la barriera e, grazie all'inerzia, continuino la risalita per una certa distanza anche quando venga superata la vetta. Sul lato sopravvento della montagna (*rainfall shadow*) le condizioni non sono tali da

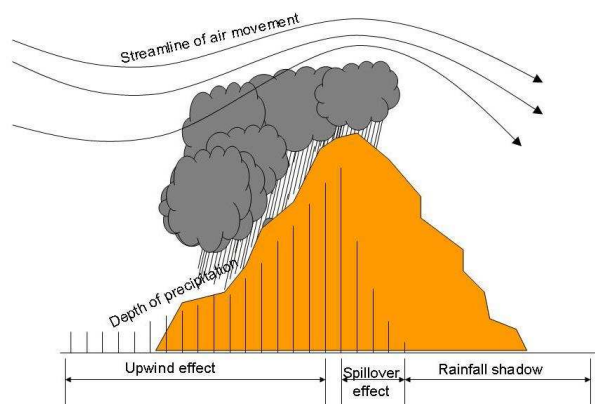


Figura 4: Rappresentazione schematica di una precipitazione orografica.

provocare precipitazioni: come l'aria scende aumenta di densità, diventa più calda, e siccome non vi è apporto significativo di umidità dall'esterno, l'umidità relativa della massa d'aria stessa diminuisce, impedendo il saturarsi della nube e, quindi, il verificarsi delle precipitazioni (WMO, 1984).

Pur penetrando poco nell'entroterra, a causa della barriera orografica, le piogge sono ivi più cospicue che in altre aree della Sardegna. Infatti, il regime Orientale induce frequenti eventi intensi, che spesso seguono periodi secchi e che possono susseguirsi l'un l'altro a distanza di brevi intervalli e con lo stesso epicentro, causando gravi danni all'ambiente, al bestiame e alle persone. In molti degli eventi estremi verificatisi in passato le precipitazioni hanno raggiunto in pochi giorni valori comparabili con le medie mensili o annuali. Il caso più famoso è sicuramente quello del 14–19 ottobre 1951, che fu eccezionale anche per l'estensione oltre che per la violenza dei fenomeni che flagellarono tutta l'Isola, così come il resto d'Italia. In quei giorni, per esempio, a Sicca d'Erba (Arzana) piovvero circa 1500 mm, e cumulati simili furono registrati nelle stazioni circostanti (si veda anche Tabella 8). Per venire agli eventi più recenti, va segnalato che gli inverni dal 2004 al 2007 sono stati eccezionali per quanto concerne sia il numero sia l'intensità degli eventi estremi verificatisi. Tra il 6 e l'11 dicembre 2004 circa 700 mm di pioggia sono stati misurati a Villanova Strisaili (quasi pari alla precipitazione annua media sull'area, cfr. Tabella 3), ma sulla base delle rilevazioni della strumentazione radar del S.A.R. posizionata sul Monte Rasu (comune di Bultei), la quantità d'acqua caduta nel solo giorno del 6 dicembre sull'intero bacino di drenaggio del Rio Codula Ilune è stata stimata in almeno 60 milioni di metri cubi (Cossu *et al.*, 2007b).

Tale evento ha provocato due morti a Villanova Strisaili, oltre a perdite di bestiame e danni socio-economici. Un secondo evento, tra il 30 ed il 31 gennaio 2006, ha colpito un'area poco più a nord della precedente, area che è stata ancora una volta epicentro di un episodio tra il 15 ed il 23 dicembre dello stesso anno. Gli eventi del dicembre 2004 e del gennaio 2006 sono stati innescati da piogge di intensità estrema, mentre l'ultimo da piogge di intensità inferiore, ma comunque elevata, precedute da un lungo e del tutto inusuale periodo piovoso (Cossu *et al.*, 2007a).

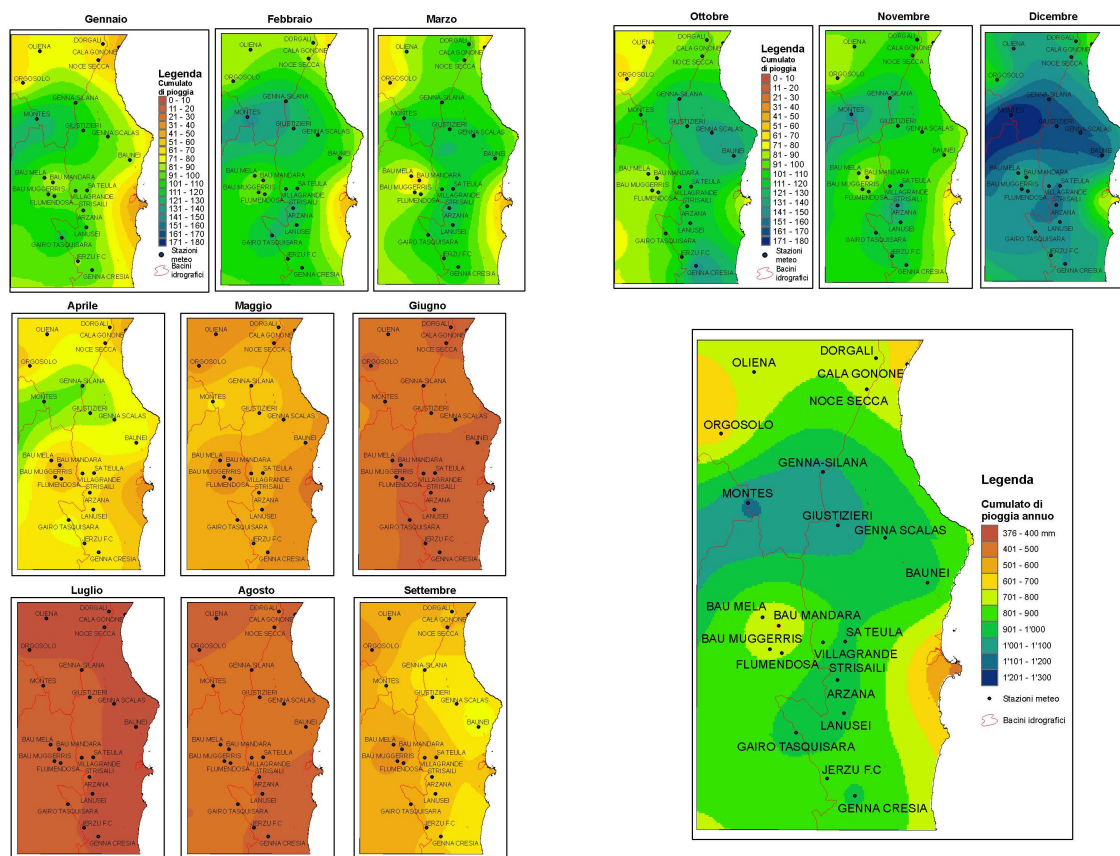


Figura 5: Distribuzione spaziale dei valori climatici dei cumulati mensili ed annuali di piovosità. Periodo 1961-1990.

La Figura 5 mostra il dettaglio, per la zona di studio, della variabilità spaziale del campo climatologico di precipitazione in Sardegna (Cossu *et al.*, 2005). I dati usati in questo studio sono le precipitazioni mensili ed annuali rilevate da 199 stazioni pluviometriche del Servizio Idrografico dello Stato nel periodo 1961–1990. I risultati ottenuti dall'analisi geostatistica

hanno consentito di evidenziare un'elevata correlazione spaziale del campo di precipitazione, su scala climatica, con i vari parametri geomorfologici (quota, distanza dal mare, latitudine e longitudine). In particolare la quota è risultata la variabile guida, che pertanto è stata utilizzata come covariata nelle interpolazioni basate sulla tecnica *cokriging*. In Figura 5 è facile notare il gradiente Est-Ovest del campo di precipitazione, soprattutto dalla carta riportante il cumulato annuo e da quelle relative ai mesi piovosi (autunno-primavera).

Le mappe mostrano, inoltre, la presenza di altri due gradienti che interessano le stazioni poste nei bacini del Cedrino e del Flumendosa, e come la linea spartiacque tra bacino del Flumendosa e bacino Minori costituisca di fatto il limite tra i diversi gradienti. Il Flumendosa in particolare risulta interessato dal gradiente sud-occidentale, mentre il Cedrino dal gradiente nord-occidentale. In entrambi i gradienti le precipitazioni sono correlate alla quota e risultano pertanto massime sui monti localizzati nel punto di spartiacque tra i tre bacini. I picchi dei cumulati annui di piovosità si localizzano quindi alle quote più elevate. Tale dato è confermato anche nelle piovosità mensili di gennaio, febbraio, aprile e dei mesi estivi. Il gradiente Orientale, invece, è evidente a marzo, ottobre, novembre e dicembre, quando le piovosità più elevate si riscontrano nel bacino Minori.

In Ogliastra, al crescere della quota le piogge aumentano notevolmente, fino a superare i 1000 mm annui nelle zone di montagna e nelle zone collinari più esposte ad Est. Le zone più interne invece, pur essendo a quote medie o medio-alte, risultano essere meno piovose, proprio per la minore capacità di penetrazione nell'entroterra delle piogge del regime Orientale. Le piogge sono minori, in generale, nella piana costiera, ed ancora inferiori nelle zone più lontane dai monti (Arbatax e Tortolì).

La stagione piovosa va da ottobre a marzo-aprile. In Sardegna, tipicamente, il mese più piovoso è dicembre, ma il presente studio evidenzia come in Ogliastra anche ottobre e novembre possano essere ugualmente piovosi (si vedano le Figure 8-9). Negli altri mesi le piogge sono contenute e raggiungono un minimo a luglio, quando si verificano pochi eventi isolati, soprattutto di tipo temporalesco. In settembre, tuttavia, il cumulato può raggiungere valori elevati per il verificarsi di episodi intensi, ma sporadici.

Il basso numero di giorni piovosi è una caratteristica tipica della costa orientale della Sardegna. Anche in questo caso, la causa va ricercata nella minore frequenza del regime Orientale. Nelle zone pianeggianti o collinari si hanno meno di 60 giorni piovosi all'anno (addirittura meno di 50 nella zona di Tortolì-Arbatax), numero che cresce con la quota fino a raggiungere gli 80-90 giorni nelle zone più elevate. È rilevante notare come, a parità di quota, le piogge sono meno intense nell'entroterra, ma non meno frequenti.

### *3.2.2 Temperatura*

L'analisi è basata su nove stazioni, che tuttavia lasciano scoperta la parte relativa ai già citati monti del Gennargentu.

Poiché all'aumentare della distanza dal mare le quote vanno crescendo, questi due fattori, che influenzano fortemente le temperature minime, agiscono allo stesso modo, causando un marcato gradiente Est-Ovest. In tutti i mesi dell'anno si osserva, dunque, che i valori più alti sono quelli della pianura costiera, mentre i più bassi sono quelli delle zone di montagna. Tipicamente sulle coste le temperature minime sono comprese fra i 7 °C di gennaio ed i quasi 21 °C di luglio, mentre nelle zone montuose si va dai 2 °C di gennaio ai 16 °C di luglio, in media. La distribuzione spaziale delle temperature massime è, invece, più difficile da studiare, poiché se la quota causa una diminuzione dei valori in qualsiasi periodo dell'anno, la distanza dal mare fa sentire i suoi effetti solo d'estate, causando un aumento dei valori massimi nell'entroterra. Di conseguenza in inverno le zone pianeggianti risultano decisamente meno fredde delle zone di montagna. In estate, invece, gli effetti contrapposti della quota e della distanza dal mare fanno sì che le temperature più alte siano misurate nell'entroterra e a quote basse.

### *3.2.3 Umidità*

Per quel che riguarda l'umidità ed il vento si può fare riferimento soltanto all'unica stazione storica dell'Aeronautica Militare presente in zona, Capo Bellavista, e pertanto non è possibile una descrizione completa di queste grandezze nel territorio in esame. Tuttavia le rilevazioni della stazione possono essere considerate come indicative della costa, ove la vicinanza del mare garantisce un apporto costante di vapor d'acqua che stabilizza l'umidità relativa nell'arco dell'anno. Ne consegue che la media dell'umidità massima giornaliera è sempre intorno al 90% (si notano anzi valori leggermente più alti d'estate), mentre quella della minima passa dal 50-55% dell'inverno al 40-45% dell'estate. Questo sta ad indicare che l'aria satura quasi tutte le notti producendo deposito di rugiada. Le piccole variazioni tra un mese e l'altro sono ascrivibili più ad una maggiore o minore escursione termica che ad un vero e proprio deficit di vapor d'acqua.

### *3.2.4 Vento*

Anche per quel che riguarda il vento, la stazione di Capo Bellavista può essere rappresentativa solo della costa. Ivi si osserva che nessun vento è realmente dominante, come accade invece in altre aree della Sardegna. Solo il Maestrale (N-O) risulta essere leggermente più frequente degli altri. Anche come intensità non si identificano delle prevalenze: il vento massimo

Tabella 2: Frequenza (%) dell'intensità massima giornaliera di vento a Capo Bellavista.

Classe	Intensità	DIREZIONE DEL VENTO								VV(°)	Totale
		N	N-E	E	S-E	S	S-O	O	N-O		
Debolissimo	[0.0, 1.5] m/s	*	*	*	*	*	*	*	*	2.1	2.1
Debole	(1.5, 7.9] m/s	1.7	3.7	5.4	5.1	7.3	1.5	5.6	7.7	*	38.0
Moderato	(7.9, 13.5] m/s	2.0	5.0	3.2	2.0	5.7	1.7	3.3	4.8	*	27.8
Forte	> 13.5 m/s	4.4	5.9	2.2	0.8	2.3	1.8	6.4	8.3	*	32.1
Totale		8.2	14.6	10.8	7.9	15.2	5.0	15.4	20.8	2.1	

(°) Vento di direzione non determinabile.

giornaliero è soprattutto debole (38% dei giorni), ma la frequenza dei venti moderati e deboli è solo di poco inferiore. Quasi assenti le giornate completamente prive di vento o con vento debolissimo (2.1%), si veda la Tabella 2.

## 4. Dati

I dati disponibili si riferiscono alle rilevazioni su base giornaliera per il periodo 1935–1999, con una interruzione dal 1942 al 1950 dovuta alla Seconda Guerra Mondiale. Avendo come obiettivo principale l'analisi dei *trend* si è ristretto lo studio al periodo 1951–1999. La mancanza di disponibilità di dati più recenti delle stesse stazioni non ha consentito, al momento, di estendere l'analisi ai giorni nostri. Le serie storiche dei dati giornalieri sono state controllate rispetto alla qualità dei dati ed alla presenza di errori. Sono stati scartati gli anni con più del 10% di dati mancanti e, degli anni restanti, si è accertata l'assenza di significative lacune proprio nel periodo di piovosità maggiore: così facendo si è giunti ad un numero di anni sempre superiore a 30, tranne nel caso di Genna Scalas e Flumendosa (si veda Tabella 3), che, quindi, saranno escluse dall'analisi dei *trend*. Due sole stazioni, Giustizieri e Villagrande, hanno soltanto 30 anni circa di disponibilità: per quanto riguarda Villagrande in particolare, la serie dei dati si interrompe al 1984 ma, trattandosi della stazione che ha fornito i dati massimi in assoluto e che registra un'alta frequenza di eventi estremi, come mostrato dalle Tabelle 5 e 6, si è preferito non escluderla dallo studio. Si è, invece, esclusa Giustizieri mancando 8 anni consecutivi, dal 1978 al 1985.

Le precipitazioni vengono definite piovose quando le gocce hanno un diametro maggiore di 0.5 mm e quando la quantità è maggiore di 0.5 mm/h. (Benincasa *et al.*, 1993). In questo lavoro, trattando dati giornalieri di piovosità si è deciso di adottare la soglia di 1 mm per

definire il giorno come piovoso, così come consigliato anche da altri autori (si veda, per esempio, Brunetti *et al.*, 2004).

Le stazioni pluviometriche erano dotate inizialmente di pluviometri manuali, che sono stati sostituiti a partire dal 1958 da pluviografi meccanici a bascula. Questo fatto può spiegare certe basse definizioni notate nei dati di pioggia precedenti il 1958.

## 5. Analisi descrittiva

Le Tabelle 3–6 riportano i valori climatici di diversi indici<sup>2</sup>. La Tabella 3 si riferisce ad indici calcolati considerando tutti i dati giornalieri, e quindi anche i giorni di assenza di pioggia, mentre le Tabelle 4–5 si riferiscono ai valori giornalieri di piovosità  $\geq 1$  mm. L'ammontare di pioggia giornaliero verrà anche denominato come *intensità*.

La colonna dei cumulati annui in Tabella 3 mostra una suddivisione delle stazioni in due gruppi: Arzana, Genna Scalas, Lanusei, Montes, Genna Silana, Giustizieri, Flumendosa e Villagrande hanno un cumulato annuo climatico superiore ai 1000 mm, cui corrisponde un massimo annuo sempre superiore ai 120 mm, tranne nel caso di **Montes**, dove ad un cumulato annuo medio di circa 1080 mm corrisponde un massimo di soltanto 94 mm circa. I valori indicati trovano corrispondenza con la climatologia generale dell'area, esposta nella Sezione 3.2.1 e riassunta nella Figura 5, tranne nel caso di Montes, appunto, e di **Flumendosa**. L'analisi anno per anno dei dati di Montes mostra come, in effetti, ad anni con eventi di intensità massima superiore ai 100 mm si alternino anni con valori anche inferiori a 40 mm, come illustrato in Figura 6. La figura mette anche in risalto come, nella seconda metà del periodo considerato, il numero di massimi annui molto intensi sia diminuito nettamente: i valori medi calcolati prima e dopo il 1975 (107.1 e 80.4 rispettivamente) così come i valori mediani (112 e 75 rispettivamente, non indicati in figura) sono sensibilmente diversi: il test di Kruskal–Wallis (si veda, per esempio, Hollander e Wolfe, 1999) porta a rifiutare l'ipotesi nulla di ugual distribuzione dei massimi nei due periodi, con significatività  $p = 0.03$ .

