

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITA' DI BOLOGNA

FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI

Prova finale

Corso di laurea triennale in Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia

**EVENTI DI PRECIPITAZIONE INTENSA SULLA SARDEGNA,
1950-1999**

Tesi di laurea di:

Luca Lai

Relatore:

Prof. Vincenzo Levizzani

Co – relatore:

Dott. Paolo Boi

Sessione III

Anno Accademico 2011-12

19/03/2013

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	5
2. PRECIPITAZIONI SU ISOLE A OROGRAFIA COMPLESSA.....	9
2.1. Rassegna bibliografica	9
2.2. Enhancement orografico	13
3. ANALISI DATI DELLE STAZIONI PLUVIOMETRICHE	16
3.1. Analisi statistica	18
3.1.1. Probabilità empirica.....	19
3.1.2. Distribuzione di Poisson	20
3.1.3. Test del Chi Quadrato (X^2)	23
3.1.4. Distribuzioni mensili	25
4. CONCLUSIONI.....	32
5. BIBLIOGRAFIA	34
6. ALLEGATI	
6.1. Tavola di distribuzione del Chi Quadrato.....	38
6.2. Dati pluviometrici 1950-1999	39
6.3. Tavola di distribuzione Gaussiana.....	45

1.

INTRODUZIONE

La Sardegna è la seconda isola più estesa del Mediterraneo con una superficie di 24090 km²; la lunghezza dei suoi punti estremi è 270 km mentre la larghezza è di 145 km. A sud il canale di Sardegna la separa per 178 km dalle coste dell'Africa, mentre a nord le Bocche di Bonifacio la separano dalla Corsica; a ovest il Mar di Sardegna la divide dalla penisola iberica e dall'Arcipelago delle Baleari, mentre a est il Mar Tirreno separa l'isola per 180 km dalla costa laziale. Le sue coordinate geografiche corrispondono a 41° 15' 42" di latitudine nord nella parte settentrionale (Capo Falcone), 38° 51' 52" di latitudine nord nella parte meridionale (Capo Teulada), ad ovest 8° 8' 10" di longitudine est da Greenwich (Capo dell'Argentiera) e ad est 9° 50' 8" di longitudine est da Greenwich (Capo Comino).

Il clima della Sardegna viene generalmente classificato come Mediterraneo Interno, caratterizzato da inverni miti e relativamente piovosi ed estati secche e calde. Da un punto di vista più generale il Mediterraneo può essere considerato come una fascia di transizione tra le zone tropicali, dove le stagioni sono definite in accordo alla quantità di pioggia, e le zone temperate, le cui stagioni sono caratterizzate dalle variazioni di temperatura. Di conseguenza sulla Sardegna si ha a che fare con grandi variazioni di precipitazione accompagnate da variazioni di temperatura tra una stagione e l'altra, senza che le une e le altre raggiungano i valori estremi tipici delle due aree climatiche sopracitate [Critchfield, 1983; Martyn, 1992].

Due fattori condizionano la temperatura e le precipitazioni nell'isola: la quota e la distanza dal mare. Come prevedibile, le aree poste a quote maggiori hanno temperature inferiori, mentre la distanza dal mare agisce per mitigare o meno il clima. Nelle zone costiere si hanno escursioni termiche giornaliere meno rilevanti, le temperature nel periodo invernale sono più alte rispetto alle zone interne, mentre le massime nel periodo estivo sono in genere più basse. Le

temperature massime più alte si registrano nella media valle del Tirso (OR) e del Goceano (SS), nella Marmilla e nel Trexenta (CA), mentre i valori massimi più bassi si registrano nelle aree montuose della Barbagia (NU). Per quanto riguarda le temperature minime, oltre a quelle che si registrano nelle zone della Barbagia e della catena montuosa del Gennargentu, si osservano picchi estremi anche in altre zone interne come il Goceano e Monteacuto (SS). Lungo la costa della Sardegna si registrano temperature minime decisamente più miti [Dettori et al., 2001].

Uno studio svolto dal S.A.R. (Servizio Agrometeorologico Regionale) riguardante l'andamento delle piogge durante il XX secolo ha decretato che, mentre fino agli anni '70 c'era un alternanza tra annate di pioggia e annate di siccità, gli anni '80 sono stati caratterizzati da una quasi totale assenza di precipitazioni se si escludono gli anni del 1984 e 1985; inoltre, dal 1991 al 1998 si sono susseguiti anni in cui gli eventi piovosi sono risultati ben inferiori rispetto alla media [Dettori et al., 2001]. Il numero medio di giorni in cui si verifica almeno 1 mm di pioggia per la Sardegna è compreso tra 50 e 100 (Gennargentu più di 90 giorni).

Nonostante la maggior parte delle precipitazioni sia concentrata nella stagione fredda, gli eventi estremi di pioggia intensa tendono a verificarsi con maggior frequenza nel periodo di transizione dalla stagione estiva a quella invernale. Questo fatto può essere messo in relazione con la differenza di capacità termica tra mare, terra e aria che rende in questo periodo la temperatura della superficie del mare relativamente più alta rispetto all'aria sovrastante e genera quindi un flusso di calore latente in eccesso. Quando un flusso intenso di quest'aria umida incontra rilievi montuosi molto ripidi, in prossimità della costa si verifica una situazione favorevole per lo sviluppo di forte instabilità convettiva che può determinare piogge a carattere torrenziale.

Situazioni di calma di vento sono eventi rarissimi per la Sardegna: per grandissima parte dell'anno infatti soffiano venti forti come il Maestrale

(direzione di provenienza nord-ovest) e il Ponente (direzione di provenienza ovest). Altri venti che soffiano spesso sull'isola, anche se hanno un'intensità minore ai precedenti, sono l'Ostro (sud), il Levante (est) e lo Scirocco (sud-est); questi spirano prevalentemente nei mesi compresi tra Giugno e Novembre mentre i venti forti sono presenti principalmente in inverno, sebbene si facciano sentire per molti mesi all'anno. Infine un vento debole che soffia perennemente in tutta la Sardegna è la brezza marina.

Il territorio dell'isola è prevalentemente collinare, ma sono presenti montagne che raggiungono quote elevate: nel Nord della Sardegna c'è il "Monte Limbara" che misura 1359 metri, nel Gennargentu ci sono le cime più alte come "Punta La Marmora" (1834 m) e il "Bruncu Spina" (1829 m). Nel Supramonte di Oliena la cima più elevata è rappresentata dal "Monte Corrasi" (1463 m). Nel Sud dell'isola troviamo i monti del Sulcis e dell'Iglesiente che arrivano a quote maggiori di 1100 m.

Lo scopo di questo lavoro è quello di studiare la distribuzione spaziale delle precipitazioni in Sardegna: si prenderanno in esame solo i cumulati di pioggia superiori ai 200 mm/giorno registrati da una rete regionale di circa 300 pluviometri (una stazione ogni 9 km circa). Queste quantità di pioggia sono associate a precipitazioni intense (temporali multicella o supercella), essendo la zona del Mediterraneo soggetta a numerosi cicloni, soprattutto nella stagione autunnale.

I dati sono stati forniti dall'ARPA Sardegna e confrontati con i modelli dell'"ERA40" (Ecmwf Reanalysis 40) creati dall'ECMWF (European Center for Medium Weather Forecast). L'ERA40 è una ri-analisi meteorologica di dati che vanno dal 1957 al 2002; le variabili analizzate sono il vento, l'umidità, la temperatura, la pressione, ma anche l'ozono stratosferico e altri parametri. L'obiettivo primario di ERA40 è quello di svolgere previsioni a ritroso e sviluppare un database climatologico, tenendo conto che i dati degli ultimi 30

anni sono più precisi a seguito delle migliorie apportate alle tecniche di rilevamento e telerilevamento (satelliti, nuove stazioni, sonde, boe).