In realtà quello che la Figura 6 suggerisce è che la stazione possa essere stata spostata, tra il 1970 ed il 1980 probabilmente, in un'area meno esposta alle correnti orientali. La conoscenza di informazioni di questo genere è tanto necessaria quanto difficoltosa in Sardegna. Il frequente alternarsi di rilevatori nella gestione delle stazioni meteorologiche ha accompa-

---

<sup>2</sup>Per *valore climatico*, o *di lungo periodo*, qui si intende il valore medio, *lungo tutto il periodo considerato*, dei valori annui degli indici stessi.

Tabella 3: Valori climatici riferiti ai dati giornalieri. Periodo 1951–1999.

	stazione	n.ro record	media (mm)	deviaz. stand.	$q_{0.90}$	$q_{0.95}$	$q_{0.98}$	$q_{0.99}$	cumulato annuo (mm)	massimo annuo (mm)
<i>MINORI</i>	Arzana	39	2.8	11.8	6.0	13.8	31.0	52.2	1031.0	141.5
	Baunei	49	2.7	12.0	4.3	12.8	32.7	56.6	977.8	140.3
	Genna Scalas	27	2.8	12.1	5.3	14.6	34.3	58.0	1018.3	136.1
	Cala Gonone	42	1.7	7.0	3.5	9.2	20.3	33.3	633.2	79.0
	Genna Cresia	47	2.6	10.8	5.5	13.3	28.8	47.3	934.2	126.7
	Jerzu	44	2.4	8.8	5.7	12.6	26.0	41.1	871.6	98.9
	Lanusei	44	2.8	11.0	6.2	14.1	30.4	50.8	1015.5	129.3
	Sa Teula C.	47	2.7	11.4	5.5	13.4	30.2	50.6	978.8	136.3
	Villagrande	31	2.9	12.8	5.9	15.0	33.8	58.9	1069.1	150.8
<i>CEDRINO</i>	Dorgali	47	2.3	10.4	3.8	11.2	28.5	48.2	843.8	122.8
	Noce Secca	40	2.4	10.9	4.4	11.2	27.8	49.7	885.3	127.5
	Oliena	48	2.0	8.7	4.5	10.9	22.3	36.9	741.6	102.4
	Montes	48	3.0	9.4	8.8	16.3	30.1	45.5	1083.7	93.8
	Orgosolo	49	1.8	6.4	5.2	11.3	20.9	31.1	671.1	62.8
	Genna Silana	42	3.1	12.5	6.5	14.8	33.4	58.1	1120.1	146.9
	Giustizieri	32	2.8	11.7	5.8	13.2	30.4	52.1	1011.2	137.0
<i>FLUMENDOSA</i>	Gairo	46	2.7	10.4	6.5	14.3	30.4	49.7	988.0	115.8
	Bau Mandara	40	2.2	8.4	4.9	11.7	24.4	37.5	788.8	90.5
	Bau Mela	41	2.2	9.2	5.0	11.4	23.4	39.5	811.8	108.8
	Bau Muggeris	43	2.3	9.4	5.0	11.2	23.7	42.2	828.1	111.0
	Flumendosa	26	2.7	11.3	6.1	13.6	28.9	53.7	1000.8	127.6
	<b>media</b>		2.5	10.3	5.4	12.8	28.2	47.3	919.2	118.4

■ Stazioni con meno di 30 record annui completi.

■ Valore massimo nella colonna.

■ Valore minimo nella colonna.

■ Cumulato annuo climatico superiore a 1000 mm.



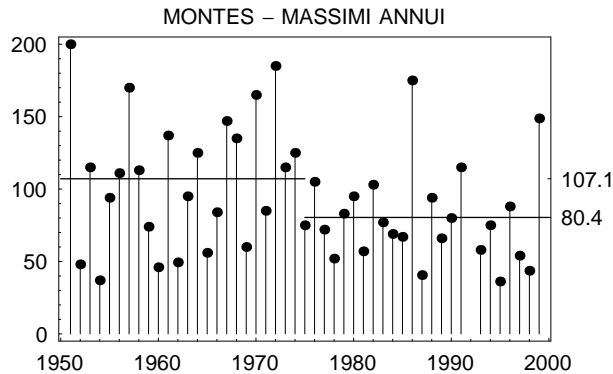


Figura 6: Massimi annui a Montes: minimo pari a 36.2 mm (1995); massimo pari a 200 mm (1951). Le linee orizzontali indicano i valori medi prima e dopo il 1975.

gnato, se non causato, una inaccurata trascrizione della storia delle stazioni. Il presente lavoro, pertanto, ha anche l'obiettivo di mettere in luce, attraverso l'analisi dei dati, possibili indizi di spostamenti o variazioni, che si cercherà di verificare in seguito, in una sorta di procedimento a ritroso. In generale il problema che andrà affrontato in futuro è quello della *omogeneizzazione* dei dati, cioè della verifica (e dell'eventuale correzione) della presenza di segnali di tipo non-climatico/meteorologico nelle serie storiche considerate. Le disomogeneità possono essere di vario tipo, per esempio indotte da spostamenti della stazione stessa, o da variazioni delle condizioni ambientali circostanti, e non sempre facilmente identificabili. Per maggiori dettagli sul problema e sulle tecniche di omogeneizzazione si veda, per esempio, Peterson *et al.*, (1998). Confrontando i grafici delle stazioni per le diverse variabili considerate, si è giunti a scartare, per l'analisi dei *trend*, oltre a Montes, anche **Gairo**, **Lanusei** ed **Orgosolo**: alcuni grafici che ben mostrano perchè si è giunti a questa decisione sono riportati nell'Appendice.

Nel caso di Flumendosa, invece, la differenza osservata tra i dati della stazione e la climatologia generale è da ascrivere principalmente al diverso periodo considerato. Infatti, la Figura 5 si riferisce agli anni 1961–1990, che si riducono in questa stazione ai soli anni dal 1961 al 1976 (cfr. Tabella 3): restano così esclusi, dallo studio di Cossu *et al.* (2005), i dati dal 1951 al 1960, che sono particolarmente determinanti nell'analisi qui condotta, presentandosi in questo periodo valori di cumulo annuo molto elevati (si confronti anche Tabella 8).

La Tabella 3 mostra anche come **Villagrande Strisaili** sia la stazione cui corrispondono i valori climatici più elevati del massimo annuo e dei quantili estremi  $q_{0.98}$ ,  $q_{0.99}$ , confermando quanto accennato nella Sezione 3.2.1 in proposito del suo *status* di stazione ad alto rischio

rispetto al verificarsi di eventi estremi. Il dato è evidenziato anche dall'esame dei soli giorni piovosi, riportato nelle Tabelle 4–5. La media giornaliera di 2.9 mm (Tabella 3), in linea

Tabella 4: Valori climatici riferiti ai soli dati giornalieri di piovosità  $\geq 1$  mm. Periodo 1951–1999.

	stazione	nr medio gg piovosi	media (mm)	mediana (mm)	deviaz. stand.	cumulato annuo (mm)
<i>MINORI</i>	Arzana	74.9	13.5	5.8	11.8	1020.9
	Baunei	62.9	15.3	5.7	12.0	973.8
	Genna Scalas	59.5	16.8	7.1	12.1	1017.2
	Cala Gonone	64.0	9.6	4.3	7.0	625.5
	Genna Cresia	64.8	14.3	6.7	10.8	932.1
	Jerzu	76.4	11.2	5.4	8.8	860.7
	Lanusei	76.9	12.9	5.5	11.0	1004.7
	Sa Teula C.	72.0	13.5	5.6	11.4	976.0
Villagrande	60.2	17.8	8.6	12.8	1067.7	
<i>CEDRINO</i>	Dorgali	60.7	14.1	5.9	10.4	841.4
	Noce Secca	60.7	14.4	6.0	10.9	883.8
	Oliena	56.1	13.2	7.5	8.7	740.8
	Montes	86.1	12.8	7.4	9.4	1081.7
	Orgosolo	62.7	11.0	7.0	6.4	669.6
	Genna Silana	79.2	14.1	6.1	12.5	1110.8
	Giustizieri	72.7	13.8	5.8	11.7	1007.9
<i>FLUMENDOSA</i>	Gairo	71.9	13.7	6.9	10.4	983.2
	Bau Mandara	70.0	11.2	5.5	8.4	784.7
	Bau Mela	70.2	11.5	5.7	9.2	810.4
	Bau Muggeris	75.0	10.8	4.8	9.4	823.8
	Flumendosa	76.6	12.9	5.6	11.3	998.5

■ Stazioni con meno di 30 record annui completi.

■ Valore massimo nella colonna.

■ Valore minimo nella colonna.

con quella delle altre stazioni analoghe per piovosità annua, raggiunge il valore massimo di circa 17 mm se ci si restringe ai giorni piovosi, così come il valore mediano (circa 9 mm). La Tabella 6 mostra come, in riferimento al numero medio annuo di valori in classi elevate di intensità, Villagrande, **Genna Silana** e **Genna Scalas** siano sostanzialmente equivalenti, con un giorno all'anno di piovosità tra 70 e 100 mm, tre giorni ogni due anni di piovosità tra 100 e 150 mm, e tre giorni ogni 5 anni di piovosità superiore ai 150 mm. Tuttavia, Villagrande registra dei quantili climatici estremi ( $q_{\bullet}^*$ ) generalmente superiori alle altre due (Tabella 5). Inoltre essa registra, come Genna Scalas, un basso numero di giorni piovosi l'anno (circa 60 contro i quasi 80 di Genna Silana; si veda Tabella 4) soprattutto per quanto riguarda le piogge di intensità tra 1–10 mm (30, contro i 47 di Genna Silana; cfr. Tabella 6).

Tabella 5: Quantili climatici riferiti ai soli dati  $\geq 1$  mm. Periodo 1951–1999.

	stazione	$q_{0.05}^*$	$q_{0.10}^*$	$q_{0.20}^*$	$q_{0.30}^*$	$q_{0.40}^*$	$q_{0.50}^*$	$q_{0.60}^*$	$q_{0.70}^*$	$q_{0.80}^*$	$q_{0.90}^*$	$q_{0.95}^*$	$q_{0.98}^*$	$q_{0.99}^*$
<i>MINORI</i>	Arzana	1.13	1.42	2.11	3.01	4.15	5.71	7.74	10.97	16.58	30.72	49.32	83.12	117.20
	Baunei	1.16	1.35	1.91	2.76	4.01	5.61	8.08	11.79	19.88	37.60	62.01	93.01	120.12
	Genna Scalas	1.36	1.88	2.87	3.95	5.19	6.97	10.00	14.19	22.13	40.36	65.56	90.38	116.18
	Cala Gonone	1.05	1.18	1.57	2.30	3.10	4.21	5.95	8.52	12.90	22.63	34.76	51.18	67.54
	Genna Cresia	1.18	1.54	2.47	3.69	4.96	6.53	8.92	12.18	18.11	31.91	50.51	80.78	108.32
	Jerzu	1.12	1.40	2.12	2.90	3.99	5.38	7.17	10.14	15.05	26.54	39.84	60.06	83.23
	Lanusei	1.09	1.37	1.91	2.72	3.86	5.42	7.69	11.04	16.80	29.23	48.50	74.67	102.51
	Sa Teula C.	1.03	1.20	1.85	2.83	4.09	5.45	7.86	11.14	17.32	31.00	48.40	80.84	112.53
	Villagrande	1.29	1.95	3.05	4.33	6.21	8.49	11.47	15.02	22.00	40.32	66.74	100.45	127.67
<i>CEDRINO</i>	Dorgali	1.17	1.48	2.19	3.19	4.30	5.71	7.98	11.22	18.14	33.45	53.62	81.32	103.25
	Noce Secca	1.26	1.63	2.34	3.37	4.67	5.86	8.08	11.54	18.22	33.57	55.42	85.14	109.92
	Oliena	1.50	2.05	3.15	4.33	5.50	7.33	9.40	12.11	16.64	26.24	42.72	70.09	87.10
	Montes	1.47	1.93	2.91	4.16	5.49	7.26	9.54	12.59	17.50	28.56	42.09	63.34	80.04
	Orgosolo	1.31	1.80	2.82	3.94	5.28	6.90	8.92	11.48	15.92	23.95	33.59	46.75	55.07
	Genna Silana	1.17	1.47	2.15	3.10	4.33	6.01	8.25	11.58	17.08	31.11	53.67	88.49	119.95
	Giustizieri	1.08	1.48	2.17	3.13	4.24	5.69	7.87	10.91	16.81	32.64	52.02	86.73	114.93
<i>FLUMENDOSA</i>	Gairo	1.14	1.44	2.42	3.71	4.83	6.73	9.13	12.27	18.33	31.41	49.69	74.28	97.80
	Bau Mandara	1.04	1.16	1.87	2.74	4.04	5.37	7.34	10.47	15.34	25.33	37.07	64.00	78.44
	Bau Mela	1.17	1.42	2.07	2.78	3.94	5.53	7.40	9.96	14.44	24.46	38.72	70.53	89.24
	Bau Muggeris	1.03	1.09	1.71	2.35	3.28	4.63	6.55	9.02	13.58	23.30	38.50	66.92	93.16
	Flumendosa	1.02	1.15	1.98	2.84	3.93	5.47	7.32	10.90	15.36	27.65	49.31	85.19	110.48

■ Stazioni con meno di 30 record annui completi.

■ Valore massimo nella colonna.

■ Valore minimo nella colonna.

Tabella 6: Frequenza relativa climatica per diverse fasce di intensità, in percentuale. Periodo 1951–1999.

	stazione	= 0	(0, 1)	[1,10)	[10,20)	[20,40)	[40,50)	[50,70)	[70,100)	[100,150)	≥ 150
<i>MINORI</i>	Arzana	0.7278	0.0663	0.1375	0.0333	0.0187	0.0050	0.0051	0.0032	0.0017	0.0015
	Baunei	0.8035	0.0237	0.1092	0.0273	0.0185	0.0045	0.0052	0.0041	0.0026	0.0013
	Genna Scalas	0.8312	0.0057	0.0907	0.0338	0.0200	0.0048	0.0064	0.0036	0.0024	0.0015
	Cala Gonone	0.7744	0.0503	0.1254	0.0271	0.0141	0.0031	0.0030	0.0018	0.0006	0.0001
	Genna Cresia	0.8076	0.0145	0.1080	0.0341	0.0214	0.0040	0.0044	0.0032	0.0017	0.0012
	Jerzu	0.7190	0.0714	0.1441	0.0345	0.0189	0.0041	0.0039	0.0025	0.0011	0.0004
	Lanusei	0.7153	0.0741	0.1415	0.0331	0.0208	0.0038	0.0055	0.0030	0.0018	0.0011
	Sa Teula C.	0.7863	0.0165	0.1282	0.0342	0.0194	0.0042	0.0047	0.0033	0.0022	0.0012
Villagrande	0.8274	0.0076	0.0889	0.0370	0.0217	0.0038	0.0049	0.0042	0.0027	0.0016	
<i>CEDRINO</i>	Dorgali	0.8190	0.0147	0.1096	0.0265	0.0160	0.0038	0.0045	0.0030	0.0017	0.0012
	Noce Secca	0.8267	0.0072	0.1049	0.0278	0.0185	0.0045	0.0044	0.0025	0.0019	0.0016
	Oliena	0.8419	0.0044	0.0940	0.0353	0.0152	0.0026	0.0033	0.0016	0.0011	0.0007
	Montes	0.7506	0.0133	0.1381	0.0551	0.0291	0.0052	0.0040	0.0025	0.0015	0.0004
	Orgosolo	0.8196	0.0084	0.1079	0.0387	0.0193	0.0021	0.0026	0.0009	0.0004	0.0001
	Genna Silana	0.7223	0.0606	0.1416	0.0378	0.0218	0.0033	0.0042	0.0039	0.0027	0.0017
	Giustizieri	0.7861	0.0147	0.1289	0.0360	0.0186	0.0045	0.0041	0.0031	0.0028	0.0011
<i>FLUMENDOSA</i>	Gairo	0.7692	0.0335	0.1187	0.0422	0.0209	0.0040	0.0055	0.0034	0.0018	0.0008
	Bau Mandara	0.7791	0.0290	0.1295	0.0344	0.0185	0.0033	0.0030	0.0016	0.0010	0.0007
	Bau Mela	0.7999	0.0077	0.1295	0.0352	0.0178	0.0025	0.0029	0.0023	0.0013	0.0009
	Bau Muggerris	0.7630	0.0312	0.1471	0.0301	0.0183	0.0029	0.0028	0.0024	0.0012	0.0010
	Flumendosa	0.7775	0.0126	0.1366	0.0400	0.0195	0.0034	0.0033	0.0039	0.0019	0.0014

■ Stazioni con meno di 30 record annui completi.

■ Valore massimo nella colonna.

■ Valore minimo nella colonna.