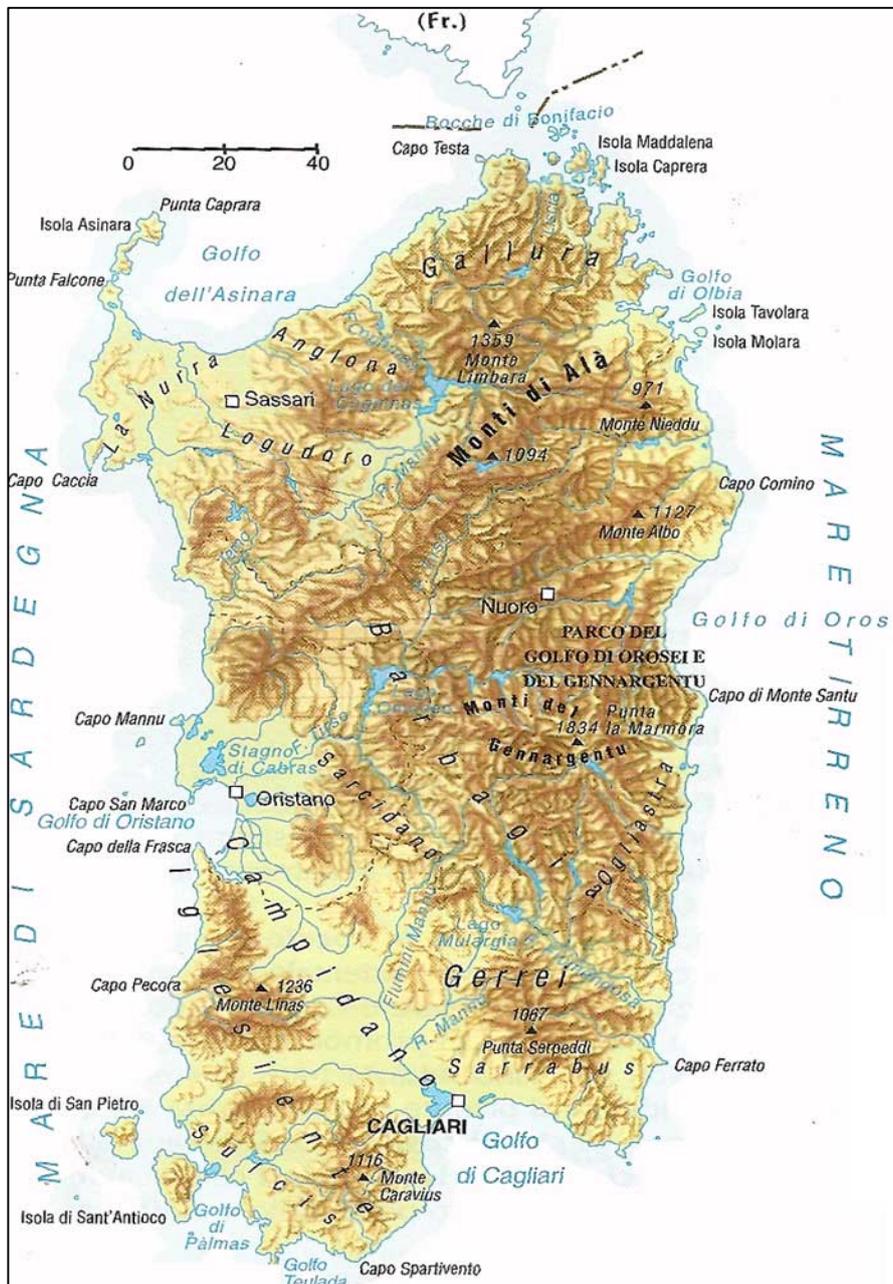


Figura 1. Cartina fisica della Sardegna

2. PRECIPITAZIONI SU ISOLE A OROGRAFIA COMPLESSA

2.1 Rassegna bibliografica

Il rischio sempre maggiore di incorrere in eventi meteorologici estremi che possono causare morti, distruzione e conseguenti perdite economiche, ha spinto diversi scienziati a cercare di migliorare la prevedibilità di questi episodi.

Nel temporale accaduto in Pakistan nell'estate del 2010 si sono registrati accumuli giornalieri di 300 mm per 4 giorni: questo ha causato la morte di 2000 persone oltre a ingenti perdite economiche. Attraverso l'Ensemble Prediction System (EPS) del European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF), un sistema atto anche a valutare se la precipitazione sulla regione colpita dall'alluvione fosse prevedibile, si è scoperto che le piogge erano ipotizzabili con 6-8 giorni d'anticipo; con opportuni accorgimenti, come lo svuotamento delle dighe, si sarebbero potuti limitare i danni [Webster, Toma and Kim, 2011].

Discorso diverso vale invece per le alluvioni che hanno colpito il Bangladesh nel 2007 e nel 2008: l'allerta meteo infatti è stata emessa dieci giorni prima dei gravi eventi, permettendo alla popolazione di attrezzarsi con scorte alimentari e abbandonare le zone maggiormente a rischio [Wester and Jian, 2011].

Diversi cambiamenti nella distribuzione delle precipitazioni estreme sono stati osservati in alcune parti del mondo durante la seconda metà del XX secolo; questo dato è spesso visto come uno degli effetti più evidenti del cambiamento climatico globale [Esterling et al., 2000]. Di questo delicato tema se ne occupa da tempo l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), un organismo aperto a tutti i membri delle Nazioni Unite creato dall'UNEP (United Nations Environment Programme) e dal WMO (World Meteorological Organization),

con lo scopo di studiare in maniera scientifica lo stato dei cambiamenti climatici e le loro potenziali conseguenze a livello ambientale, socio-economico e territoriale [IPCC, 2007]. Gli Stati Uniti hanno subito un aumento significativo di precipitazioni estreme [Karl et al, 1996; Karl and Knight, 1998] così come sembrano essere aumentati gli eventi di una certa significatività nel Regno Unito [Osborn et al., 2000] e la costa sud-orientale del Mediterraneo [Goodess and Jones, 2002]. Tuttavia, c'è un diverso comportamento delle tendenze di precipitazione a seconda della località: ad esempio, in Australia vi è stata una diminuzione sia della quantità di pioggia, sia degli eventi estremi [Suppiah and Hennessy, 1998]. In Canada, la tendenza mostra un aumento di giorni piovosi, sebbene gli eventi di una certa entità siano diminuiti [Akinremi et al, 1999; Zhang et al, 2001].

Da uno studio effettuato negli Stati Uniti si è osservato che nella Costa del Golfo, dalla fine del diciannovesimo secolo, sono aumentati gli episodi di precipitazioni intense come anche i giorni senza pioggia: questo dato evidenzia la possibilità che l'aumento di gas serra di origine antropica comporti l'aumento simultaneo di entrambe le condizioni [Diffenbaugh et al., 2005].

Le stesse conclusioni sono state tratte da uno studio sull'Africa (relazione tra gas serra antropici e eventi estremi) che si sofferma anche sull'importanza delle catene montuose della Guinea per lo sviluppo di forti temporali [Sylla et al., 2012].

Nella zona europea e mediterranea il ruolo delle suddette montagne della Guinea viene ricoperto dalle Alpi, dai Pirenei e dalle catene montuose dei Balcani e dell'Anatolia che rivestono un ruolo fondamentale per lo sviluppo convettivo in quanto fungono da fonte di sollevamento per le masse d'aria umida che portano precipitazioni intense [Levizzani et al., 2010].

Il tifone Morokot che ha colpito Taiwan nel 2009 è stato devastante: nel corso di questo evento si sono registrati 2777 mm di pioggia (superato il vecchio record del tifone Herb nel 1996) che hanno innescato enormi colate di fango causando

più di 700 morti e danni per oltre 4,7 miliardi di dollari. Per simulare questo evento è stato utilizzato un modello matematico, il “TOP 100”, che fissa a cento metri sul livello del mare la quota massima delle catene montuose. Il risultato di questa simulazione conferma l’importanza dell’orografia, poiché si osserva una drastica riduzione delle precipitazioni quando l’altezza dei rilievi tende a diminuire [Ge et al., 2010].

Numerosi studi sono stati fatti su Madeira, un’isola di origine vulcanica situata nell’Oceano Atlantico a 545 km a Nord-Ovest della costa africana. In quest’isola sono numerosi gli eventi estremi di precipitazione per le cui analisi sono stati effettuati due approcci: il primo utilizza un modello lineare (Kriging ordinario e Cokriging ordinario) che produce superfici continue; il secondo utilizza un modello tridimensionale (Self Organizing Map). I risultati mostrano che l’isola presenta diverse zone climatiche in relazione alle precipitazioni, con la parte settentrionale caratterizzata da un gran numero di eventi estremi, mentre quella meridionale e quella Nord-occidentale dell’isola meno esposte a questo tipo di precipitazioni [Gorricha et al., 2012].

Questo aspetto è stato confermato da uno lavoro di Fragoso [Fragoso et al., 2012] sul temporale abbattutosi a Madeira il 20/02/2010. In questo studio viene messo in evidenza il fatto che, essendo le catene montuose dell’isola disposte da Est a Ovest, ed essendo la direzione prevalente del vento quella proveniente da Nord-Est (quindi quasi ortogonale), lo sviluppo degli eventi estremi è strettamente legato alla forzante orografica. Tale valutazione è in linea con lo studio di modellazione di Luna [Luna et al., 2011] che ha documentato l’importanza del sollevamento orografica, fondamentale per creare condizioni favorevoli per il verificarsi della profonda convezione vicino a Madeira il 20 febbraio 2010. Questo episodio è stato oggetto di numerosi studi: utilizzando un algoritmo matematico che consente la classificazione delle nubi distinguendo il vapore acqueo, le gocce di pioggia, la neve e le diverse aree di pioggia (convettiva o stratiforme), è stato dimostrato che i rovesci erano di carattere

convettivo, avvalorando la tesi che la catena montuosa che si estende longitudinalmente è di fondamentale importanza per questo tipo di eventi vigorosi [Levizzani et al., 2013].