Qualche informazione in più sulle relazioni tra le stazioni può venire dall'esame delle loro correlazioni, in Tabella 7<sup>3</sup>. Tutte le correlazioni sono superiori a 0.50, ma in gran parte a 0.60. Solo Orgosolo risulta relativamente meno correlata a tutte le altre stazioni (correlazioni mai superiori a 0.70, spesso inferiori a 0.60). Le correlazioni più alte associano Flumendosa e Bau Muggeris (0.91, correlazione massima); Giustizieri a Genna Scalas e a Genna Silana (0.82); Dorgali a Noce Secca (0.81); Sa Teula Centrale e Lanusei (0.81); Lanusei ed Arzana (0.81); Arzana e Jerzu (0.82). Elevate correlazioni si riscontrano anche quando si considerino a coppie Arzana, Giustizieri, Bau Mela, Bau Mandara, Bau Muggeris, Flumendosa e Villagrande. Tali risultati sono spiegabili o sulla base della vicinanza tra stazioni, come nel caso di Flumendosa e Bau Muggeris, o di una comune esposizione alle correnti orientali, come nel caso di Giustizieri, Genna Scalas e Genna Silana. Nel caso di Orgosolo, invece, la bassa correlazione si può spiegare con la sua distanza da tutte le altre stazioni: le più vicine, Montes ed Oliena, sono, per di più, diversamente esposte (si veda Tabella 1).

---

<sup>3</sup>Le correlazioni sono state calcolate su tutti i dati disponibili, senza esclusione di anno alcuno. Le altre tabelle, invece, riportano tutte valori calcolati sugli anni selezionati, il cui numero è indicato nella colonna "n.ro record" di Tabella 3.

Tabella 7: Correlazioni tra i dati giornalieri delle stazioni.

AR	BAU	GSC	CG	D	NS	G	GC	J	L	OL	M	OR	GSI	GIU	BMA	BME	BMU	FL	STC	V	
1	0.76	0.80	0.68	0.79	0.72	0.72	0.80	0.82	0.81	0.62	0.67	0.61	0.72	0.84	0.77	0.74	0.80	0.85	0.88	0.84	AR
	1	0.78	0.70	0.72	0.72	0.64	0.71	0.69	0.72	0.58	0.58	0.53	0.72	0.76	0.61	0.57	0.64	0.71	0.75	0.71	BAU
		1	0.68	0.76	0.70	0.70	0.73	0.74	0.69	0.64	0.62	0.60	0.75	0.82	0.72	0.71	0.75	0.75	0.76	0.72	GSC
			1	0.76	0.72	0.57	0.61	0.58	0.61	0.54	0.53	0.50	0.62	0.69	0.52	0.48	0.56	0.61	0.66	0.62	CG
				1	0.81	0.63	0.68	0.70	0.70	0.61	0.59	0.55	0.71	0.76	0.65	0.64	0.68	0.72	0.78	0.78	D
					1	0.61	0.63	0.67	0.68	0.62	0.60	0.53	0.67	0.72	0.63	0.63	0.69	0.69	0.72	0.72	NS
						1	0.65	0.72	0.68	0.57	0.63	0.57	0.71	0.73	0.71	0.69	0.75	0.73	0.73	0.74	G
							1	0.78	0.72	0.58	0.59	0.52	0.62	0.72	0.67	0.63	0.71	0.76	0.77	0.72	GC
								1	0.76	0.62	0.64	0.57	0.67	0.77	0.72	0.69	0.76	0.78	0.78	0.79	J
									1	0.56	0.59	0.55	0.66	0.75	0.67	0.63	0.69	0.75	0.81	0.75	L
										1	0.64	0.60	0.65	0.66	0.63	0.64	0.67	0.69	0.60	0.63	OL
											1	0.68	0.68	0.70	0.68	0.65	0.71	0.70	0.64	0.64	M
												1	0.65	0.68	0.66	0.63	0.67	0.69	0.58	0.57	OR
													1	0.82	0.71	0.71	0.75	0.77	0.72	0.72	GSI
														1	0.79	0.77	0.81	0.84	0.82	0.80	GIU
															1	0.87	0.87	0.89	0.77	0.75	BMA
																1	0.84	0.88	0.73	0.76	BME
																	1	0.91	0.81	0.75	BMU
																		1	0.83	0.78	FL
																			1	0.81	STC
																				1	V

■ Correlazione > 0.80.

**Indicazioni delle stazioni:** AR = Arzana, BAU = Baunei, GSC = Genna Scalas, CG = Cala Gonone, D= Dorgali, NS = Noce Secca, G= Gairo, GC = Genna Cresia, J = Jerzu, L = Lanusei, OL = Oliena, M = Montes, OR = Orgosolo, GSI = Genna Silana, GIU = Giustizieri, BMA = Bau Mandara, BME = Bau Mela, BMU = Bau Muggeris, FL = Flumendosa, STC = Sa Teula Centrale, V = Villagrande.

La Tabella 8 mostra i due valori più alti mai registrati in ogni stazione nel periodo 1951–1999, assieme all’anno ed al mese di occorrenza dell’evento.

Tabella 8: Massimi assoluti e principali massimi relativi. Periodo 1951–1999.

	stazione	Massimo assoluto			Secondo valore più alto			Massimo assoluto dal 1952		
		max	anno	mese	max	anno	mese	max	anno	mese
<i>MINORI</i>	Arzana	400.0	1951	10	395.0	1951	10	280.4	1968	11
	Baunei	350.0	1951	10	252.0	1951	10	254.0	1955	11
	Genna Scalas	386.2	1951	10	377.5	1951	10	225.7	1958	11
	Cala Gonone(*)	188.0	1986	10	110.0	1955	9	188.0	1986	10
	Genna Cresia	417.3	1951	10	416.0	1951	10	322.0	1986	9
	Jerzu(*)	185.4	1961	11	129.6	1957	12	185.4	1961	11
	Lanusei	350.0	1968	11	221.2	1986	9	350.0	1968	11
	Sa Teula C.	432.0	1968	11	339.5	1951	10	432.0	1968	11
	Villagrande	385.0	1951	10	352.0	1951	10	321.5	1953	3
<i>CEDRINO</i>	Dorgali	300.0	1951	10	295.0	1951	10	275.0	1968	11
	Noce Secca	250.0	1951	10	220.0	1951	10	219.0	1989	12
	Oliena	350.0	1951	10	267.0	1986	10	268.0	1986	9
	Montes	200.0	1951	10	195.0	1951	10	185.0	1972	5
	Orgosolo	150.0	1951	10	143.0	1951	10	121.0	1967	2
	Genna Silana(*)	395.0	1967	2	233.0	1957	11	395.0	1967	2
	Giustizieri	390.0	1951	10	384.0	1951	10	279.4	1970	10
<i>FLUMENDOSA</i>	Gairo(*)	226.0	1961	11	171.0	1961	1	226.0	1961	11
	Bau Mandara	326.0	1951	10	319.5	1951	10	238.0	1970	10
	Bau Mela	430.0	1951	10	326.0	1951	10	255.0	1970	10
	Bau Muggeris	329.0	1951	10	314.0	1951	10	288.5	1961	1
	Flumendosa	451.5	1951	10	362.0	1951	10	218.0	1957	1

(\*) 1951 mancante.

■ Stazioni con meno di 30 record annui completi.

■ Valore massimo nella colonna.

■ Valore minimo nella colonna.

In realtà essa è principalmente indicativa dell’eccezionalità dell’evento, ben noto, verificatosi nel 1951. I due valori mostrati in tabella corrispondono a giorni consecutivi e, spesso, nella ricerca del terzo valore più alto si incappa ancora una volta in giorni di questa alluvione. Per questo, viene riportato anche il valore massimo registrato in ogni stazione a partire dal 1952: si può vedere come solo 4 di questi eventi cadano dopo il 1980, nessuno dei quali dopo il 1990.

Tutti gli eventi considerati nella Tabella 8 si sono verificati nel periodo settembre–marzo, con un unico evento registrato a maggio (Montes). La Figura 7 mostra la distribuzione di frequenza dei mesi in cui si è verificato il massimo annuo. Le Figure 8–9 mostrano,

singolarmente e per bacino, l'andamento annuale del cumulato mensile climatico. In generale, la distribuzione di frequenza dei mesi di occorrenza del massimo annuo è bimodale, con un massimo relativo in marzo, meno spesso in febbraio, ed uno tra novembre e dicembre, meno spesso in ottobre. Per quanto riguarda i cumulati mensili, i tre bacini non differiscono in modo sostanziale (cfr. Figura 9), tuttavia per il bacino Minori sono chiaramente visibili il picco relativo a marzo e quello assoluto che, in quasi tutte le stazioni, si verifica ad ottobre. Il risultato trovato differenzia questa zona dal resto della Sardegna, dove è dicembre il mese più piovoso (cfr. Figura 5) mostrando di fatto come il fattore di scala in studi di climatologia sia fondamentale per rivelare le variabilità locali.

Il mese di maggior frequenza del massimo annuo non corrisponde necessariamente al cumulato più elevato, soprattutto nel caso del bacino Minori: si confrontino la Figura 7 con la Figura 8. Ciò è dovuto alla frequenza di eventi molto intensi, con frequenze assolute che spesso sono più elevate ad ottobre e, soprattutto, a dicembre che a novembre, come mostrato dalla Figura 10, ove viene rappresentata la frequenza mensile assoluta degli eventi di intensità  $\geq 50$  mm. La figura mostra come il numero di tali eventi sia particolarmente rilevante nel caso di Baunei, fatto che potrebbe essere spiegato dalla posizione della stazione, a strapiombo sulla pianura sottostante, più che dalla vicinanza alla costa o dalla quota. Elevando la soglia a 80 mm (cfr. Figura 11) si può notare distintamente la differenza tra i tre bacini: eventi di tale portata continuano ad essere rilevanti nel bacino Minori ed anche in alcune stazioni del Cedrino, mentre diminuiscono di frequenza nel bacino del Flumendosa, fatta eccezione per Gairo. Il fatto che eventi intensi si verificano con più frequenza a Gairo che non nelle altre stazioni dello stesso bacino può essere spiegato dalla posizione orografica particolare (si veda Figura 3): il particolare microclima che ne consegue fa sì che eventi intensi od estremi possano verificarsi qui e non altrove.



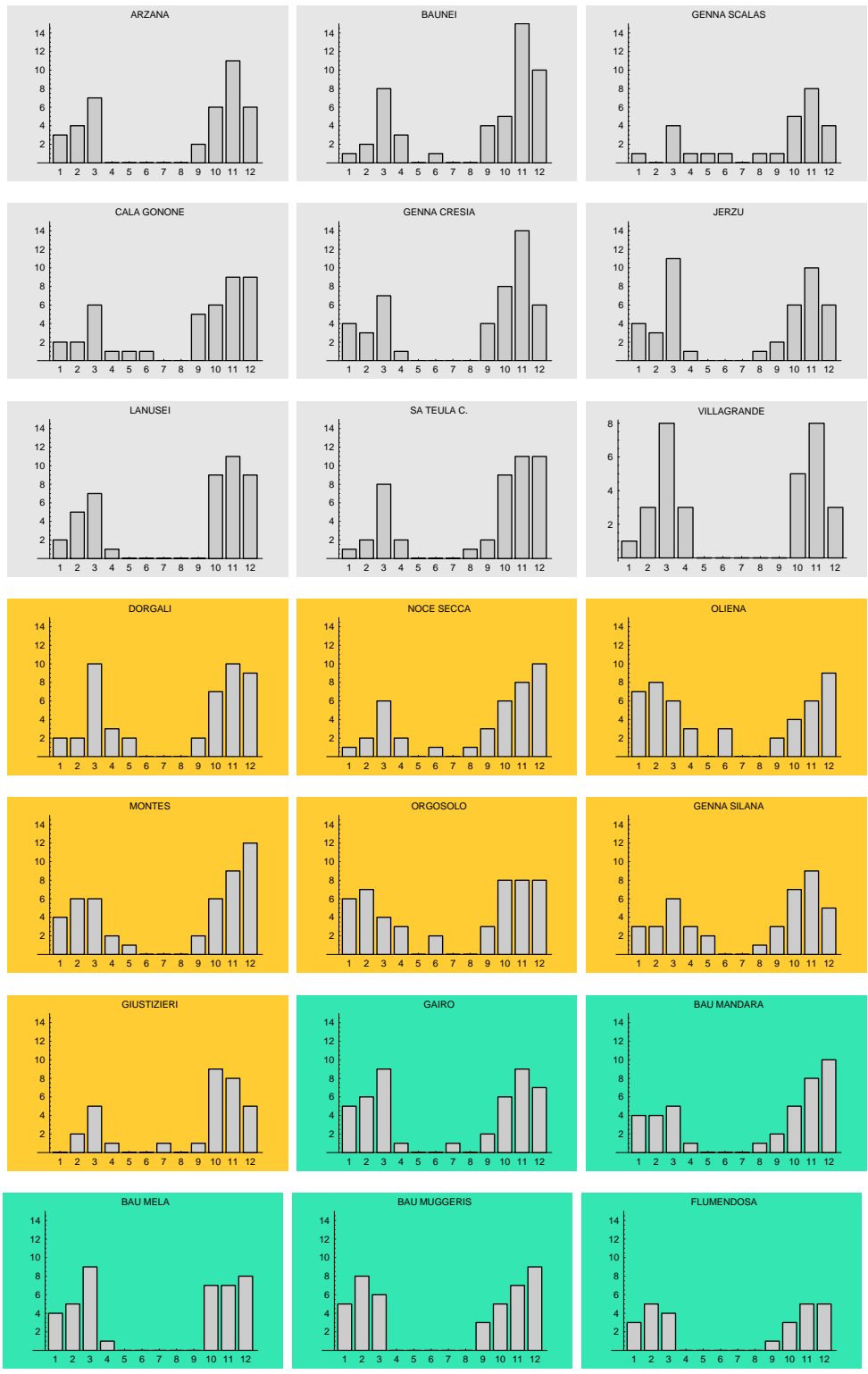


Figura 7: Frequenze di occorrenza nei mesi del massimo annuo. I colori distinguono i bacini (Minori, Cedrino e Flumendosa, rispettivamente).

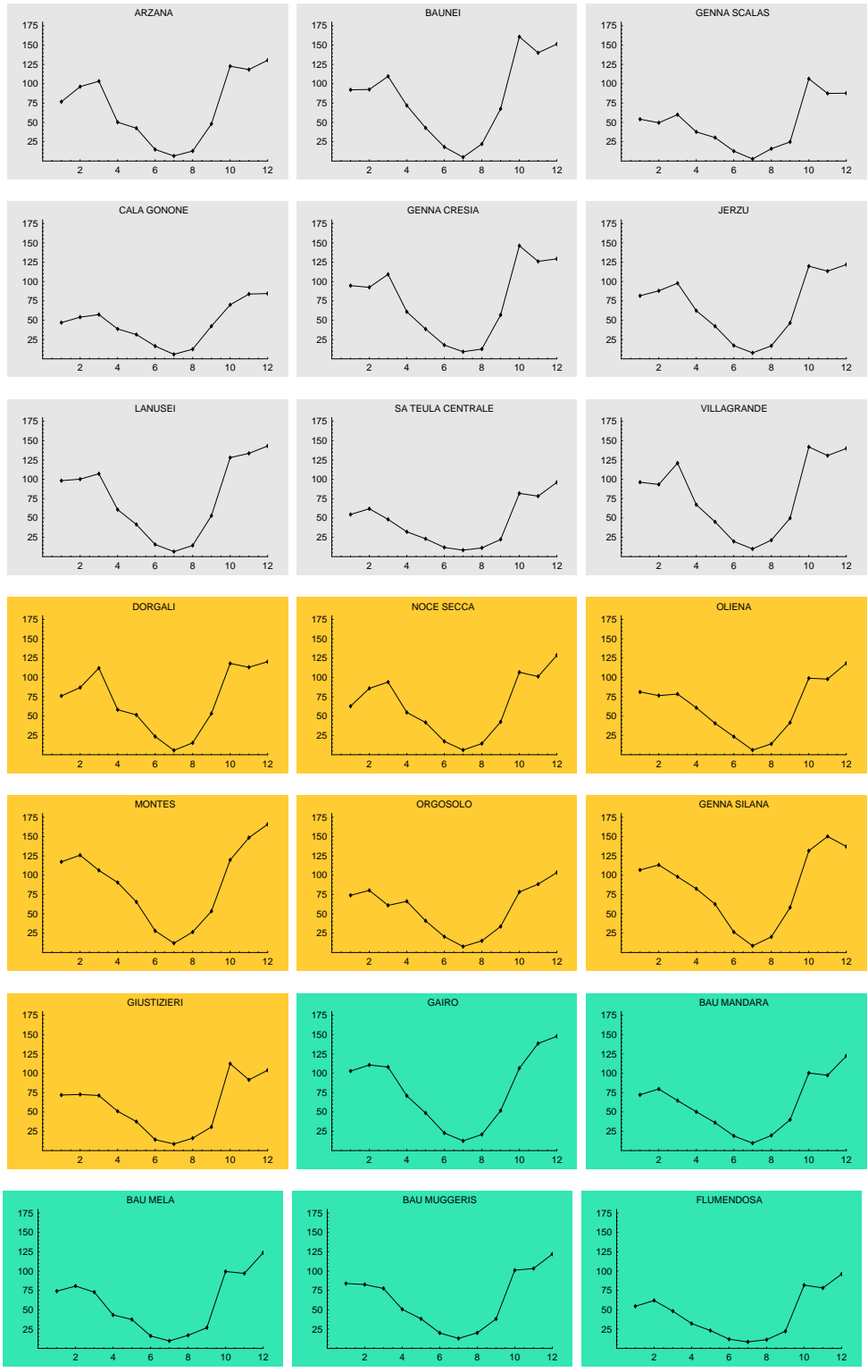


Figura 8: Cumulati medi mensili. I colori distinguono i bacini (Minori, Cedrino e Flumendosa, rispettivamente).

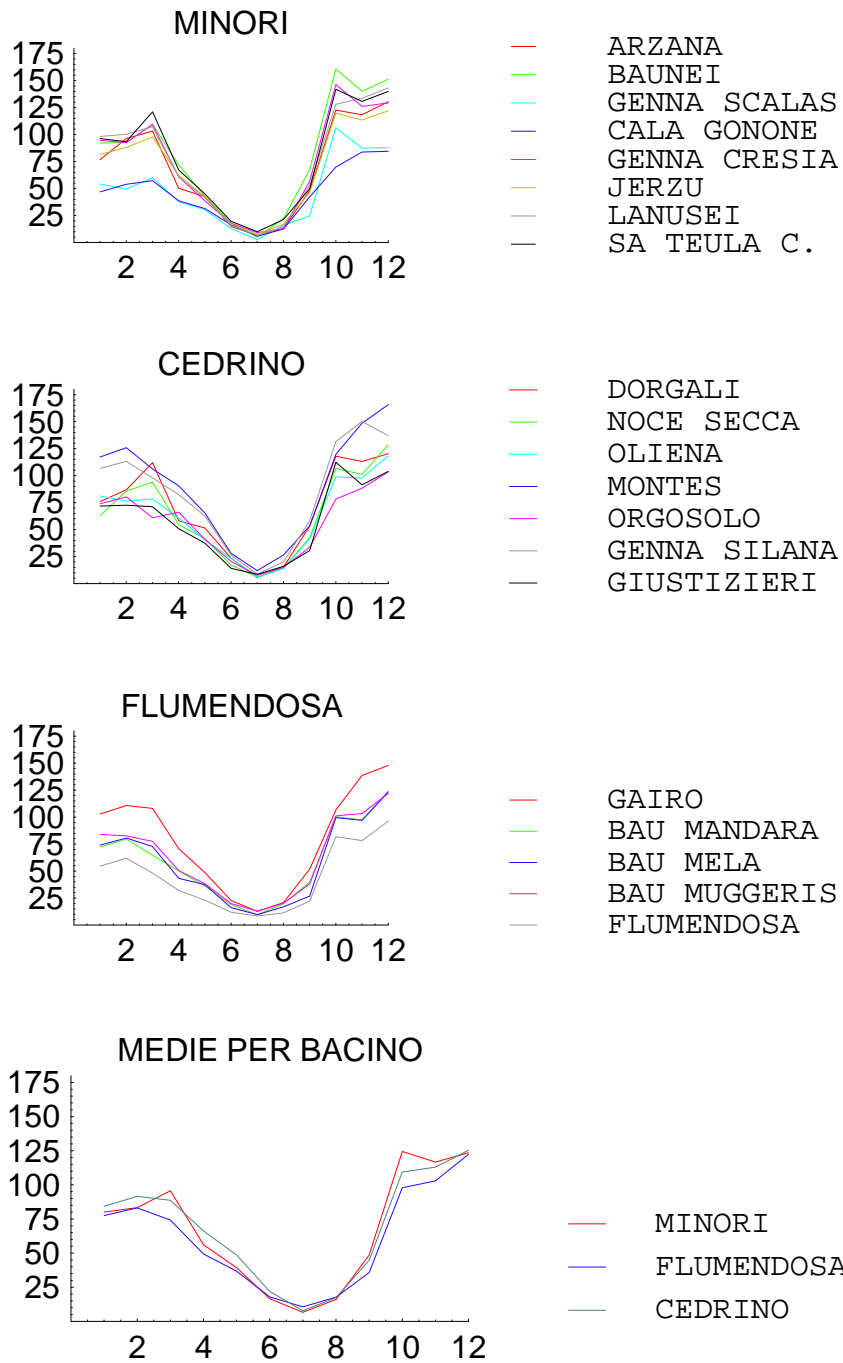


Figura 9: Cumulati medi mensili raggruppati per bacino e confronto delle medie sui bacini.

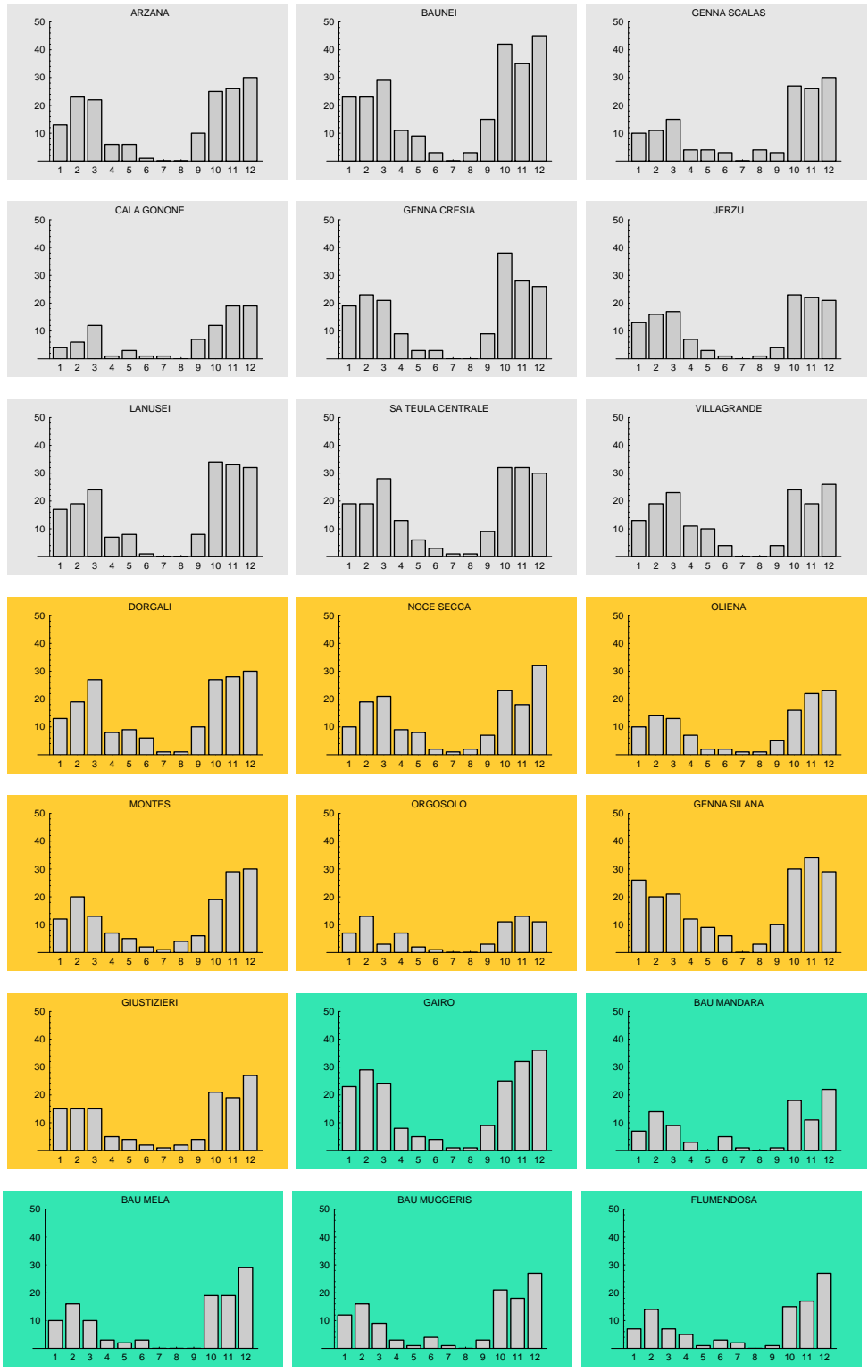


Figura 10: Frequenze assolute mensili dei valori giornalieri superiori a 50 mm. I colori distinguono i bacini (Minori, Cedrino e Flumendosa, rispettivamente).

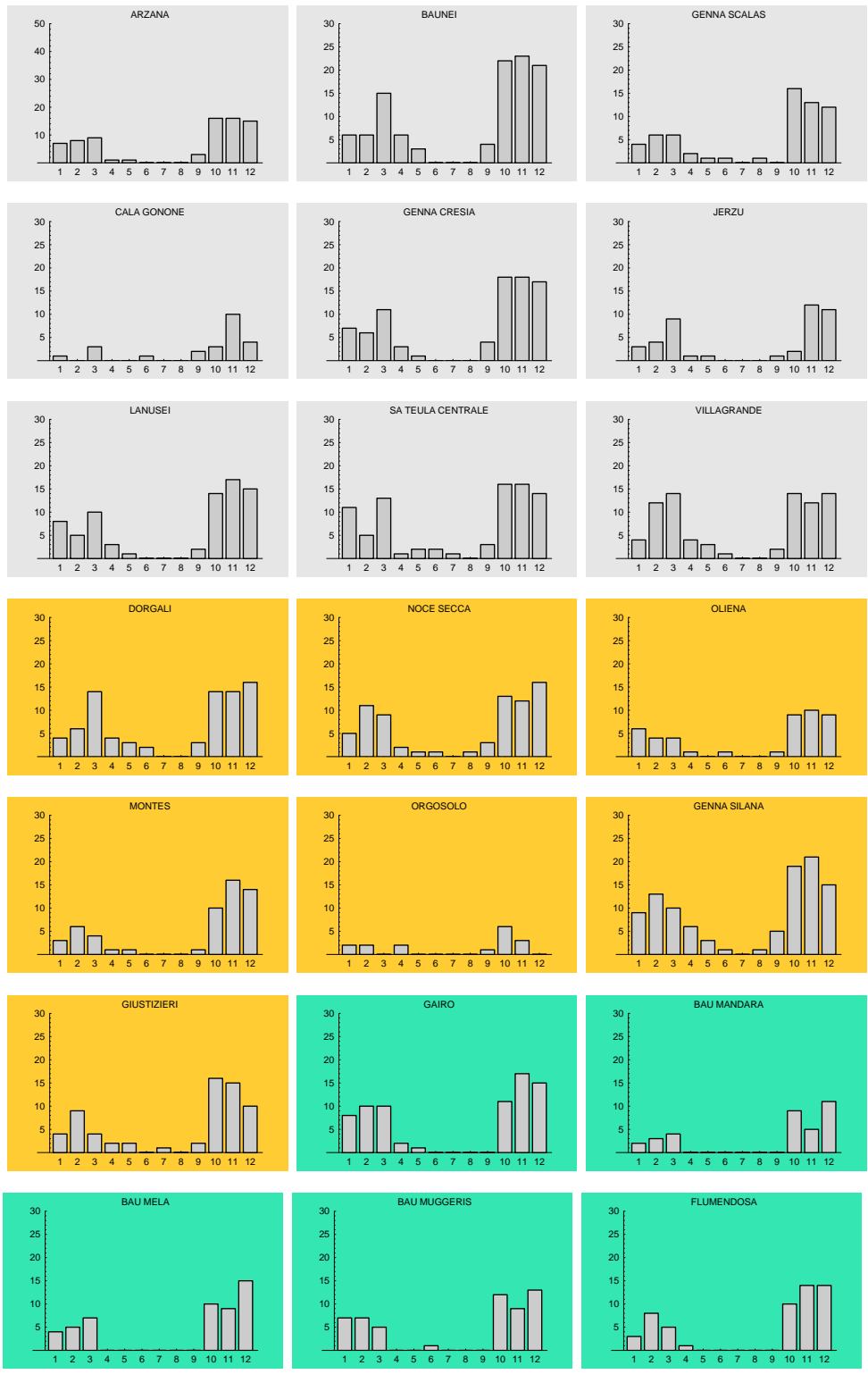


Figura 11: Frequenze assolute mensili dei valori giornalieri superiori a 80 mm. I colori distinguono i bacini (Minori, Cedrina e Flumendosa, rispettivamente).

Concludiamo questa sezione spendendo qualche parola sulle correlazioni tra alcuni indici di piovosità e tra questi e le caratteristiche geografiche delle stazioni (quota, pendenza, distanza dal mare ed esposizione; si veda Tabella 1). L'argomento è di sicuro interesse, ma l'analisi è resa difficoltosa dal basso numero di stazioni considerate. Si è pertanto preferito rappresentare, in uno schema bidimensionale, le caratteristiche geografiche delle stazioni ed alcuni indici di interesse, piuttosto che riportare gli esiti, per altro incerti, di una analisi di correlazione vera e propria.

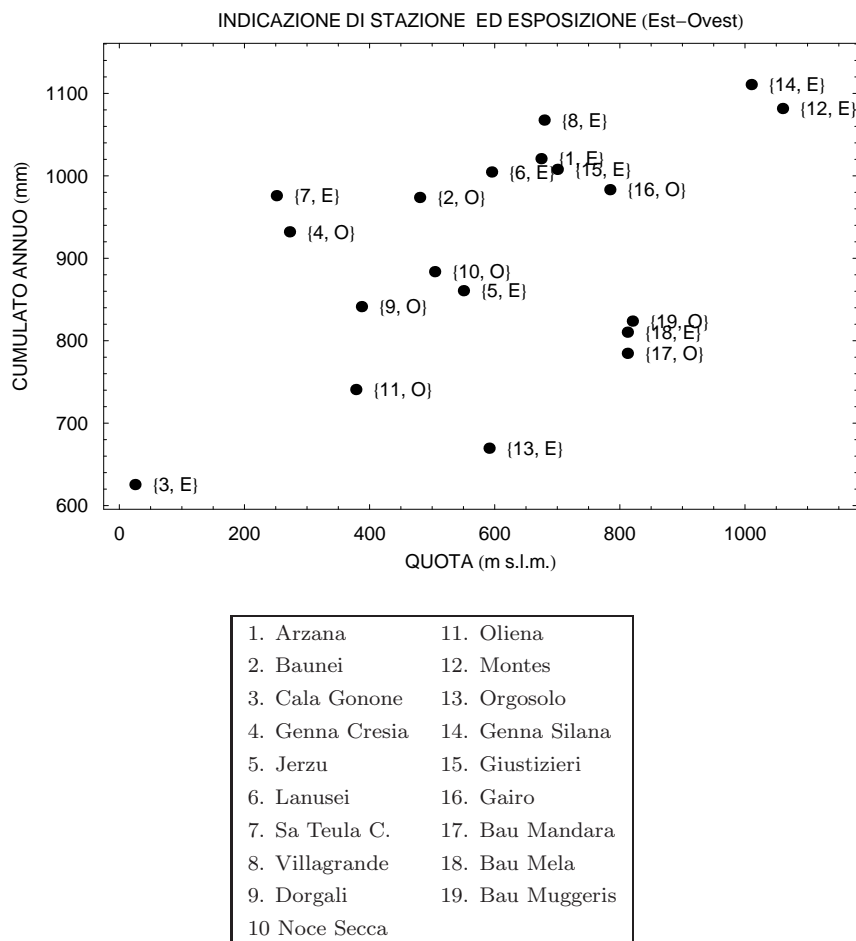
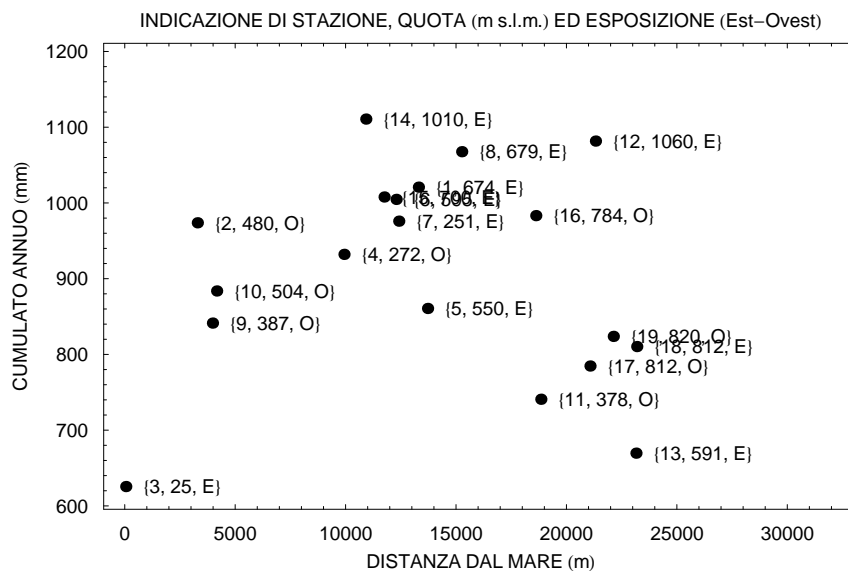


Figura 12: Cumulato climatico dei valori  $\geq 1$  mm a confronto con la quota della stazione e con la sua esposizione.

La Figura 12 mostra come, in questa zona, la relazione lineare positiva tra la quota ed il cumulato annuo non venga rispettata dalle stazioni ricadenti nel bacino Flumendosa e dalla stazione di Orgosolo (nelle Figure 12–13 sono riportate anche le stazioni scartate dall'analisi

dei trend, visto il carattere climatico delle grandezze considerate). La Figura 13 invece mostra conferma la relazione tra cumulato annuo e distanza dal mare per tutte le stazioni del bacino Minori e per quelle limitrofe ricadenti nel bacino Cedrino.



1. Arzana	11. Oliena
2. Baunei	12. Montes
3. Cala Gonone	13. Orgosolo
4. Genna Cresia	14. Genna Silana
5. Jerzu	15. Giustizieri
6. Lanusei	16. Gairo
7. Sa Teula C.	17. Bau Mandara
8. Villagrande	18. Bau Mela
9. Dorgali	19. Bau Muggeris
10. Noce Secca	

Figura 13: Cumulato climatico dei valori  $\geq 1$  mm a confronto con la distanza dal mare, la quota e l'esposizione della stazione.

## 6. Analisi dei *trend*

L'analisi si riferisce alle stazioni giudicate come omogenee.