Secondo Couto [Couto et al., 2012], oltre alla dorsale montuosa che si estende lungo la parte centrale di Madeira (Pico Ruvio 1862 m, e Pico Arieiro 1818 m), nell'alluvione che il 20 Febbraio 2010 ha provocato 45 vittime, ha rivestito un ruolo fondamentale l'interazione tropicale-extratropicale che ha fornito grandi quantità di umidità ai bassi livelli.

Da uno studio fatto sull'arcipelago delle Canarie risulta che l'orografia (altezze fino a 3700 m) agisce come fattore scatenante per l'instabilità atmosferica: le isolette di Lanzarote e Fuerteventura infatti, possedendo bassi rilievi, sono meno soggette a precipitazioni intense [Garcia-Herrera et al., 2003].

L'origine orografica dei temporali estremi è stata riscontrata anche per quanto riguarda la tempesta del 1942 a Smethport, in Pennsylvania, nella quale si sono misurati 780 mm di pioggia in meno di 5 ore [Smith et al., 2011]. Le stesse considerazioni sono state tratte da un'alluvione in Algeria nel 2001 che, nonostante l'allerta meteo fosse stata emessa 5 giorni prima dell'inizio delle violente precipitazioni, ha causato 740 morti [Tripoli et al., 2005].

Più di recente (2010) l'altezza delle catene montuose è stata fondamentale per lo sviluppo di temporali in Himalaya, dove si sono registrate 193 vittime [Rasmussen and Houze, 2012].

Un'analisi fatta sul Veneto mostra che la zona costiera, messa in relazione con il resto della regione, è caratterizzata da un minor numero di giorni piovosi, da minori accumuli di pioggia, ma da un maggior numero di eventi estremi. È stata messa in evidenza l'importanza delle Prealpi venete che fungono da barriera per la massa d'aria che arriva, creando convezione e forti temporali [Barbi et al., 2012].

2.2

Enhancement orografico

Si parla di enhancement orografico quando una massa d'aria incontra una catena montuosa che la induce a salire. Quando la massa d'aria è umida, questo processo può portare a forti precipitazioni: questa infatti sale lungo il versante montuoso sopravvento raffreddandosi adiabaticamente fino alla temperatura di condensazione. Arrivando a questo stato, viene liberata energia sotto forma di calore latente di condensazione (ogni cambiamento di stato necessita di una variazione di energia che prende il nome di calore latente di trasformazione) che viene assorbito dall'aria circostante che di conseguenza viene riscaldata.

Raggiunto il livello di condensazione, inizia a formarsi la nube, che generalmente si presenta come un ammasso nuvoloso che arriva fino alla vetta del versante (se l'umidità è poca, tuttavia, le nubi non arrivano tanto in alto). Il fenomeno va sotto il nome di Stau; le nubi da Stau sono dense e, al loro interno e nella zona sottostante, portano rovesci e precipitazioni intense che scompaiono, sorprendentemente, poche decine di metri dopo aver superato la vetta. Nel punto più alto, la massa d'aria raffreddata, raggiunge la temperatura più bassa.

Dopo il superamento del crinale si possono verificare tre situazioni: aria che va ancora più in alto (instabilità sottovento), aria che prosegue orizzontalmente con delle ondulazioni (onde orografiche o nubi d'onda) o aria che scende a valle (Foehn). Il Foehn ha luogo quando sottovento c'è una notevole stabilità e l'aria fredda è costretta a scendere verso il basso. Avendo perso umidità nella nube dello Stau sopravvento l'aria scende completamente secca e riscaldata (Fig. 2).

Essa arriva quindi a fondo valle sotto forma di vento secco e caldo, ad una temperatura maggiore di quella che aveva all'inizio della salita sopravvento. A valle, l'aria preesistente viene letteralmente spazzata via, sostituita da quella che viene chiamata aria foehnizzata, con un tasso di umidità che può arrivare a valori bassissimi.

Quando la stabilità sottovento non è sufficiente a far arrivare il Foehn completamente a fondo valle, si parlerà di Foehn sporco.

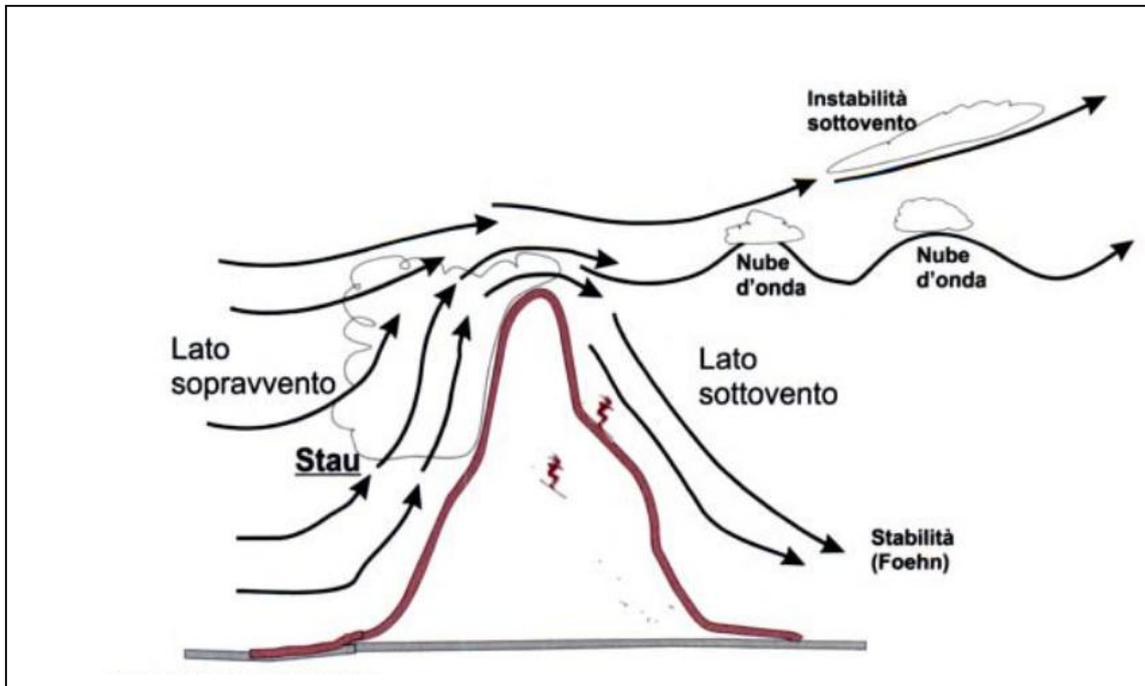


Figura 2. Comportamento di una massa d'aria in prossimità di una catena montuosa

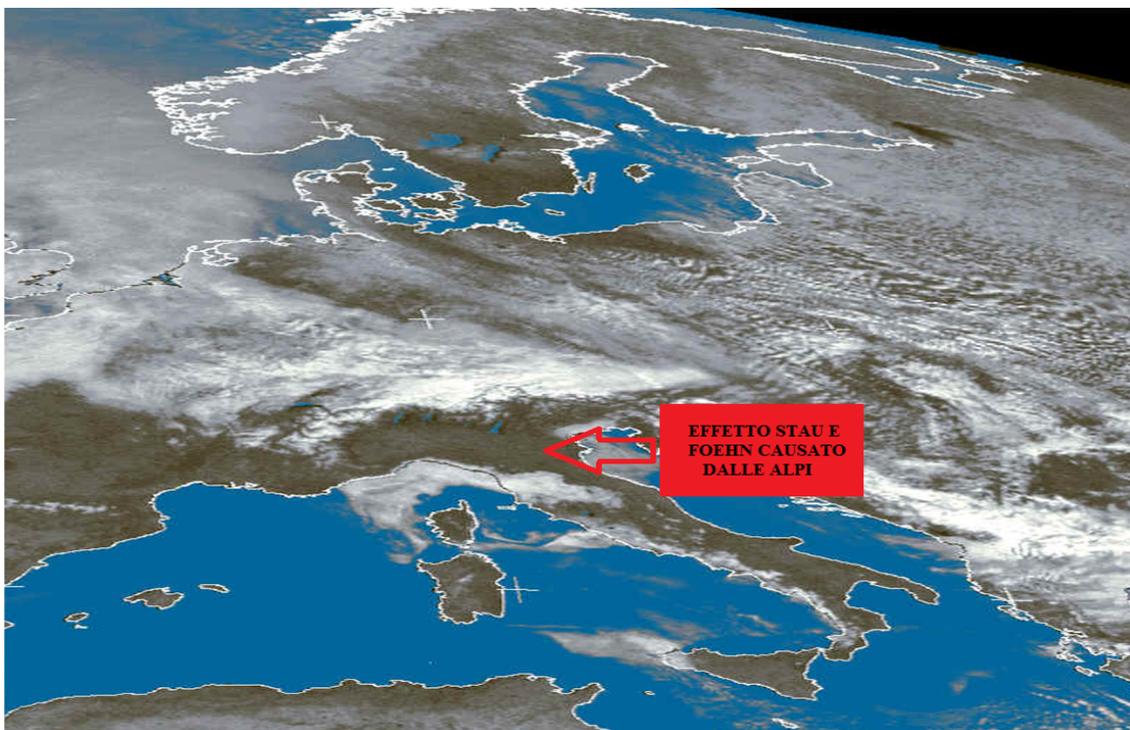


Figura 3. Stau e Foehn causato dalle Alpi

In un diagramma termodinamico (Fig. 4), nella zona sopravvento, la particella d'aria sale lungo un'adiabatica secca fino al livello di condensazione forzata LCL e, successivamente, lungo l'adiabatica satura (gradiente adiabatico saturo $\Gamma = 6,5^\circ\text{C}/\text{km}$), dove la temperatura diminuisce a un tasso inferiore rispetto all'adiabatica secca (gradiente adiabatico secco $\Gamma_s = 9,8^\circ\text{C}/\text{km}$).