### 6.1 Indici e metodologia

Per l'analisi dei *trend* sono stati considerati, alla scala *annuale*, sia indici rappresentanti la situazione complessiva di piovosità, sia indici più strettamente descrittivi del comportamento degli eventi estremi. Per quanto riguarda i primi, si è esaminato:

- la frequenza relativa<sup>4</sup> di giorni piovosi (cioè, con  $\geq 1$  mm); **F**
- la frequenza relativa dei giorni completamente asciutti; **F<sub>0</sub>**
- il cumulato dei giorni  $\geq 1$  mm; **TP** (*total precipitation*<sup>5</sup>)
- la precipitazione media in un giorno piovoso; **PI** (*precipitation intensity*)
- il massimo annuo; **M**
- i quantili calcolati sui soli giorni piovosi  $q_{0.50}^*$ ,  $q_{0.60}^*$ ,  $q_{0.70}^*$ ,  $q_{0.80}^*$ ,  $q_{0.90}^*$ ,  $q_{0.95}^*$ ,  $q_{0.98}^*$  e  $q_{0.99}^*$
- la frequenza relativa dei giorni piovosi di intensità nelle classi  $[1, 10)$  mm,  $[10, 20)$  mm, e  $[20, 40)$  mm (si veda Tabella 6).

Per approfondire ulteriormente l'andamento delle precipitazioni si sono analizzati i dati anche alla scala mensile: la riduzione della scala temporale introduce, in generale, una maggiore variabilità inter-annuale, rendendo l'analisi dei *trend* più difficoltosa. Tuttavia si è ritenuto opportuno perlomeno visualizzare tali dati con l'intento di determinare se, pur mancando un segnale chiaramente riconoscibile di andamento lineare, forse anche a causa del breve periodo considerato, sia possibile individuare dei più generici segnali di cambiamento. Gli indici considerati alla scala mensile sono:

- la frequenza assoluta dei giorni piovosi;
- il cumulato mensile (dei giorni piovosi);
- la precipitazione media di un giorno piovoso;
- la proporzione di cumulato annuo dovuta al mese considerato;

---

<sup>4</sup>La frequenza relativa è stata preferita a quella assoluta per tener conto della diversa "lunghezza" degli anni, causata dai valori mancanti

<sup>5</sup>Poichè la scelta di alcuni indici fa riferimento a Haylock e Nicholls (2000) si sono adottati gli acrostici dai termini inglesi.



- la proporzione di giorni piovosi all'anno dovuta al mese considerato.

Per mettere in evidenza gli eventi estremi si sono considerati indici calcolati, alla scala annuale, a partire dai quantili climatici ricavati dai soli giorni piovosi, quali:

- il cumulato annuo dei valori superiori al quantile climatico della stazione; **TEP** (*total extreme precipitation*)
- la proporzione di TP dovuta ai valori superiori al quantile climatico della stazione, definita come  $TEP/TP$ ; **EP** (*extreme proportion*)
- la media dei valori superiori al quantile climatico; **EI** (*extreme intensity*)
- la proporzione di eventi intensi per decade, calcolata sia sul complesso dei giorni (piovosi e non) che sul solo insieme dei giorni piovosi.

La Tabella 9 riporta, insieme ai quantili climatici di ordine 0.95, 0.98 e 0.99 già indicati in Tabella 5, i valori di lungo periodo di EP (in %) e del numero annuo di eventi di piovosità superiore al quantile climatico (EF, *extreme frequency*). Come si può vedere, il contributo dei giorni di piovosità superiore al quantile climatico di ordine 0.95 è sempre superiore al 20%, più spesso al 30%, con una punta del 36.2% ad Arzana. Tale contributo è supportato da un numero medio di giorni variabile tra i 3 ed i 4.5 circa. Passando all'ordine 0.98, il contributo dei valori estremi varia tra il 13% ed il 22%, ed è spesso prossimo al 20%, mentre il contributo delle piogge superiori al quantile climatico di ordine 0.99 varia tra il 10% ed il 15%, picco raggiunto a Genna Silana. La Tabella mostra anche come, per quanto riguarda l'indice EP, si possa solo fare riferimento, per l'analisi dei *trend*, al quantile climatico di ordine 0.95, fornendo gli altri soglie troppo alte e, quindi, un numero troppo basso (spesso nullo) di eventi per anno.

Sembra necessario fornire qualche commento sugli indici adottati, con particolare riferimento a TEP, EP ed EI. La scelta di usare i quantili di lungo periodo di ciascuna stazione come soglia per la definizione di evento estremo, anziché un valore comune arbitrariamente fissato, vuole tener conto della diversità delle stazioni considerate come descritta nella Sezione 3.1 (cfr. Haylock e Nicholls, 2000). La scelta di calcolare il quantile sui soli giorni piovosi piuttosto che sull'insieme completo dei giorni è, invece, largamente arbitraria. Confrontando la Tabella 3 con la Tabella 9 si può notare come le soglie indicate dal quantile di ordine 0.95 calcolato sui soli giorni piovosi siano confrontabili con quelle ottenute dal quantile di ordine 0.99 calcolato su tutti i dati.

Per ultimo, menzioniamo che in letteratura, talvolta, all'analisi dei quantili si preferisce

Tabella 9: Indicatori climatici estremi, riferiti ai soli dati  $\geq 1$  mm ed al periodo 1951–1999.

	stazione	$q_{0.95}^*$	EP(%)	EF	$q_{0.98}^*$	EP(%)	EF	$q_{0.99}^*$	EP(%)	EF
MINORI	Arzana	49.3	36.2	4.3	83.1	20.8	1.8	117.2	12.0	0.7
	Baunei	62.0	33.9	3.4	93.0	20.8	1.6	120.1	14.7	1.0
	Cala Gonone	34.8	32.4	3.7	51.2	19.2	1.8	67.5	12.7	1.0
	Genna Cresia	50.5	32.2	3.6	80.8	20.5	1.7	108.3	12.4	0.8
	Jerzu	39.8	31.9	4.4	60.1	19.3	2.0	83.2	10.5	0.9
	Sa Teula C.	48.4	35.8	4.2	80.8	20.3	1.7	112.5	13.2	0.9
	Villagrande	66.7	32.3	3.2	100.4	19.3	1.5	127.7	13.0	0.8
CEDRINO	Dorgali	53.6	32.4	3.2	81.3	20.4	1.6	103.2	13.7	0.9
	Noce Secca	55.4	33.1	3.1	85.1	21.0	1.6	109.9	14.7	1.0
	Oliena	42.7	29.6	3.1	70.1	16.7	1.2	87.1	13.1	0.8
	Genna Silana	53.7	34.9	4.1	88.5	21.9	2.0	119.9	15.1	1.2
FLUMEN	Bau Mandara	37.1	29.6	3.8	64.0	15.0	1.4	78.4	11.0	0.9
	Bau Mela	38.7	31.7	3.7	70.5	17.6	1.5	89.2	14.0	1.0
	Bau Muggeris	38.5	32.5	3.9	66.9	20.0	1.7	93.2	12.9	0.9

■ Valore massimo nella colonna.

■ Valore minimo nella colonna.

L'analisi di classi di giorni piovosi definite dai giorni di intensità via via crescente che contribuiscono a formare i vari decimi della piovosità totale (Osborn *et al.*, 2000). Per il momento si è preferita l'analisi dei quantili, di più immediata interpretazione.

L'esistenza di *trend* lineari è stata sottoposta a verifica d'ipotesi tramite il test della regressione lineare con significatività pari a 0.05 (Kendall e Ord, 1990). Poiché l'alta variabilità dei dati causa, generalmente, la presenza di dati influenti, si è scelto di rifiutare l'ipotesi nulla di assenza di *trend* lineare solo se il test produce risultati statisticamente significativi anche dopo la rimozione di tali dati, e viceversa. Tipicamente, per valori influenti qui si sono intesi i *valori molto alti o molto bassi, isolati, agli estremi del periodo* considerato. Si è preferito non dare accezione statistica al termine “dato influente”, non avendo significato, in questo contesto, l'applicazione di tutte le tecniche di diagnostica della regressione lineare. Così facendo si è introdotto, inevitabilmente, un forte elemento di soggettività che, tuttavia, ci pare necessario: esso corrisponde alla convinzione che, per dirsi significativo, un *trend* sul periodo  $[T_1, T_2]$  deve essere riscontrabile per lo meno anche nel periodo  $[T_1 + 1, T_2]$  o nel periodo  $[T_1, T_2 - 1]$ . La Figura 14 mostra un esempio della procedura applicata, e delle relative difficoltà. La regressione applicata all'intero insieme di dati, esclusi i valori nulli (si veda, in proposito, poco più avanti), risulta fortemente significativa, ma è chiaramente influenzata dai dati molto elevati di inizio periodo, cerchiati in rosso. Una volta rimossi, il *trend* scompare

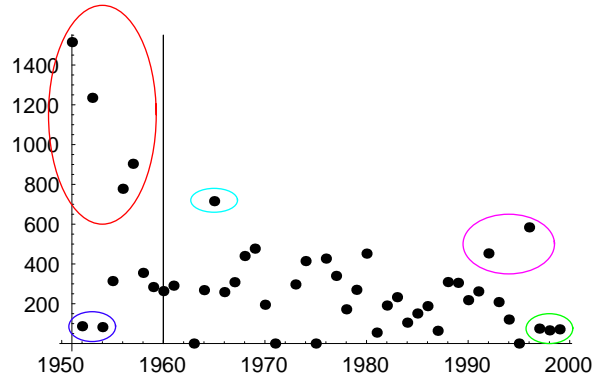


Figura 14: Una esemplificazione del problema dei valori influenti.

( $p$ -valore pari a 0.21). Tuttavia questo secondo risultato è influenzato dai valori molto bassi ad inizio periodo, cerchiati in blu: rimuovendo *anche* questi valori il *trend* torna ad essere significativo ( $p$ -valore pari a 0.02). La presenza di dati molto bassi alla fine del periodo, cerchiati in verde, sembra essere la causa di questo risultato: la loro rimozione, infatti, torna ad annullare il *trend*. Tuttavia, ciò è causato anche dai valori elevati cerchiati in magenta, la cui rimozione ripristina la significatività del *trend* ( $p = 0.01$ ), che resta confermato anche dalla rimozione del dato cerchiato in azzurro. Così procedendo sono stati rimossi 12 valori, 6 dei quali concentrati nel periodo 1951–1960. In effetti, l’alta variabilità di questo periodo è comune a tutta l’area (e, anzi a tutta la regione), così nell’analisi dei *trend* si è prediletto il sotto-periodo 1960–1999, perlomeno laddove il numero di dati sia risultato sufficiente a garantire l’affidabilità dei risultati. Nella Sezione 6.2 verranno appunto indicati i *trend* significativi rilevati su questo periodo.

Infine per gli indici TEP, EI ed EP i valori nulli che appaiono nei grafici, che sono causati dall’assenza di eventi superiori al quantile di lungo periodo, sono stati eliminati perchè troppo influenti. Essi vengono quindi trattati come dei dati mancanti, ma riteniamo che sia necessario uno sforzo per prenderli in considerazione: una loro concentrazione in un certo periodo, per esempio, rappresenta un’informazione sostanziale, da non confondersi con l’assenza di informazione. Aver considerato tra gli indici la proporzione di eventi intensi per decade calcolata sia sul complesso dei giorni (piovosi e non) che sul solo insieme dei giorni piovosi fornisce una prima risposta a questo problema.

Nel caso di Figura 14 il risultato finale dell’analisi è rappresentato in Figura 15 e mostra un *trend* decrescente ( $p = 0.02$ ) a partire dagli anni Sessanta. Il caso qui mostrato è per un verso, esplicativo del tipo di procedimento che ha portato ai risultati che verranno tra po-

co illustrati, per l'altro estremamente esemplificativo anche delle difficoltà che si incontrano nell'analisi di *trend* climatici.

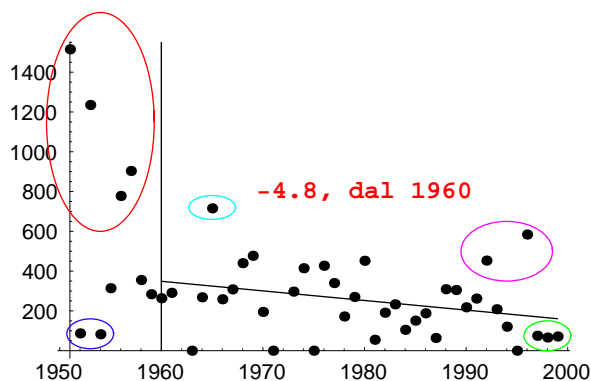


Figura 15: *Trend*: la pendenza indicata corrisponde ai dati ottenuti rimuovendo i valori influenti ed i valori nulli. Periodo 1960–1999.

## 6.2 Risultati

Le Figure 16–32 illustrano primariamente i trend significativi ottenuti, ma anche alcuni grafici che danno un'indizio preciso di variazione, per esempio mostrando differenze nella variabilità inter-annuale. In generale, i *trend* significativi sono pochi e riguardano principalmente le stazioni di Dorgali, Bau Mandara, Bau Mela e Bau Muggeris. Tutte le altre stazioni mostrano un trend in qualcuno degli indici, ma in modo disomogeneo. In particolare, Baunei, Jerzu e Noce Secca mostrano solo qualche *trend* alla scala mensile. In molti casi, tuttavia, si sono ottenute delle significatività superiori a 0.05 ma inferiori a 0.10: la disponibilità di dati relativi agli ultimi anni può diventare, quindi, indispensabile per arrivare ad un giudizio, per così dire, definitivo.

Nelle figure che mostrano i *trend* si è preferito evidenziare l'anno 1960, per la già citata variabilità della prima decade, ed indicare, quindi, la pendenza stimata (in rosso) a partire da questa data. Nella maggior parte dei casi, comunque, questo trend può essere esteso (nel senso della significatività, non del coefficiente) all'intero periodo. Si sono indicati anche alcuni trend (usando il colore nero per la pendenza) che, pur evidenti dal 1951 e robusti agli *outlier*, spariscono dal 1960. Sicuramente, questa operazione è stata compiuta per Villagrande, i cui *record* terminano nel 1984 (cfr. Tabella 3).

6.2.1 Indici annuali.

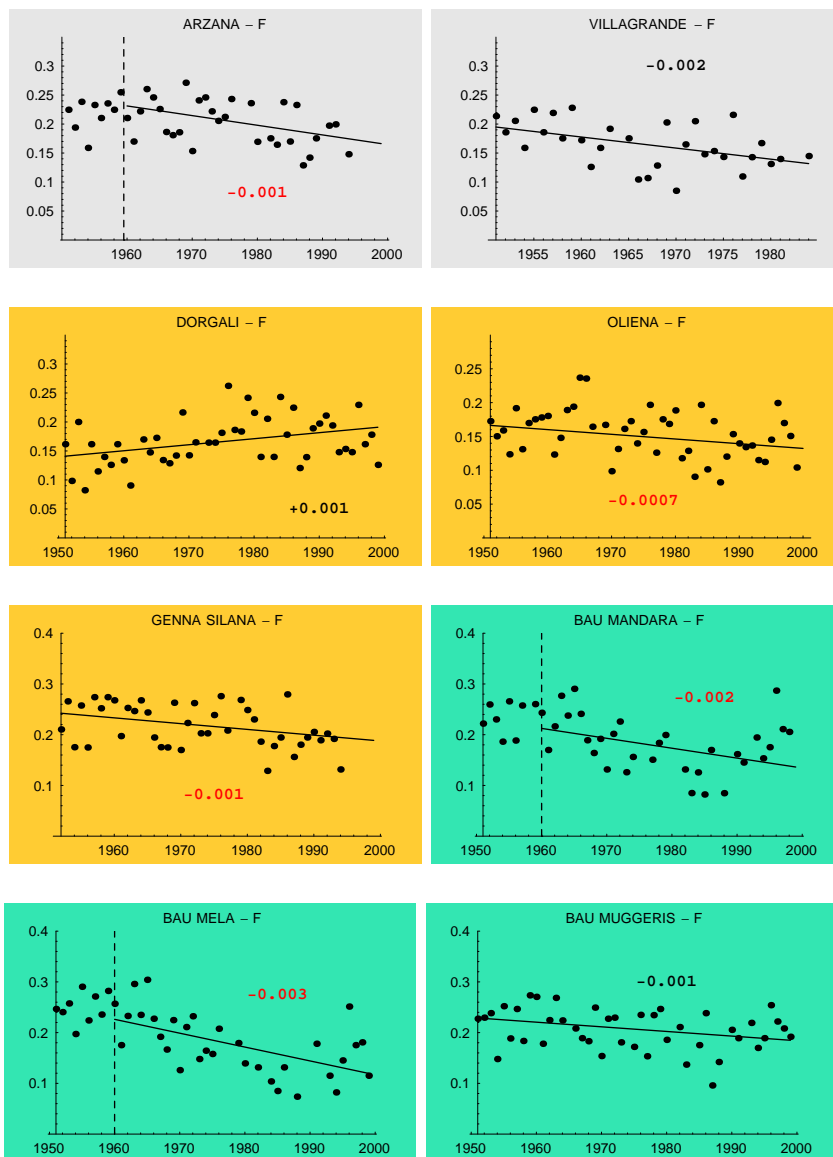


Figura 16: Frequenza relativa di giorni piovosi. Si noti il trend in controtendenza di Dorgali.

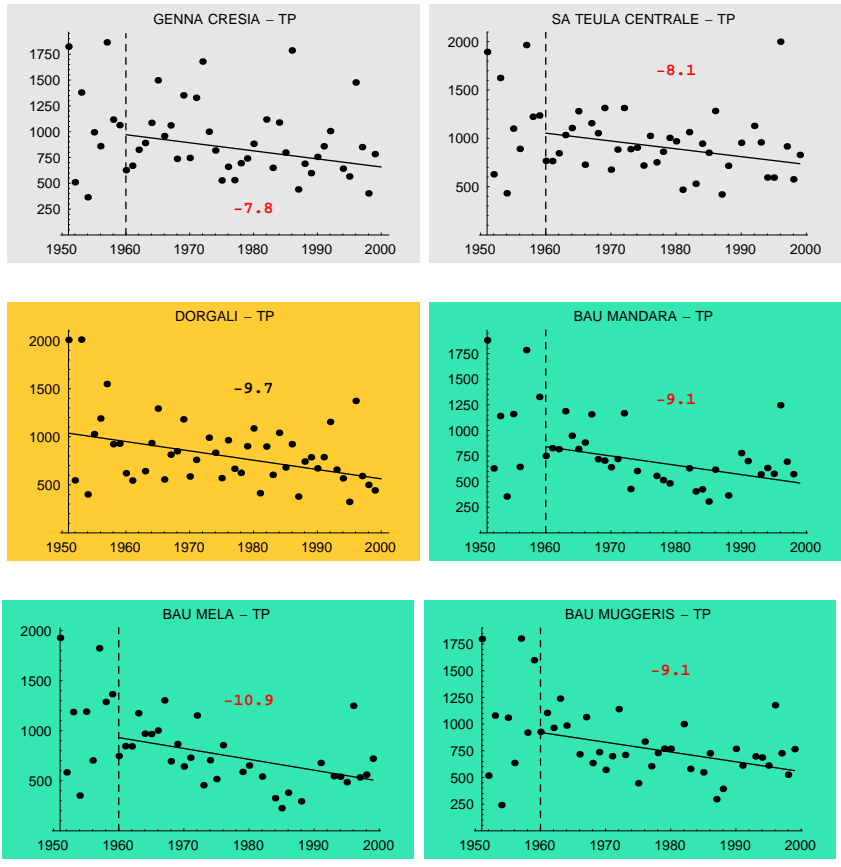


Figura 17: Cumulato annuo.

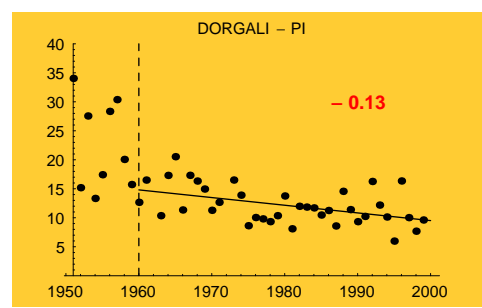


Figura 18: Precipitazione media di un giorno piovoso.

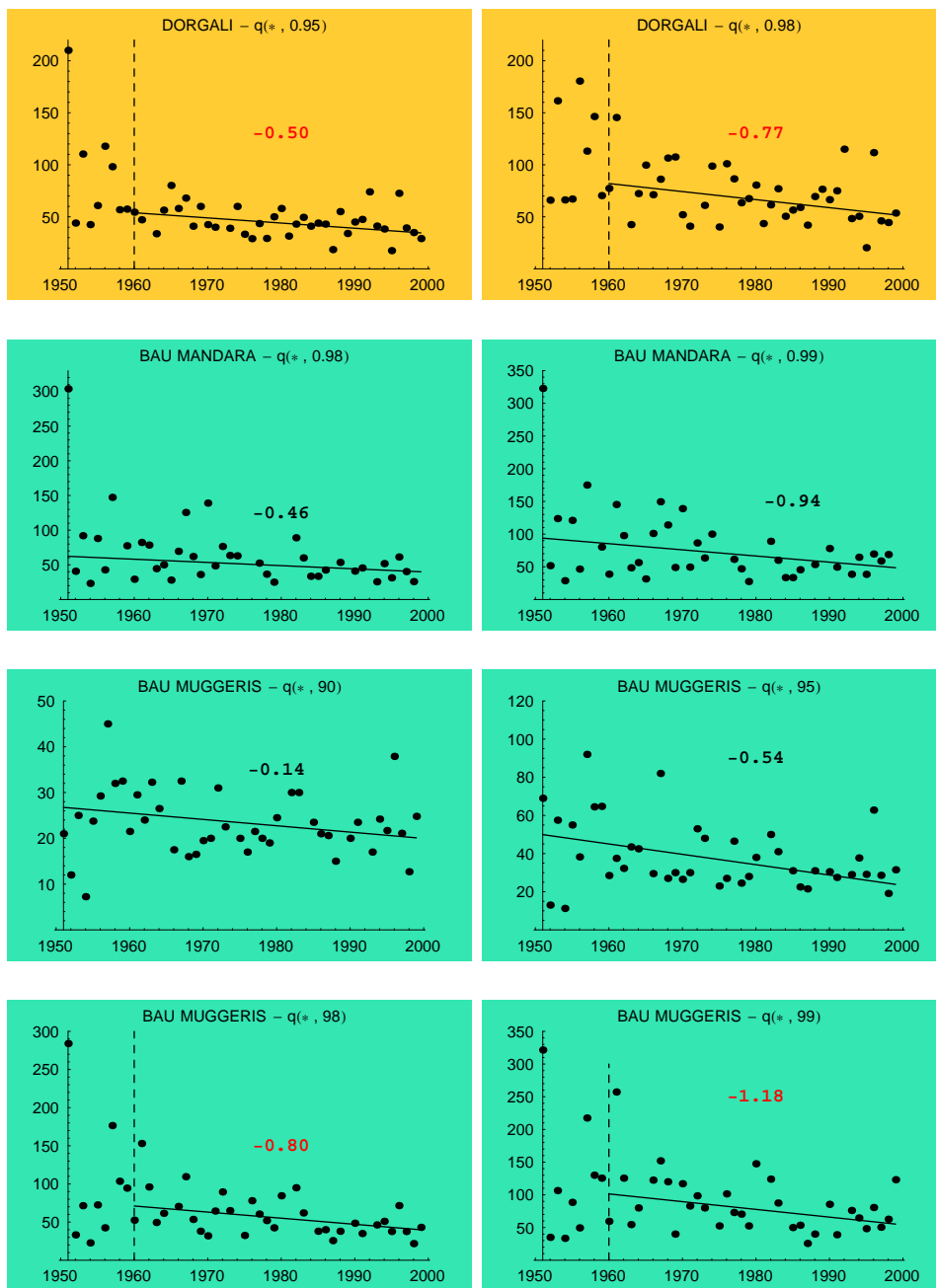


Figura 19: Quantili sui giorni piovosi. Andamenti per stazioni invece che per indice.

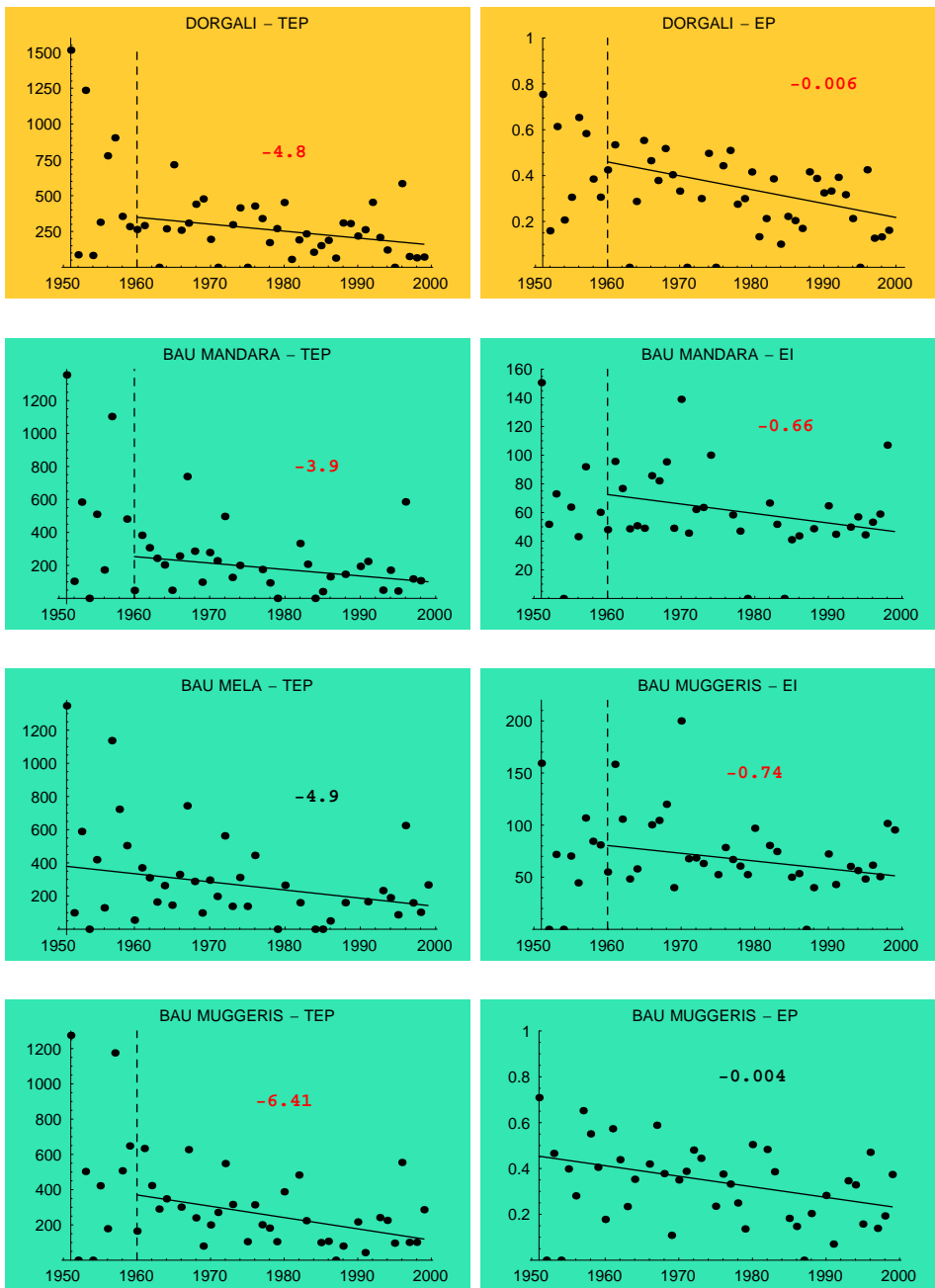


Figura 20: Indici di valori estremi. Andamenti per stazioni invece che per indici.



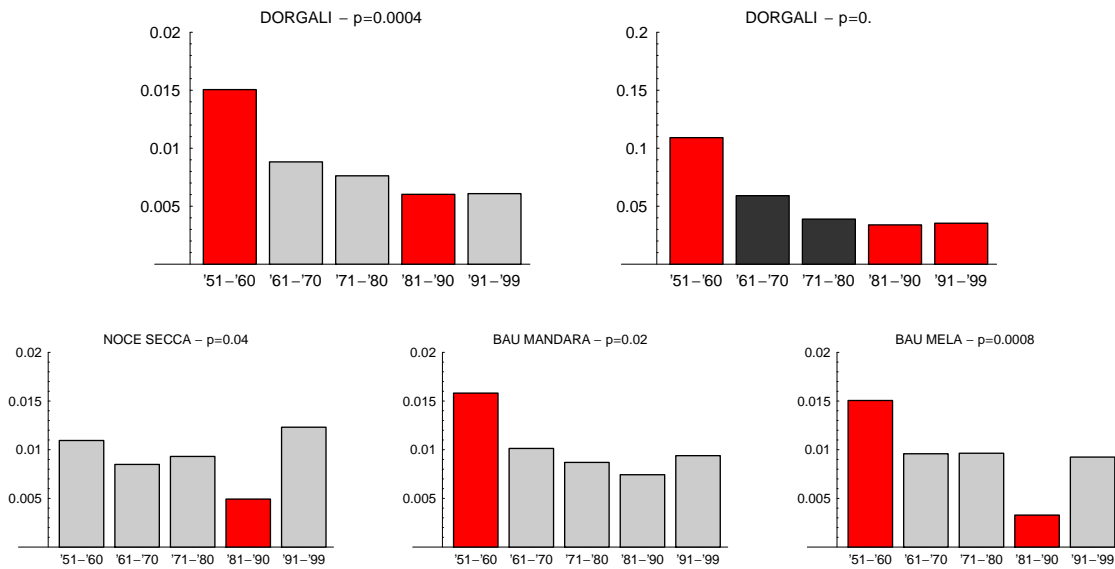


Figura 21: Analisi per decenni sul numero di valori estremi. Il diagramma a barre grige si riferisce alla proporzione sul totale dei giorni, quello a barre nere alla proporzione sui giorni piovosi. In entrambi, le barre rosse indicano le decenni influenti (Everitt, 1992). La figura riporta i grafici corrispondenti alle uniche significatività  $< 0.05$  ottenute: la rimozione della prima decade ha sempre portato ad una perdita di significatività.

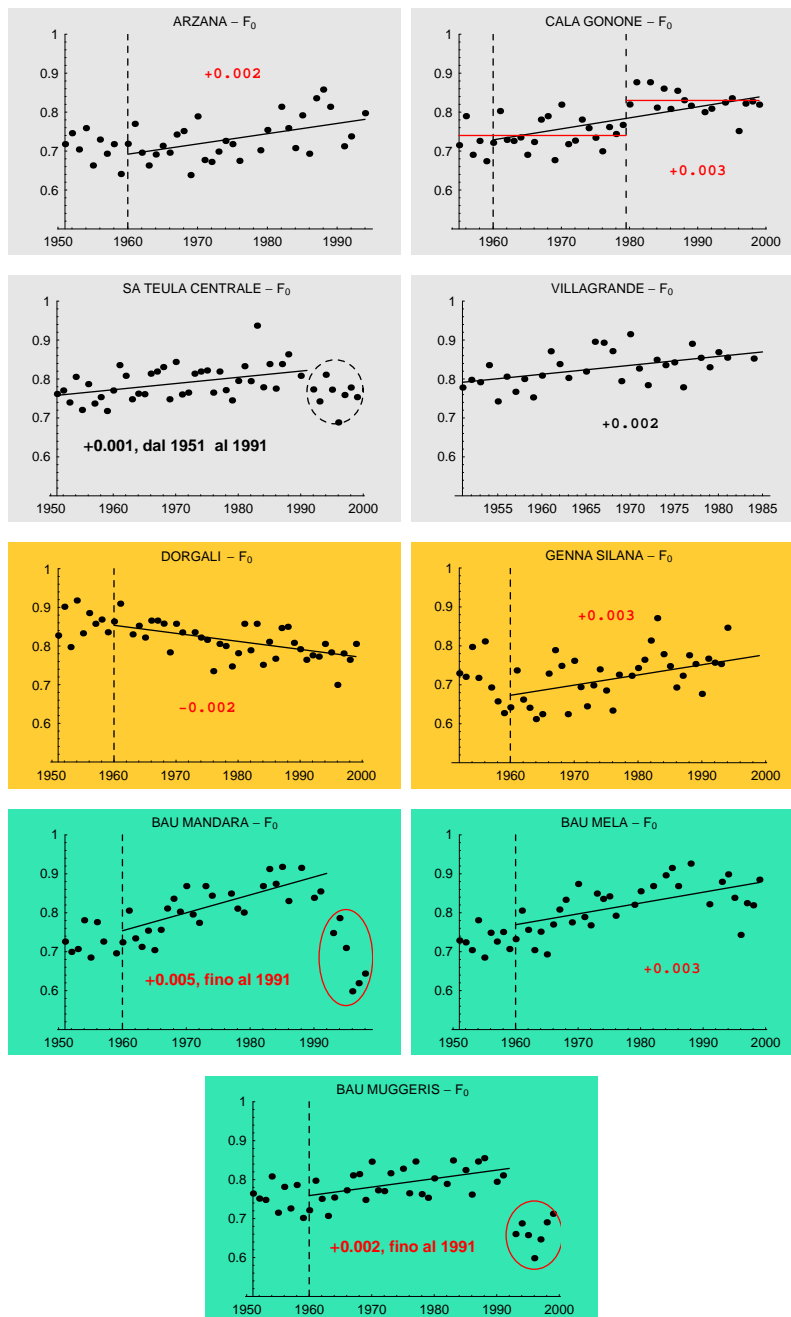


Figura 22: Frequenza relativa dei giorni asciutti. Si notino: il comportamento a salti dell'indice a Cala Gonone, comportamento che non viene rilevato in altri indici calcolati sulla stazione; il trend in controtendenza di Dorgali e gruppi anomali di dati a Sa Teula Centrale, Bau Mandara e Bau Muggeris.