Una volta che la massa d'aria è arrivata in cima alla montagna, questa ha perso tutta l'umidità, e la particella d'aria scende lungo un'adiabatica secca diversa dalla precedente; la temperatura finale (T_4) è maggiore di quella iniziale (T_1).

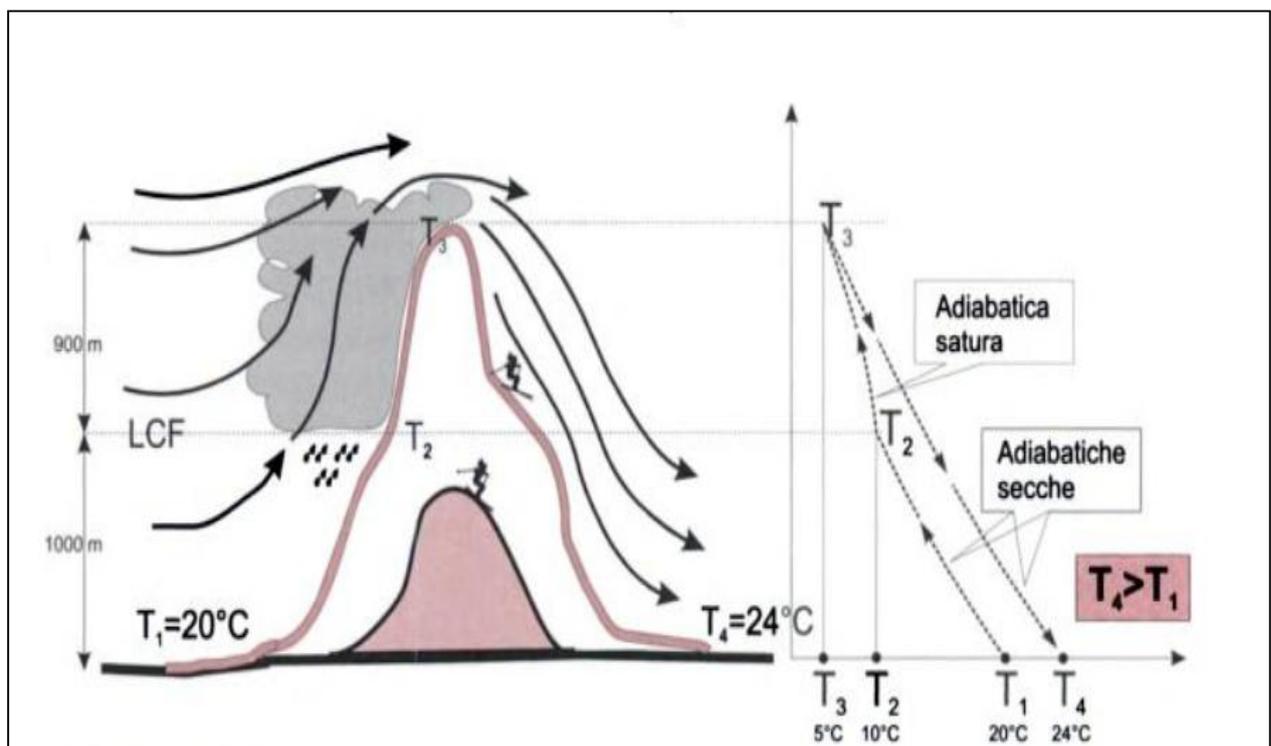


Figura 4. Diagramma termodinamico che rappresenta il fenomeno “Stau e Foehn”

3. ANALISI DATI DELLE STAZIONI PLUVIOMETRICHE

Come già detto precedentemente, la rete regionale pluviometrica della Sardegna è composta da più di 300 stazioni, ma negli anni compresi tra il 1950 e il 1999 solo 71 di queste hanno registrato, per almeno una volta, un cumulo di pioggia maggiore o uguale a 200 mm al giorno. Partendo da questo limite di seguito sono riportate queste stazioni evidenziate da 3 diversi colori:

- 1) Rosso: stazioni che negli anni in esame hanno registrato il superamento della soglia stabilita per almeno 7 volte.
- 2) Giallo: stazioni che negli anni in esame hanno registrato il superamento della soglia da noi stabilita per un numero di volte che va da 3 a 6.
- 3) Nero: stazioni che negli anni in esame hanno registrato il superamento della soglia da noi stabilita per 1 o 2 volte.

Come si può osservare nella *Figura 5*, le stazioni sono localizzate sul versante orientale della Sardegna, principalmente nella zona dell'Ogliastra e in corrispondenza della catena montuosa del Gennargentu.

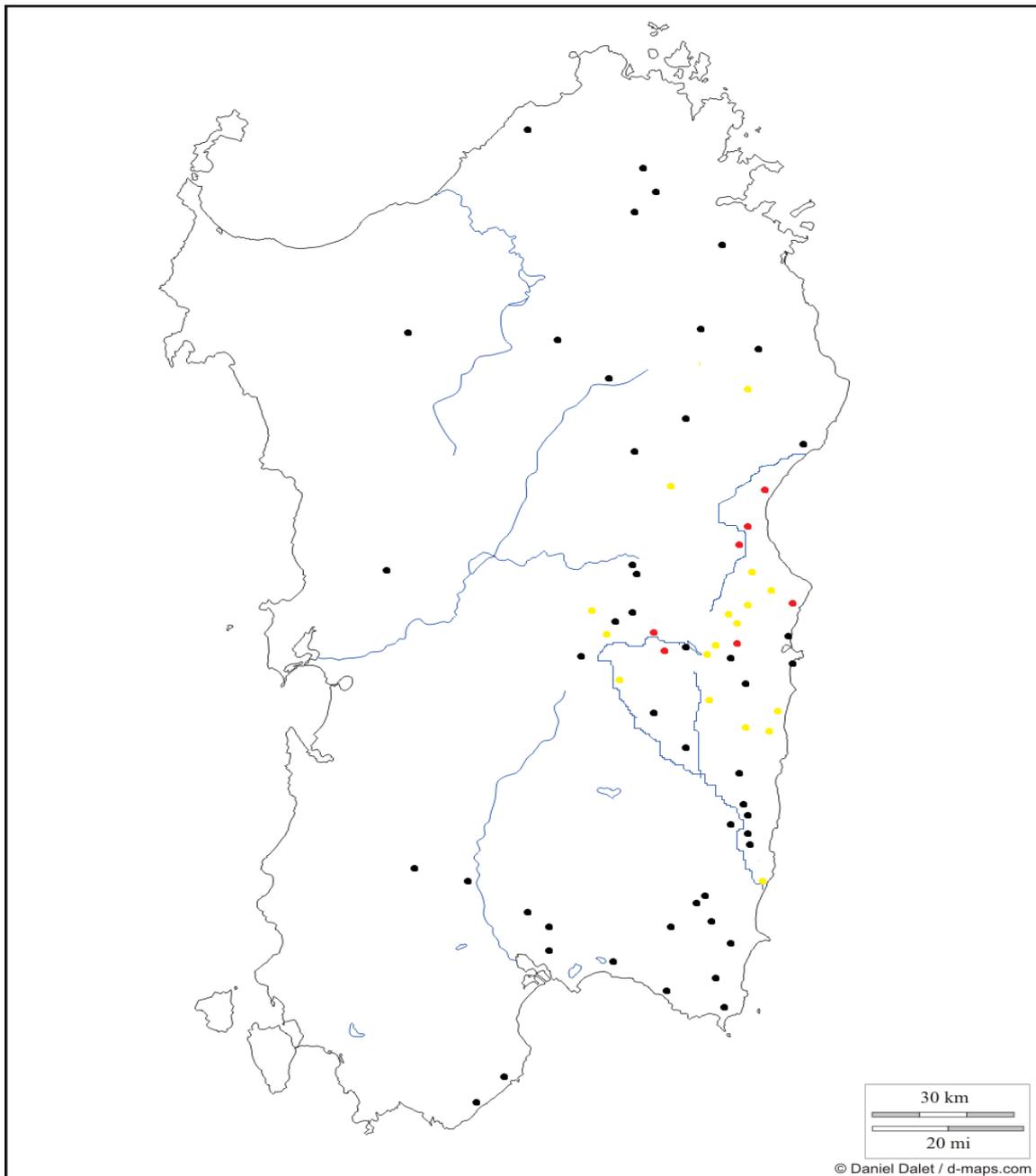


Figura 5. Stazioni che hanno registrato cumulati giornalieri di almeno 200 mm

L'Ogliastra ha un territorio molto particolare in quanto, a distanza di pochi km (circa 40), si passa dai 1834 m fino al livello del mare, e già a 15-20 km dalla costa si hanno monti che superano gli 800 m (Monte Ferru situato Jerzu e Tertenia); in alcune zone costiere, inoltre, sono numerose le formazioni montuose che terminano direttamente nel Mediterraneo con degli strapiombi altissimi. Questa particolare conformazione del territorio, favorisce la