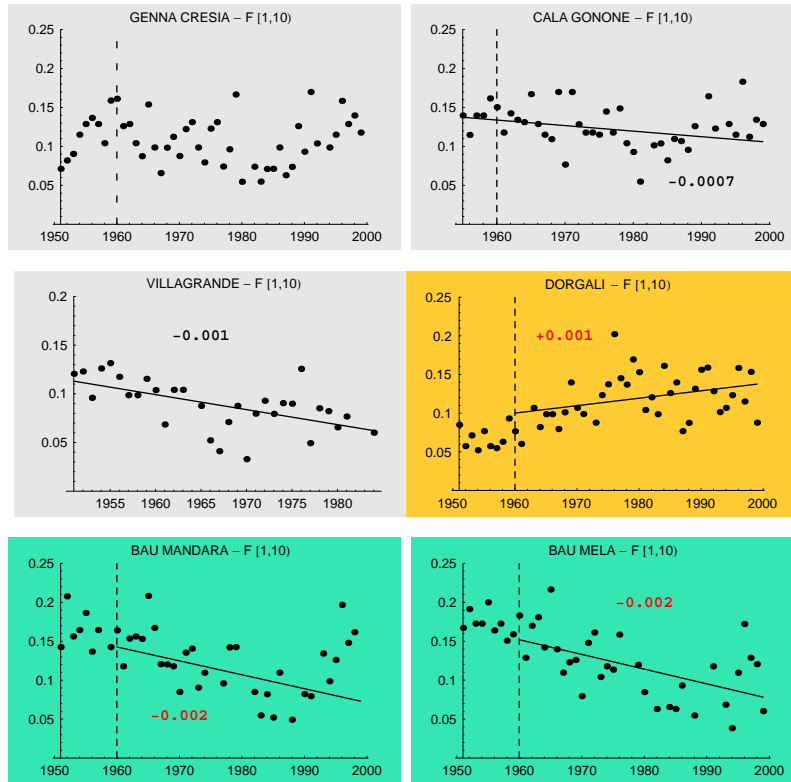


Figura 23: Frequenza relativa dei giorni di intensità in  $[1, 10)$  mm. Si noti il trend in controtendenza di Dorgali.

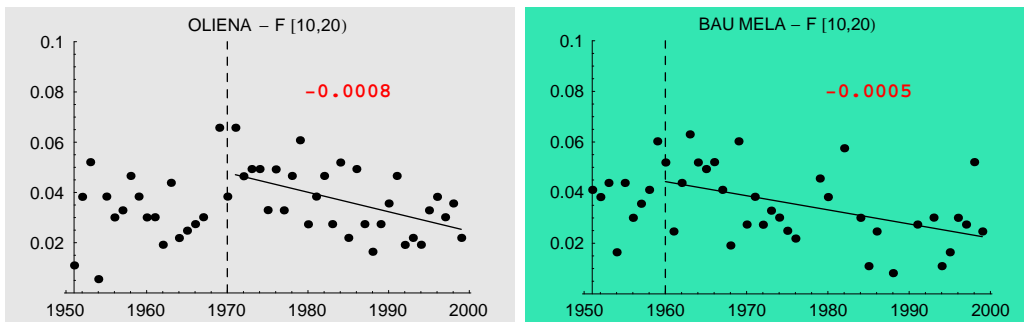


Figura 24: Frequenza relativa dei giorni di intensità in  $[10, 20)$  mm.

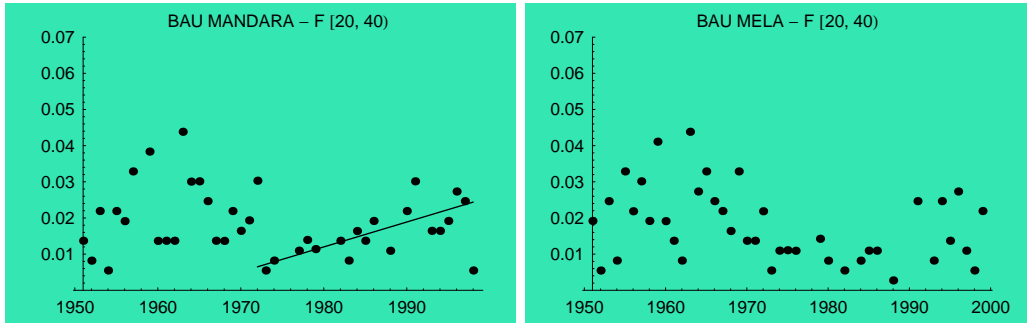


Figura 25: Frequenza relativa dei giorni di intensità in  $[20, 40)$  mm.

6.2.2 *Analisi mensile.* Nelle Figure 26–32 si fa riferimento alle seguenti notazioni:

- frequenza assoluta dei giorni piovosi:  $F_0$
- cumulato mensile: TP
- precipitazione media di un giorno piovoso: PI
- proporzione di giorni piovosi annui dovuta al mese in esame:  $F/\text{anno}$
- proporzione di cumulato annuo dovuta al mese in esame:  $TP/\text{anno}$ .

In generale i risultati ottenuti si riferiscono principalmente al periodo da marzo a settembre. I mesi da maggio ad agosto sono stati raggruppati nella cosiddetta *estate*, per via della scarsissima piovosità che li caratterizza (cfr. Figura 9). I risultati riportati nelle Figure 26–32 sono suddivisi per *mese*: si presti dunque attenzione alla differenza tra gli indici rappresentati nella medesima figura. Si è lasciato il colore ad indicare il bacino di appartenenza (colore grigio per il bacino Minori, arancio per il Cedrino e verde per il Flumendosa).

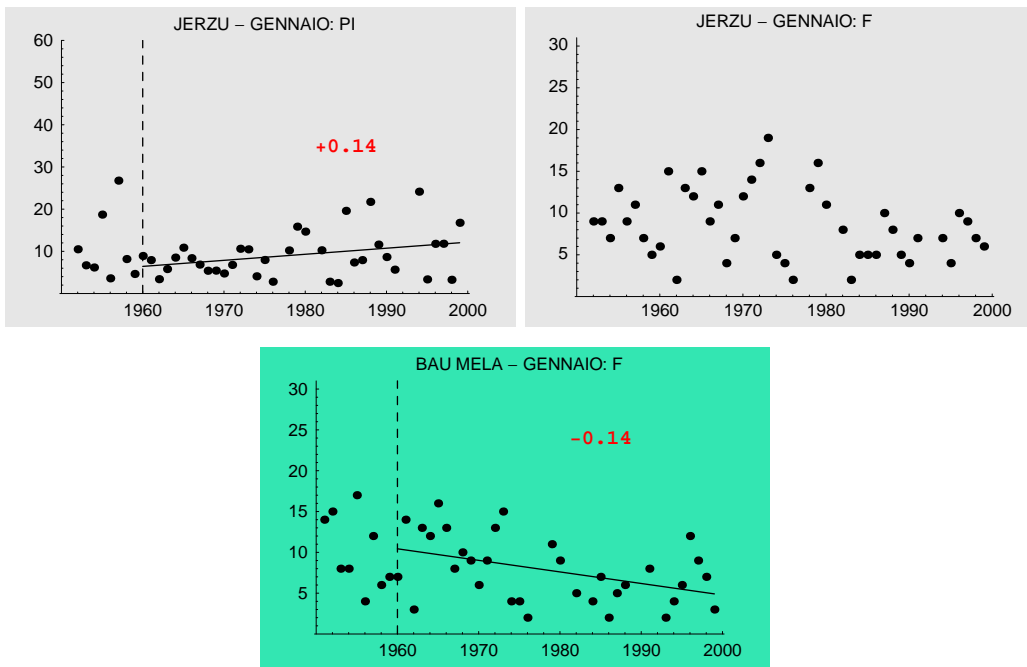


Figura 26: Gennaio.

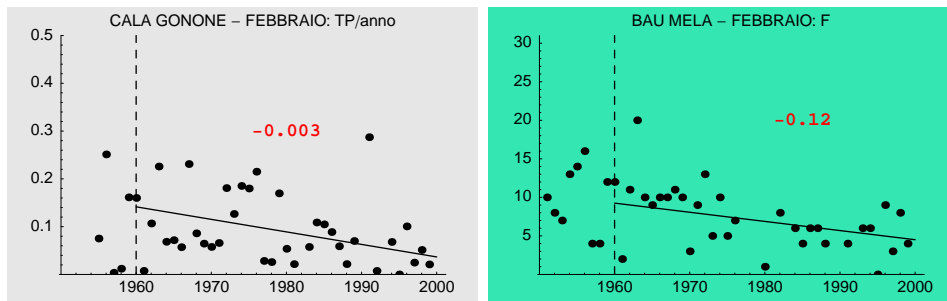


Figura 27: Febbraio.

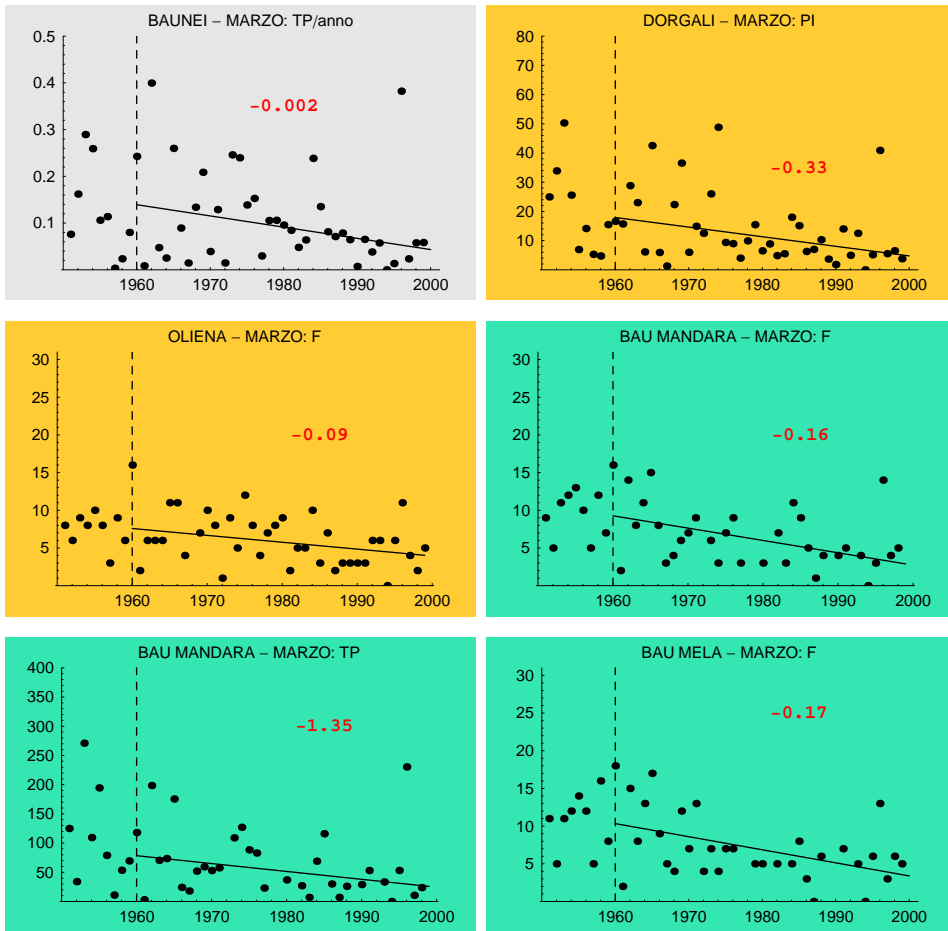


Figura 28: Marzo.

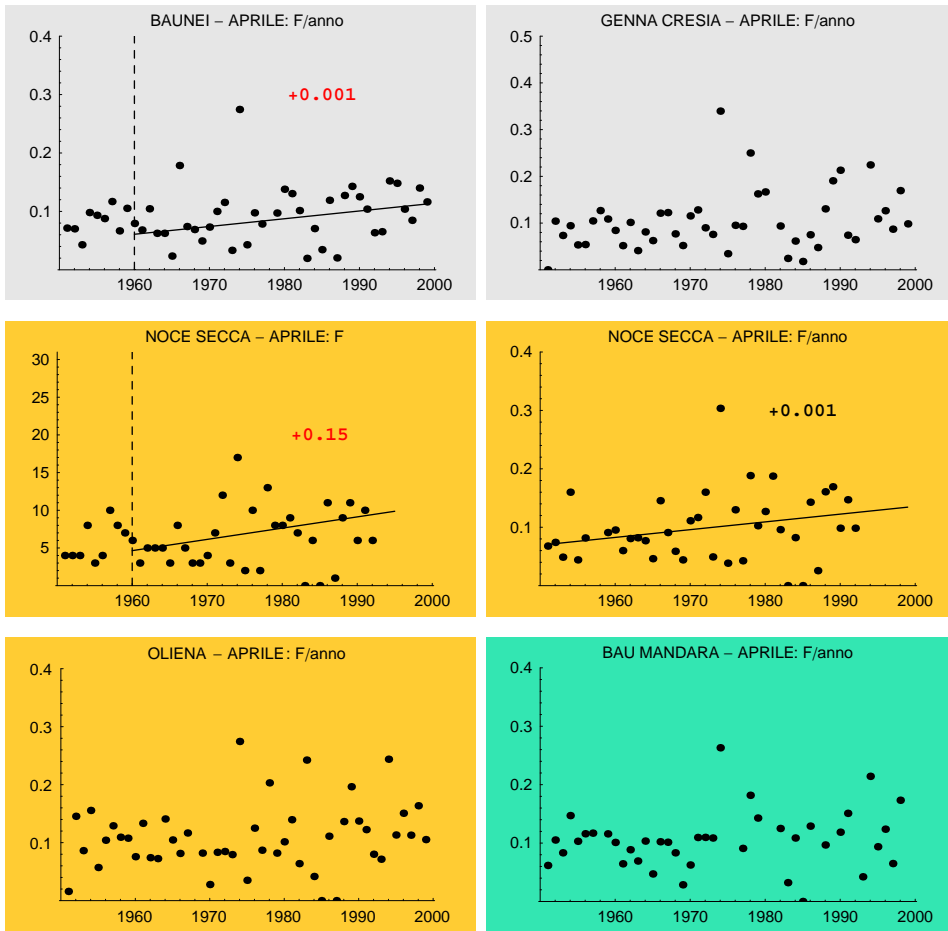


Figura 29: Aprile.

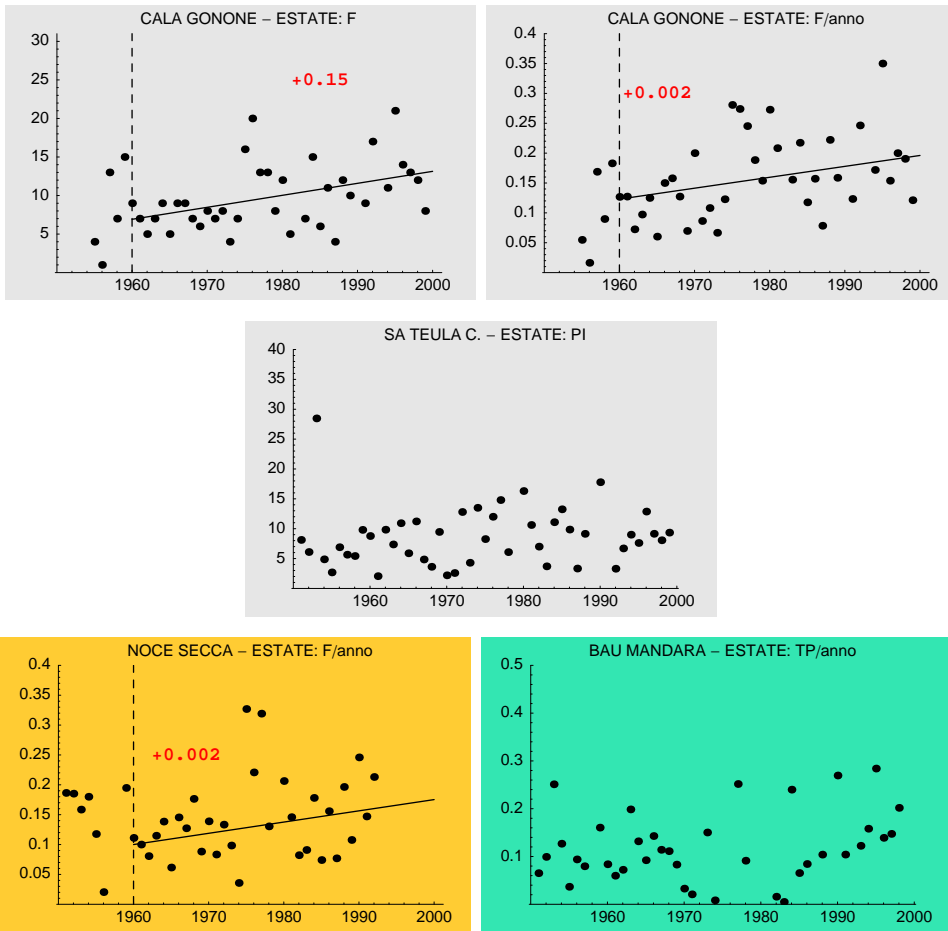


Figura 30: Estate: maggio-agosto.