formazione delle cosiddette piogge orografiche causate da una massa d'aria umida che proviene dal Mediterraneo, si scontra con la catena montuosa del Gennargentu andando incontro al cosiddetto “enhancement orografico”, già precedentemente analizzato.

3.1 ANALISI STATISTICA

E' possibile determinare gli eventi significativi per ogni anno tenendo conto che i dati riferiti allo stesso giorno su diverse stazioni o a giorni consecutivi fanno parte dello stesso evento (stessa struttura ciclonica).

ANNO	N° EVENTI	ANNO	N° EVENTI
1950	0	1975	0
1951	2	1976	1
1952	0	1977	0
1953	3	1978	0
1954	0	1979	1
1955	1	1980	2
1956	1	1981	0
1957	5	1982	0
1958	1	1983	2
1959	1	1984	0
1960	0	1985	1
1961	2	1986	3
1962	1	1987	0
1963	0	1988	0
1964	1	1989	1
1965	3	1990	1
1966	0	1991	0
1967	3	1992	2
1968	1	1993	1
1969	0	1994	0
1970	1	1995	1
1971	1	1996	2
1972	0	1997	0
1973	1	1998	0
1974	2	1999	2

Figura 6. Numero di eventi significativi dal 1950 al 1999

Si osserva che nella prima metà dei dati analizzati si hanno 30 eventi significativi, mentre dal 1975 al 1999 solo 20. Nel 1957 si hanno ben 5 eventi estremi, per 4 anni si hanno 3 eventi, per 8 si hanno 2 eventi, in 17 anni c'è stato solo un evento rilevante e per ben 20 anni su 50 non si sono registrati superamenti della soglia di 200 mm giornalieri.

3.1.1 **PROBABILITA' EMPIRICA**

Con i dati riportati in *Figura 6*, è possibile calcolare la probabilità empirica di avere “n” (numero reale positivo) eventi ogni anno.

La probabilità empirica è il limite a cui tende la frequenza relativa dell'evento al crescere del numero degli esperimenti, ed essa si può applicare anche nei casi in cui la densità di probabilità non è uniforme. La frequenza relativa è il rapporto tra la frequenza assoluta, cioè il numero di volte che si verifica un evento, e il numero totale di prove eseguite. In pratica in presenza di un esperimento ripetuto “m” volte e un certo risultato A che accade per “n” volte, la probabilità di avere A è data dal limite della frequenza (n/m) quando “m” tende all'infinito:

$$P(A) = \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{n}{m}$$

I risultati ottenuti sono i seguenti:

- P (0) = 0,4
- P (1) = 0,34
- P (2) = 0,16
- P (3) = 0,08
- P (4) = 0
- P (5) = 0,02

3.1.2

DISTRIBUZIONE DI POISSON

Esistono fenomeni in cui determinati eventi, con riferimento a un dato intervallo di tempo, accadono raramente: il numero di eventi che si verificano in quel lasso temporale varia da 0 a “n”, e “n” non è determinabile a priori.

Nello studio degli eventi rari si utilizza la distribuzione di probabilità di Poisson; essa è applicata nel caso in cui gli eventi, distribuiti a caso nello spazio e/o nel tempo, sono delle variabili discrete ovvero dei conteggi.

Un processo di Poisson è descritto dalle seguenti condizioni:

- I. Le realizzazioni degli eventi sono indipendenti: il verificarsi di un evento in un intervallo di tempo o spazio, non ha alcun effetto sulla probabilità che si verifichi l’evento una seconda volta nello stesso o in un altro intervallo;
- II. La probabilità di una singola realizzazione dell’evento è proporzionale alla lunghezza dell’intervallo;
- III. In ogni parte arbitrariamente piccola dell’intervallo, la probabilità che un evento si verifichi più una volta è trascurabile.

Sia X (può assumere i valori 0, 1, 2,...,n) la variabile aleatoria che indica il numero di volte in cui si verifica un evento raro in un dato intervallo di tempo o di spazio, ossia il numero di successioni. La probabilità che X assuma un certo valore è data dalla distribuzione di Poisson:

$$P(x) = \frac{e^{-\lambda} * \lambda^x}{x!}$$

Nel caso studiato, consultando la tabella di *Figura 6*, si osserva che ci sono 50 eventi in 50 anni; indicando con “ λ ” il numero medio di realizzazioni dell’evento nell’intervallo assegnato risulta che questo valore è uguale a 1.

I risultati ottenuti sono i seguenti:

- $P(0) = 0,36787$ • $P(1) = 0,36787$ • $P(2) = 0,18393$
- $P(3) = 0,06131$ • $P(4) = 0,01531$ • $P(5) = 0,003$
- $P(6) = 0,0005$ • $P(7) = 0,00007$

Dopo aver riportato in *Figura 7* i dati relativi alla probabilità empirica e a quella di Poisson, si può graficare il tutto per verificare se la Poissoniana fitta bene i dati reali trovati.

	P. Empirica	P. Poisson
P(0)	0,4	0,36787
P(1)	0,34	0,36787
P(2)	0,16	0,18393
P(3)	0,08	0,06131
P(4)	0	0,01531
P(5)	0,02	0,003
P(6)	0	0,0005
P(7)	0	0,00007

Figura 7. Valori di probabilità empirica e di Poisson

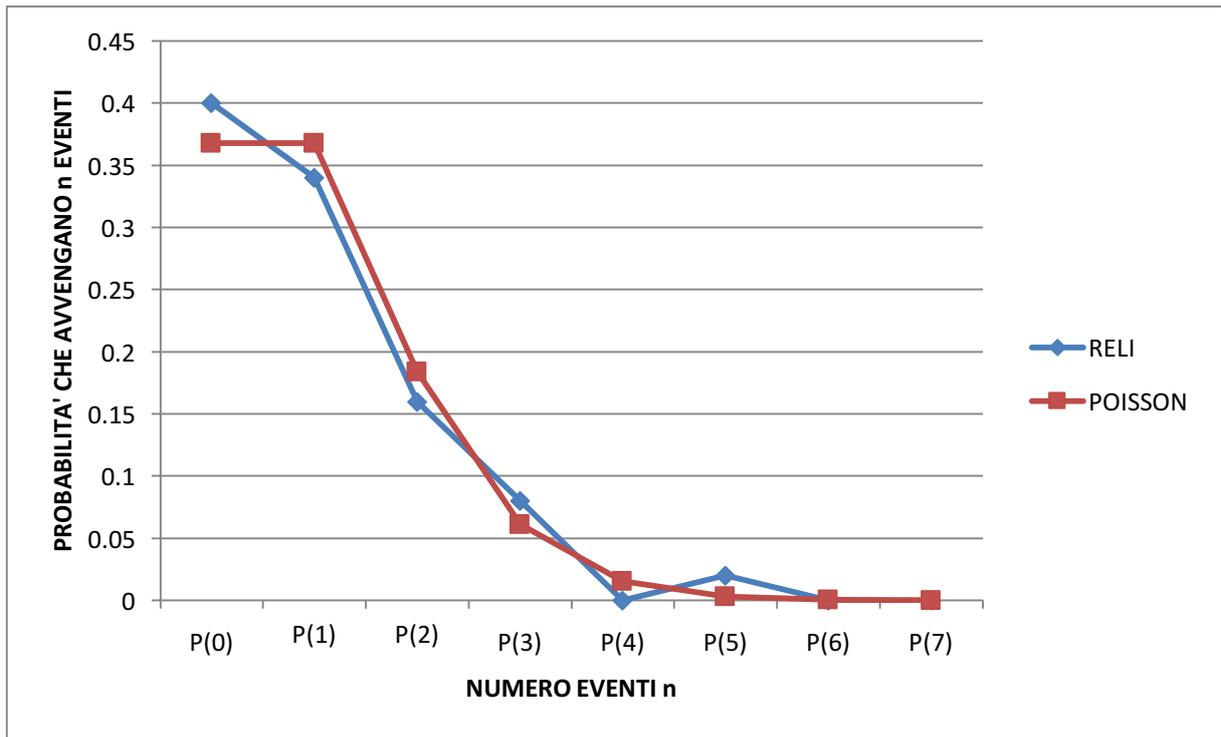


Figura 8. Grafico a linee che confronta i valori misurati con quelli attesi

Come si osserva dal grafico i dati reali fittano quasi perfettamente la poissoniana, quindi non c'è nessuna anomalia significativa tra valori misurati e quelli attesi.

3.1.3

TEST DEL CHI QUADRATO (X^2)

Nella teoria statistica e nella pratica sperimentale, è frequente la necessità di verificare se esista accordo tra una distribuzione osservata e la corrispondente distribuzione attesa o teorica: questo è lo scopo per il quale storicamente è stato costruito il test del Chi Quadrato. Quest'ultimo è un metodo di inferenza statistica che non richiede ipotesi "a priori" sul tipo e sulle caratteristiche della distribuzione; è evidente che tra le distribuzioni osservate e quelle attese non si possa mai avere una perfetta coincidenza, anche qualora si possano constatare valori molto simili. In tutti i casi in cui si possano fare prove ripetute per verificare una legge di distribuzione, è quasi impossibile ottenere esattamente i medesimi risultati sperimentali. È ovvio che piccole differenze non sono tali da negare un sostanziale accordo tra osservato ed atteso, mentre grandi differenze lasciano supporre la presenza di fattori differenti da quelli ipotizzati. Il problema statistico è di poter dedurre scientificamente ed in modo universalmente accettato se le differenze sono trascurabili e quindi probabilmente dovute solo al caso (ipotesi nulla, indicata con H_0), oppure se sono di dimensioni tali da fare più ragionevolmente supporre una distribuzione realmente diversa da quella attesa (ipotesi alternativa, indicata con H_1) anche se le cause sono ignote. La distribuzione della densità di probabilità del X^2 dipende dai suoi gradi di libertà o g.d.l. (degrees of freedom o d.f.). Noto il grado di libertà, attraverso l'uso di opportune tabelle, è possibile dedurre se il valore rientra nella categoria "H0" o "H1". Per definizione, i gradi di libertà sono il numero di valori che sono liberi di variare quando si calcola un test statistico.

È importante notare che bisogna sempre utilizzare le frequenze assolute, mai quelle percentuali o relative. Le percentuali, quindi, vanno sempre ritrasformate in frequenze assolute moltiplicandole per il numero di osservazioni. Con i soli dati percentuali (senza il numero totale di osservazioni da cui ricavare le frequenze assolute) non si può effettuare alcun test.

La formula per il calcolo del Chi Quadro è:

$$X^2 = \sum \frac{(\text{valore misurato} - \text{valore atteso})^2}{\text{valore atteso}}$$

Nel caso studiato, vista la tabella di *Figura 7* di pagina 21, si nota che è formata da 8 righe (k) e 2 colonne (m). Il numero di gradi di libertà è uguale a:

$$\text{g.d.l.} = (k-1) * (m-1) = 7$$

Il Chi Quadro vale:

$$X^2 = \frac{(20-18,39)^2}{18,39} + \frac{(17-18,39)^2}{18,39} + \frac{(8-9,19)^2}{9,19} + \frac{(4-3,06)^2}{3,06} + \frac{(0-0,765)^2}{0,765} + \frac{(1-0,15)^2}{0,15} + \frac{(0-0,025)^2}{0,025} + \frac{(0-0,0035)^2}{0,0035} = 6,3$$

Acquisito tale valore, bisogna scegliere il livello di probabilità o significatività a discrezione (in genere si sceglie 5% o 1%) e confrontare il risultato ottenuto con quello che viene indicato nella “tavola di distribuzione del X^2 ” (allegato 6.1).

Avendo 7 g.d.l. e scegliendo una probabilità del 5% si ha che il valore è nettamente inferiore al valore limite (14,07) e, di fatto, questa discrepanza tra valori misurati e attesi è data dal caso.

3.1.4

DISTRIBUZIONI MENSILI

In figura 9 sono riportati il numero di eventi per ogni mese dell'anno dal 1950 al 1999. Come si può osservare, Novembre è il mese con il maggior numero di episodi significativi (ben 15), ma anche in Ottobre, Dicembre e Marzo se ne registrano una notevole quantità.

MESE	N° EVENTI
Gennaio	3
Febbraio	1
Marzo	8
Aprile	2
Maggio	1
Giugno	1

MESE	N° EVENTI
Luglio	1
Agosto	0
Settembre	2
Ottobre	10
Novembre	15
Dicembre	7

Figura 9. Numero di eventi per ogni mese

Dall'allegato 6.2 (dati sugli eventi totali) si osserva che solo 6 volte in 50 anni c'è stato più di un evento al mese: tale dato lascia quindi supporre che la distribuzione binomiale sia la più adatta per la descrizione del fenomeno, anche perché gli eventi stessi sono indipendenti. La distribuzione binomiale prevede solo due possibilità e cioè che l'evento accada oppure no; questa distribuzione fornisce la probabilità di avere x (0,1,2,...,n) eventi al mese in 50 anni e si calcola nel modo seguente:

$$\text{BINOMIALE} = \frac{N!}{x!(N-x)!} * p^x * (1 - p)^{N-x}$$

“N” è uguale a 50 e indica il numero degli anni che sono stati presi in esame, “x” è il numero variabile di eventi per ogni mese preso in considerazione e “p” è il valore stimato degli eventi per ogni mese, per esempio per il mese di Gennaio vale:

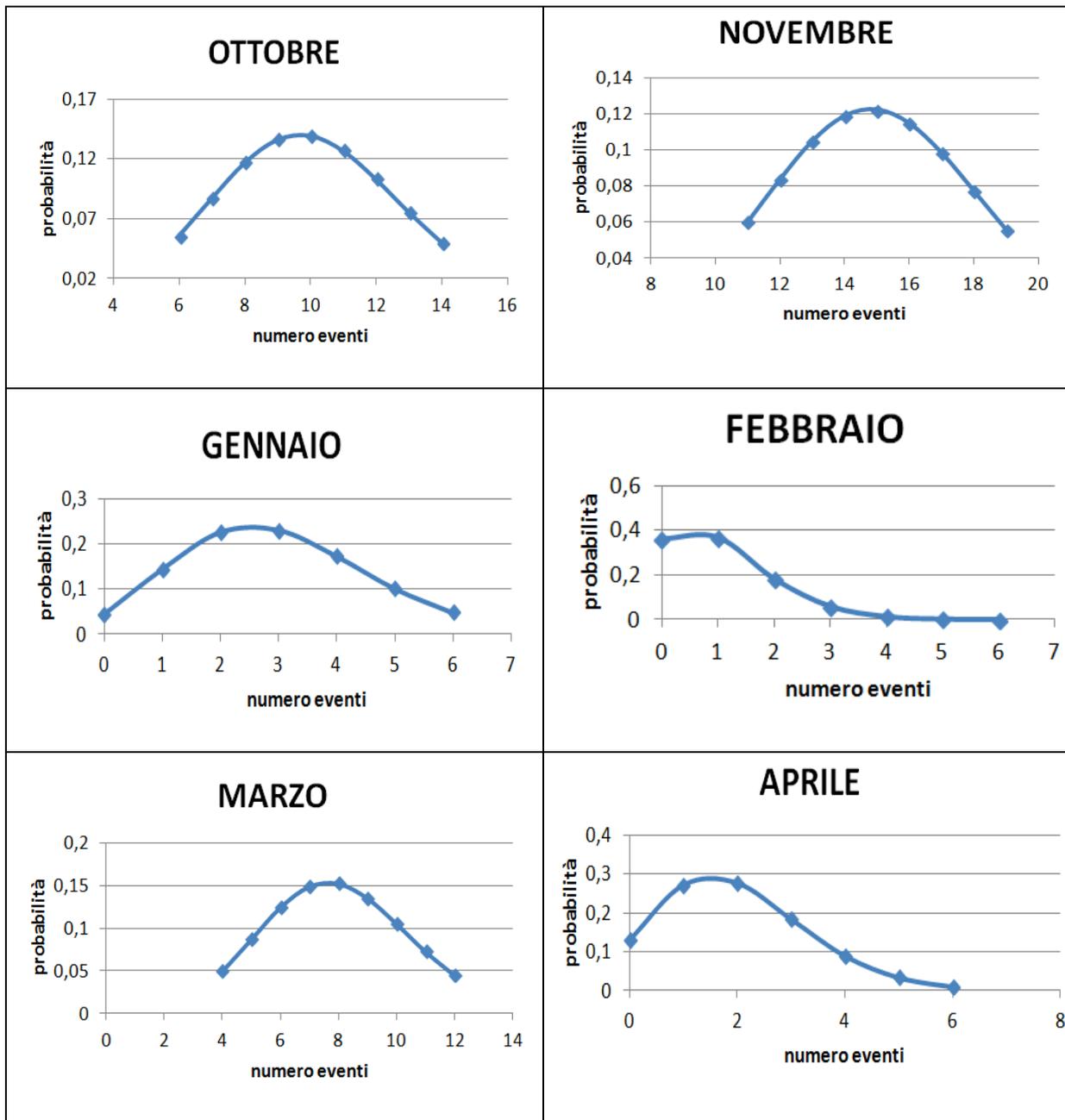
$$\text{FREQUENZA RELATIVA} = p = \frac{\text{num.eventi registrati}}{\text{num.eventi tot } N} = \frac{3}{50} = 0,06$$

Di seguito sono elencati i valori della distribuzione binomiale per ogni mese, tenendo conto che per Febbraio, Maggio, Giugno e Luglio i valori saranno uguali perché il numero di eventi registrato nei 50 anni è il medesimo; stesso discorso vale per Aprile e Settembre.