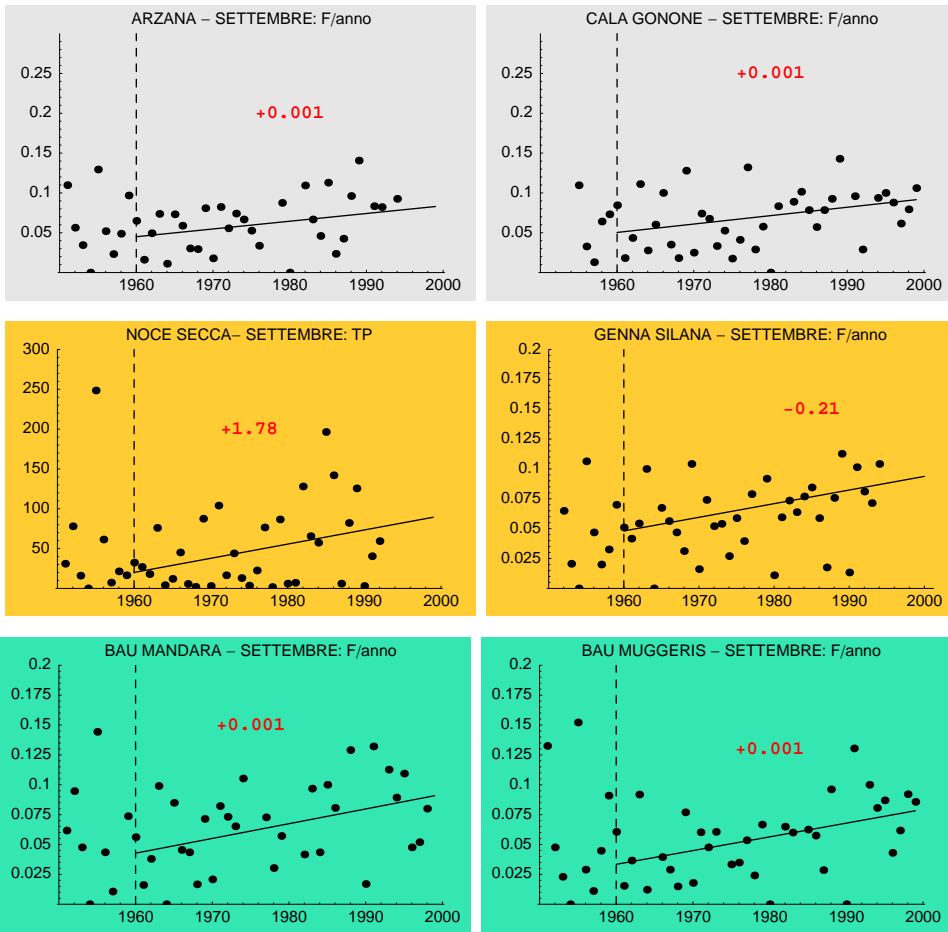


Figura 31: Settembre.

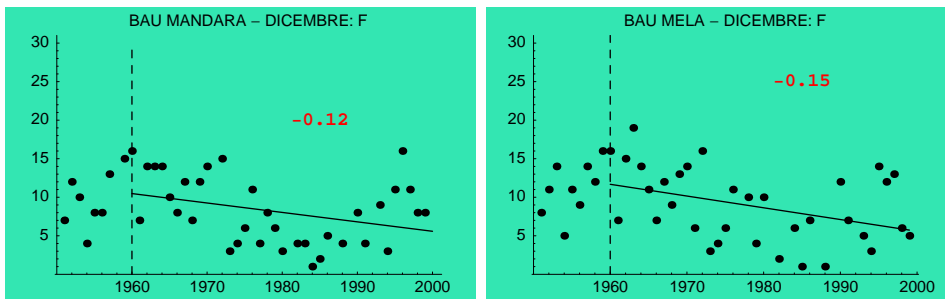


Figura 32: Dicembre.

## 7. Conclusioni

Diversi punti di discussione, sia negli aspetti più metodologici sia nei risultati ottenuti, sono già stati introdotti nelle sezioni precedenti e, quindi, verranno qui solo riassunti.

I risultati, nella loro complesso, non consentono di effettuare considerazioni sulla presenza di *trend* importanti del campo di precipitazione nel bacino idrografico Minori, il bacino di riferimento principale per l'Ogliastro. Poche sono le stazioni che, per le diverse variabili considerate, mostrano tendenze significative e non vi è unicità di comportamento neanche tra i dati delle singole stazioni. La frequenza relativa dei giorni piovosi mostra un *trend* significativo solo per le stazioni di Arzana e Villagrande, con un coefficiente angolare che mostra una diminuzione pari a circa il 10% negli ultimi quarant'anni, grosso modo 15–20 giorni complessivamente. Tali valori sono confermati dal *trend* positivo delle frequenze relative dei giorni asciutti, che però si estende anche alle stazioni di Cala Gonone e Sa Teula Centrale. Una significativa diminuzione nei cumulati è osservata solo nelle stazioni di Sa Teula Centrale e Genna Cresia, con circa 320 mm in meno. Villagrande e Cala Gonone mostrano un *trend* significativo decrescente per le piogge di bassa intensità (1–10 mm). Questi risultati consentono di effettuare considerazioni, generalizzabili alla scala di bacino, solo in senso negativo, cioè in termini di generale assenza di tendenze statisticamente significative del campo di precipitazione e degli eventi estremi di pioggia. Emerge tuttavia un risultato interessante a scala locale, relativamente alla stazione di Villagrande, dove la diminuzione di piogge di bassa intensità e di giorni di pioggia, unitamente all'assenza di *trend* sul cumulato annuo mostra come su di essa possa accentuarsi la possibilità di impatto degli eventi estremi, ma tale considerazione è da intendersi, appunto, a scala locale e, pertanto, limitata nella sua estensione spaziale, ed anche temporale vista la brevità della serie.

Come detto in apertura, degli altri due bacini limitrofi sono state considerate solo le stazioni prospicienti l'area di studio e, pertanto, anche per essi non possono essere fatte considerazioni ad ampia scala. Tuttavia risultano degni di nota i *trend* osservati nell'area a nord del Lago Alto del Flumendosa (stazioni di Bau Mandara, Bau Mela, Bau Muggeris). In esse risulta significativa la maggior parte degli indici di scala annuale, e l'indicazione è per una generale diminuzione delle precipitazioni. Infine, del bacino del Cedrino solo Dorgali mostra tendenze significative in molti indici. Tuttavia in alcuni casi queste sono in controtendenza con quelle mostrate nelle altre stazioni, inducendo a supporre un caso di non omogeneità non del tutto visibile dai dati medesimi.

Dal punto di vista metodologico, la questione della omogeneità delle serie storiche menzionata nella Sezione 5 ha senz'altro grosso rilievo. Oltre al problema specifico della verifica

della omogeneità di una serie, nel caso di molti indici e di scale diverse resta aperto il problema delle tecniche di correzione della non-omogeneità stessa.

Un'altra questione riguarda la definizione di *outlier* o valore influente. Se infatti è chiaro che un dato molto grande o molto piccolo all'inizio o alla fine della serie risulta facilmente identificabile come *outlier*, senza ricorrere a definizioni rigorose, queste sono richieste quando si considerino come influenti dati soltanto *prossimi* all'inizio o alla fine, che si differenziano dall'andamento medio dei dati vicini. In questi casi l'arbitrarietà nelle decisioni può essere più rilevante.

Un'altra questione che si è cercato di evidenziare, soprattutto nelle Figure 25-32, è il presentarsi, in modo più o meno graduale, di variazioni nella variabilità inter-annuale dei dati di alcuni indici. Quale significato attribuire loro, una volta scartata l'ipotesi di non omogeneità perchè non supportata dall'analisi complessiva degli indici? Come testare tali variazioni?

Le problematiche menzionate costituiranno parte del lavoro futuro, che riguarderà l'intera Sardegna.

## Ringraziamenti

Gli autori ringraziano l'Ing. G. Puligheddu, responsabile del Settore Idrografico dell'Assessorato ai Lavori pubblici della Regione Sardegna, per aver collaborato al controllo dell'omogeneità delle stazioni e tutti i colleghi del Servizio Agrometeorologico Regionale, per le frequenti e chiarificatrici discussioni sulla tematica.

# Appendice

Le Figure 33–36 mostrano, per le stazioni di Montes, Gairo, Lanusei ed Orgosolo, alcuni indici dal comportamento “a salti, con eventuale trend”, tipico segnale di non omogeneità climatica. Vale la pena di notare che è stato proprio il confronto dell’andamento di molti indici a mettere in risalto tali risultati, che spesso non emergono dall’analisi di un unica variabile.

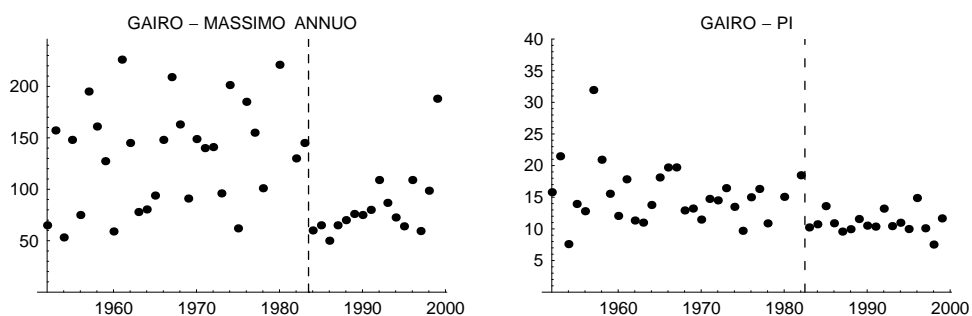


Figura 33: Massimo annuo e precipitazione media in un giorno piovoso, a Gairo: a partire dai primi anni Ottanta la variabilità si riduce notevolmente.

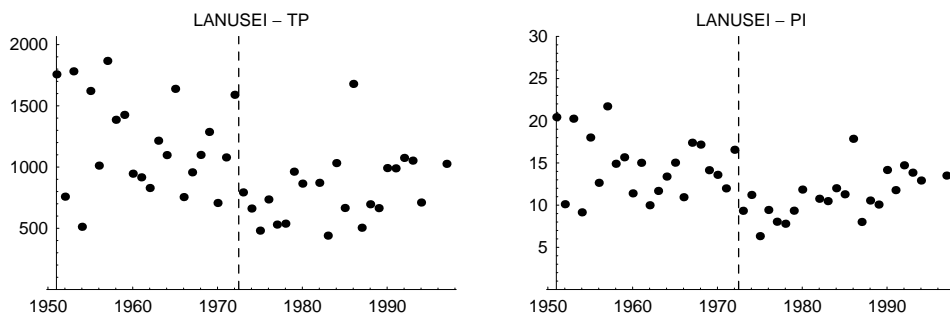


Figura 34: Cumulato annuo e precipitazione media in un giorno piovoso, a Lanusei: a partire dai primi anni Settanta i valori si abbassano, si riduce la variabilità e si nota un trend crescente. I grafici di ciascuno degli indici considerati mostrano una sorta di minimo attorno al 1970.

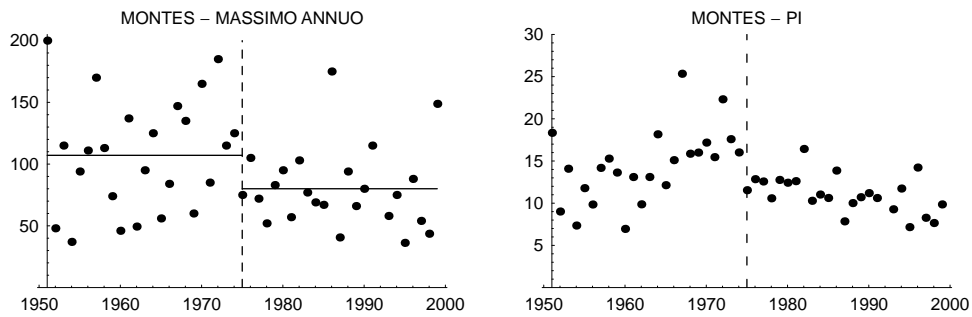


Figura 35: Massimo annuo e precipitazione media in un giorno piovoso, a Montes: a partire dalla metà degli anni Settanta il comportamento muta completamente.

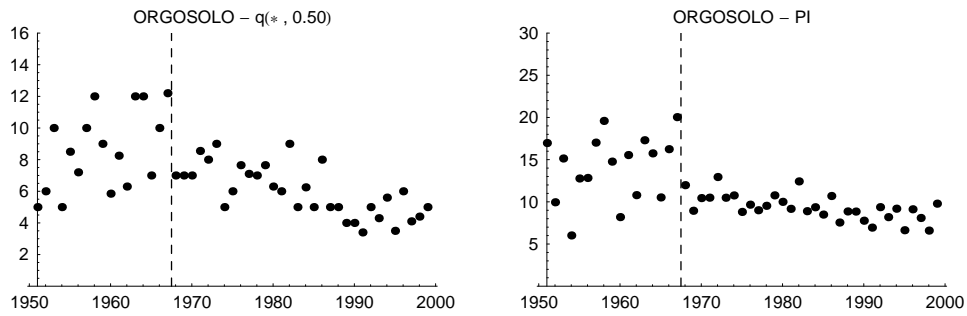


Figura 36: Quantile  $q_{0.50}^*$  e precipitazione media in un giorno piovoso, a Orgosolo: a partire dalla fine degli anni Sessanta i valori si abbassano, si riduce la variabilità e si nota un trend decrescente. I grafici di ciascuno degli indici considerati mostrano un andamento simile.

## Bibliografia

- Antonioli F, Silenzi S, Gabellini M, Mucedda M.** (2003). High resolution climate trend over the last 1000 years from a stalagmite in Sardinia (Italy). *Quaternaria Nova*, **7**, 54–69.
- Benincasa F, Maracchi G, Rossi P.** (1993) Agrometeorologia. Pàtron ed. Bologna.
- Benzi R, Deidda R, Maroccu M.** (1997) Characterization of temperature and precipitation fields over Sardinia with principal component analysis and singular spectrum analysis. *International Journal of Climatology*, **17**, 1231–1262.
- Betrò B, Bodini A, Cossu QA.** (2008) Using a hidden Markov model to analyse extreme rainfall events in Central-East Sardinia. *Environmetrics*, *submitted*
- Brunetti M, Colacino M, Maugeri M, Nanni T.** (2001). Trends in the daily intensity of precipitation in Italy from 1951 to 1996. *International Journal of Climatology*, **21**, 299–316.
- Brunetti M, Maugeri M, Monti F, Nanni T.** (2004). Changes in daily precipitation frequency and distribution in Italy over the last 120 years. *Journal of Geophysical Research*, **109**, D05102, doi:10.1029/2003JD004296
- Chessa PA, Cesari D, Delitala AMS.** (1999). Mesoscale regimes of precipitation and temperature over Sardinia (Italy) and the related synoptic-scale circulations. *Theoretical and Applied Climatology*, **63**, 195–221.
- Cossu QA, De Waele J, Bodini A, Sanna L.** (2007a). The three exceptional winter flash floods of 2004–2006 in Central-East Sardinia and their geomorphological consequences (Italy). European Geosciences Union 2007; Geophysical Research Abstract, **9**, 01842.
- Cossu QA, De Waele J, Di Gregorio F.** (2007b). Coastal Karst geomorphosites at risk? A case study: the floods of 6–11 December 2004 in central-east Sardinia. In *Natural and Anthropogenic Hazards in Karst Areas: Recognition, Analysis and Mitigation*. Geological Society, Paris, M. and Gunn, J. (Eds), London, Special Publications, **279**, 8595. DOI: 10.1144/SP279.8 0305-8719/07/
- Cossu QA, Fiori M, Canu S.** (2005). Comparison of spatial interpolation techniques for agroclimatic zoning of Sardinia (Italy). Workshop on climatic analysis and mapping for agriculture. Bologna, Italy, 14–16 June 2005. FAO–WMO–COST 718.
- Delitala AMS, Cesari D, Chessa PA, Ward MN.** (2000). Precipitation over Sardinia (Italy) during the 1946–1993 rainy seasons and associated large-scale climate variations. *International Journal of Climatology*, **20**, 519–541.
- Duce P, Cesaraccio C, Canu S, Motroni A, Dettori M, Cocco T, Antolini G,**

- Zinoni F.** (2006) Individuazione delle aree agricole e delle colture a forte rischio per variazioni climatiche. In: *Risultati Conclusivi del Progetto finalizzato di ricerca "Climagri – Cambiamenti climatici e agricoltura"*, Collana Climagri n. 51, CRA–UCEA, Roma, ottobre 2006, 79–91.
- Everitt BS.** (1992) *The Analysis of Contingency Tables*. Chapman & Hall, 2 edition. London.
- Haylock M, Nicholls N.** (2000). Trends in extreme rainfall indices for an updated high quality data set for Australia, 1910–1998. *International Journal of Climatology*, **20**, 1533–1541.
- Hollander M, Wolfe DA.** (1999). *Nonparametric Statistical Methods*. Wiley-Interscience, 2 edition. New York.
- IPCC** (2007) *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- Kendall M, Keith Ord J.** (1990). *Time Series*. Edward Arnold, London.
- Kostopoulou, E, Jones PD.** (2005) Assessment of climate extremes in the eastern Mediterranean. *Meteorology and Atmospheric Physics*, **89**, 69–85.
- Montagna P, McCulloch M, Mazzoli C, Silenzi S.** (2004). B/Ca, Sr/Ca, U/Ca and Mg/Ca ratios of a non-tropical coral (*Cladocora caespitosa*) from the Northern Adriatic Sea (Mediterranean Sea) and their relationship to sea surface temperature. 10th International Coral Reef Symposium, June 28–July 2 2004, Okinawa, Japan.
- Motroni A, Canu S.** (2005) Climate indicators for assessing sensitive areas to drought and desertification in Sardinia (Italy). *Proceedings of WMO/FAO/Cost Action Workshop on "Climatic analysis and mapping for agriculture"*.
- Norrant C, Douguédroit A.** (2006) Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950–2000) *Theoretical and Applied Climatology*, **83**, 89–106.
- Osborn TJ, Hulme M, Jones PD, Basnett TA.** (2000) Observed trends in the daily intensity of United Kingdom precipitation. *International Journal of Climatology*, **20**, 347–364.
- Peterson TC, (21 autori).** (1998) Homogeneity adjustments of *in situ* atmospheric climate data: a review *International Journal of Climatology*, **18**, 1493–1517
- Trenberth, KE (12 autori).** (2007) Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working*

*Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

**Serra A, Sollai A.** (1990) Pluviometric pattern of the Island of Sardinia with regard to extreme precipitations related to meteorological and climatological conditions *Il Nuovo Cimento C*, **13**, 719–732

**WMO** (1984) Compendium of meteorology for use by Class I and Class II meteorological personnel. A.C. Wiin-Nielsen (eds). WMO N. 364, Geneva, Switzerland.