GEN:	0=0,0453	1=0,1447	2=0,2262	3=0,231
	4=0,1733	5=0,1018	6=0,0487	
FEB:	0=0,3642	1=0,3716	2=0,1858	3=0,0607
	4=0,0145	5=0,0027		
MAR:	5=0,0869	6=0,1242	7=0,1487	8=0,1522
	9=0,1353	10=0,1057	11=0,0732	
OTT:	7=0,087	8=0,1169	9=0,1364	10=0,1398
	11=0,1271	12=0,1032	13=0,0755	
NOV:	12=0,0838	13=0,105	14=0,1189	15=0,1223
	16=0,1147	17=0,0983	18=0,0772	

DIC: 4=0,0858 5=0,1286 6=0,157 7=0,1606
 8=0,1405 9=0,1068 10=0,0713

I grafici della distribuzione binomiale per ognuno dei 12 mesi sono i seguenti:



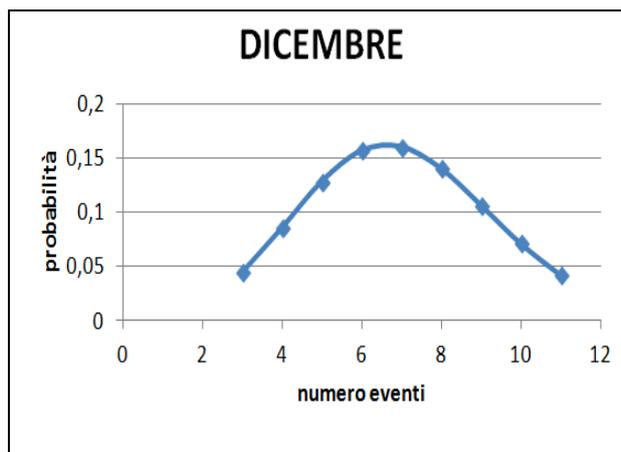


Figura 10. Distribuzioni binomiali mensili

Di seguito viene calcolato il valore della deviazione standard “ σ ” per ogni mese attraverso la seguente formula, e poi viene riportato il tutto nella medesima tabella della frequenza relativa “p” :

$$\text{DEV.STD.} = \sigma = \sqrt{N * p * (1 - p)}$$

	σ	p
GEN	1,68	0,06
FEB	1	0,02
MAR	2,6	0,16
APR	1,39	0,04

	σ	p
OTT	2,83	0,2
NOV	3,24	0,3
DIC	2,45	0,14

Figura 11. Valori di deviazione standard e frequenza relativa per ogni mese

Per i valori della distribuzione binomiale, si vede che per la quasi totalità dei mesi, questa è praticamente indistinguibile da una gaussiana che ha la stessa media ($N * p$) e deviazione standard della binomiale: questa osservazione è in accordo con il teorema del limite centrale.

Di seguito viene verificato se gli “x” eventi registrati in un mese sono significativamente diversi da quelli “y” di un altro. In altre parole si vuole sapere se la differenza tra “x” e “y” è frutto di casualità o se, ripetendo l’esperimento per altri 50 anni, il rapporto tra i due mesi presi in considerazione rimane lo stesso o comunque simile. Per fare ciò si assume “l’ipotesi nulla”, e cioè si ipotizza che tra i due mesi presi in esame vi siano gli stessi eventi. Si considera la differenza tra gli eventi dei due mesi “k” e la varianza σ^2 totale, calcolata come somma della varianza dei 2 mesi. Si divide la differenza tra il numero di eventi (k) per la deviazione standard totale ed infine il risultato ottenuto verrà confrontato con la tabella della gaussiana standard (allegato 6.3). Se questo valore dovesse risultare inferiore al 5%, quantità che in genere si sceglie come soglia della significatività, allora la differenza non sarà frutto di fluttuazioni statistiche, ma di un processo fisico.

ESEMPI:

Gen-Ott: Gennaio conta 3 eventi e ha $\sigma=1,68$; Ottobre conta 15 eventi e $\sigma=2,83$

$$\sigma_{\text{tot}}^2 = (1,68)^2 + (2,83)^2 = 10,83 \quad \sigma = 3,29 \quad \frac{15-3}{3,29} = 2,13$$

Se si individua il valore 2,13 nella tavola di distribuzione della gaussiana (allegato 6.3), questo risulta corrispondere a 1,7%, valore decisamente basso che indica come vi possa essere un motivo non attribuibile alla casualità; di conseguenza si rigetta l’ipotesi nulla.

Feb-Apr: Febbraio conta 1 eventi e ha $\sigma=1$; Aprile conta 2 eventi e $\sigma=1,39$

$$\sigma_{\text{tot}}^2 = (1)^2 + (1,39)^2 = 2,93 \quad \sigma = 1,71 \quad \frac{2-1}{1,71} = 0,58$$

In questo caso, la percentuale corrispondente è di 28,1% che sta a significare come questa differenza possa essere frutto di fluttuazioni statistiche.

Di seguito sono riportati i dati dei confronti tra tutti i mesi, ricordando sempre che Febbraio, Maggio, Giugno e Luglio hanno lo stesso numero di eventi (1), così come Aprile e Settembre (2).

	GEN	FEB	MAR	APR	AGO	OTT	NOV
DIC	8,8%	1,2%	39%	3,8%	0,2%	21,2%	2,4%

	GEN	FEB	MAR	APR	AGO	OTT
NOV	0,05	0,002	4,5	0,01	***	12,3

	GEN	FEB	APR	AGO	OTT
MAR	5,4	0,6	2,1	0,1	30,1

	GEN	FEB	APR	AGO
OTT	1,7	0,1	0,5	0,02

	GEN	FEB	APR
AGO	3,7	15,9	7,5

	GEN	FEB
APR	32,3	28,1

	FEB
GEN	15,4

Le percentuali evidenziate sono quelle superiori al 5%, quindi differenze che possono essere attribuite alla casualità.

Vedendo gli altri valori, si osserva che i mesi che hanno il maggior numero di percentuali sotto la soglia di significatività sono: Marzo, Ottobre, Novembre e Dicembre. Mentre per Marzo e Dicembre non sembrerebbero esserci vistose motivazioni che giustifichino queste discrepanze, per gli altri due il discorso può

essere ricondotto al già accennato trasporto di aria calda e umida dal mare verso la terraferma nella stagione autunnale, dal momento che la capacità termica dell'acqua è nettamente superiore a quella della terra. Inoltre, la presenza delle montagne vicino alla costa dà luogo all'enhancement orografico (capitolo 2) che incrementa la possibilità di precipitazione anche a carattere di rovescio.

4.

CONCLUSIONI

In questo lavoro è stata fatta un'analisi della distribuzione spaziale degli eventi precipitativi di intensità uguale o maggiore dei 200 mm al giorno limitatamente al territorio della Sardegna.

Nella prima parte si è potuto osservare quanto questo tipo di precipitazioni siano localizzate nella parte orientale dell'isola, in corrispondenza delle catene montuose più alte ("Punta La Marmora" con 1834 m e "Bruncu Spina" con 1829 m). Questa evidenza porta certamente ad affermare che le montagne rivestano un ruolo fondamentale nello sviluppo delle precipitazioni intense, in quanto inducono la massa d'aria che arriva sul rilievo a salire forzatamente provocando i cosiddetti temporali orografici.

Nella seconda parte si sono invece analizzate le distribuzioni mensili di questi eventi e si è potuto constatare che i mesi con la maggiore concentrazione sono Ottobre, Novembre, Dicembre e Marzo. Per i primi due mesi ci si può certamente rifare al dato della superiorità capacità termica dell'acqua rispetto a quello della terra. Proprio per questo dopo aver assorbito la radiazione solare per tutti i mesi estivi ed essersi di conseguenza riscaldata, essa rende disponibile una grande quantità di vapore acqueo: questo vapore, contenuto nella massa d'aria umida, una volta raggiunta la catena montuosa, condensa velocemente e porta a precipitazioni.

In un lavoro successivo si potrebbe tentare di trovare una spiegazione plausibile per il gran numero di eventi precipitativi intensi avvenuti negli ultimi 50 anni nel mese di Marzo e Dicembre.

In conclusione è doveroso compiere talune precisazioni in merito allo studio affrontato e ai dati presentati. La prima riguarda il fatto che la distribuzione dei pluviometri non è uniforme, in quanto il posizionamento degli strumenti in certe

zone di montagna è pressoché impossibile: ne consegue quindi che alcune tra le vette più alte sono rimaste prive di rilevazione.

La seconda precisazione riguarda i dati pluviometrici: questi rilevano l'accumulo di pioggia in periodi fissi, ad esempio contando 24 ore a partire dalle 09:00 UTC, mentre sarebbe interessante avere cumulati di pioggia su una finestra in movimento, ad esempio un periodo di 24 ore a partire da orari variabili, scelti dall'utente.

Nonostante queste doverose delucidazioni, il lavoro svolto fornisce una visione realistica degli intensi eventi precipitativi, concentrandosi in modo particolare sull'analisi delle loro cause e sulla loro localizzazione in Sardegna.

Le forti piogge sono eventi naturali che l'uomo definisce catastrofici quando queste arrecano dei danni; solo una buona conoscenza del clima e del territorio, associata ad un buon piano urbanistico che non invada le vie di scorrimento delle acque superficiali, possono aiutare le forti piogge come tali e non come disastri spesso annunciati. Da questo lavoro appare quanto siano a rischio idrogeologico le località della costa orientale dell'isola.

Akinremi, O. O., S. M. McGinn, and H. W. Cutforth, 1999: Precipitation trends on the Canadian prairies. *J. Climate*, 12, 2996–3003.

Barbi A., Monai M., Racca R., and Rossa A.M. (2012) - Recurring features of extreme autumnall rainfall events on the Veneto coastal area. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 2463-2477.

Couto, F. T., Salgado, R., and Costa, M. J.: Analysis of intense rainfall events on Madeira Island during the 2009/2010 winter, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 2225-2240, doi:10.5194/nhess-12-2225-2012, 2012.

Critchfield, H.J., 1983. *General Climatology*, Prentice-Hall.

Dettori S., Filigheddu MR., Gutierrez M. - “Il clima e la fitoclimatologia della sughereta in Sardegna” in “La coltivazione della quercia da sughero.” Università degli Studi di Sassari, Istituto Nazionale di Economia Agraria, Programma Operativo Multiregionale Progetto B28, Accademia Italiana di Scienze Forestali. pp. 17-26.

Diffenbaugh, N. S., et al. (2005), Fine-scale processes regulate the response of extreme events to global climate change, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S.A.*, 102, 15,774 – 15,778.

Easterling, D. R., J. L. Evans, P.Ya. Groisman, T. R. Karl, K. E. Kunkel, and P. Ambenje, 2000c: Observed variability and trends in extreme climate events: A brief review. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 81, 417-425.

Fragoso M., Trigo R.M., Pinto J.G., Lopes S., Lopes A., Magro S. (2012) “The 20 February 2010 Madeira Flash-floods: Atmospheric controls and extreme

rainfall assessment". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, doi:10.5194/nhess-12-715-2012, 12, 715–730.

Garcia-Herrera R., Gallego D., Hernandez E., Gimeno L., Ribera P., and Calvo N. (2003) – Precipitation trends in the Canary islands. *Int. J. Climatol.*, 23, 235–241.

Ge, X., T. Li, S. Zhang, and M. Peng, 2010: What causes the extremely heavy rainfall in Taiwan during Typhoon Morakot (2009)? *Atmos. Sci. Lett.*, 11, 46–50, doi:10.1002/asl.255.

Giuffrida e Sansosti, 2006: *Manuale Di Meteorologia* . C.S.R. Roma . (ISBN 88-8440-426-6).

Goodess, C.M. and Jones, P.D., 2002: Links between circulation and changes in the characteristics of Iberian rainfall, *International Journal of Climatology*, 22, 1593-1615.

Gorricha, J., Lobo, V. and Costa, A. C. (2012). "Spatial characterization of extreme precipitation in Madeira island using geostatistical procedures and a 3D SOM". In: C.-P. Rückemann and B. Resch (Eds.), *GEOProcessing 2012. The Fourth International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services, Valencia, Spain, January 30 - February 4 2012*, IARIA, pp. 98-104.

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.

Karl T. R. and R. W. Knight, Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the United States. *Bull. Am. Met. Soc.* 79, 231-241, 1998.

Karl TR, Knight RW, Easterling DR, Quayle RG (1996) Indices of climate change for the United States. *Bull Am Meteorol Soc* 77:279–292.

Levizzani V., F. Pinelli, M. Pasqui, S. Melani, A. G. Laing, and R. E. Carbone, 2010: A 10-year climatology of warm season cloud patterns over Europe and the Mediterranean from Meteosat IR observations. *Atmos. Res.*, 97(4), 555-576.

Levizzani V., Laviola S., Cattani E., and Costa MJ. (2013) : Extreme precipitation on the Island of Madeira on 20February 2010 as seen by the satellite passive microwave sounders. *European Journal of Remote Sensing*.

Luna T., Rocha, A., Carvalho, A. C., Ferreira, J. A., and Sousa, J.: Modelling the extreme precipitation event over Madeira Island on 20 February 2010, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 2437– 2452, doi:10.5194/nhess-11-2437-2011, 2011.

Martyn, D., 1992. *Climates of the world*, Elsevier.

Osborn, T. J., Hulme, M., Jones, P. D. & Basnett, T. A. 2000 Observed trends in the daily intensity of United Kingdom precipitation. *Int. J. Climatol.* 20, 347–364.

Rasmussen K.L., and Houze R.A. (2012) - A flash-flooding storm at the steep edge of high mountain terrain - Disaster in the Himalayas. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 1713-1724.

Sylla MB, Giorgi F, Stordal F (2012) Large-scale origins of rainfall and temperature bias in high resolution simulations over southern Africa. *Clim Res* 52:193–211.

Smith J.A., Baek M.L., Ntelekos A.A., Villarini G., and Steiner M. (2011) - Extreme rainfall and flooding from orographic thunderstorms in the central

Appalachians. *Water Resour. Res.*, 47, W04514, doi:04510.01029/02010WR010190.

Suppiah R, Hennessy KJ. 1998. Trends in total rainfall, heavy-rain events and number of dry days in Australia, 1910–1990. *International Journal of Climatology* 10: 1141–1164.

Tripoli G.J., Medaglia C.M., Dietrich S., Mugnai A., Panegrossi G., Pinori S., and Smith E.A. (2005) – The 9–10 November 2001 Algerian flood: A numerical study. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 86, 1229-1235.

Webster P. J. and J. Jian 2011: Probability, Uncertainty and prediction: A pathway towards the alleviation of poverty in the developing world. *Phil. Trans. Roy. Soc.* vol.369 no. 1956.

Webster P. J., V. E. Toma and H. M. Kim 2011: Were the 2010 Pakistan Floods predictable? *Geophys. Res. Lettrs.*,38, L04806, doi: 10.1029/2010GL046346.

Wilks, Daniel S., Second Edition 2006: *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: An Introduction*. Academic Press, New York, 467 pp. (ISBN 0-120751865-3).

Zhang, X.B., Vincent, L.A., Hogg, W.D. and Niitsoo, A. 2000. Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century. *Atmosphere-Ocean* 38:395-429.

6.

ALLEGATI

6.1 TAVOLA DI DISTRIBUZIONE DEL CHI QUADRATO

Tavola distribuzione CHI-QUADRATO

Gradi di libertà	Livello di Probabilità a									
	1.00	0.99	0.95	0.90	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1				0.02	1.32	2.71	3.84	5.02	6.64	7.88
2	0.01	0.02	0.10	0.21	2.77	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60
3	0.07	0.12	0.35	0.58	4.11	6.25	7.82	9.35	11.35	12.84
4	0.21	0.30	0.71	1.06	5.39	7.78	9.49	11.14	13.28	14.86
5	0.41	0.55	1.15	1.61	6.63	9.24	11.07	12.83	15.09	16.75
6	0.68	0.87	1.64	2.20	7.84	10.65	12.59	14.45	16.81	18.55
7	0.99	1.24	2.17	2.83	9.04	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28
8	1.34	1.65	2.73	3.49	10.22	13.36	15.51	17.54	20.09	21.96
9	1.74	2.09	3.33	4.17	11.39	14.68	16.92	19.02	21.67	23.59
10	2.16	2.56	3.94	4.87	12.55	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19
11	2.60	3.05	4.58	5.58	13.70	17.28	19.68	21.92	24.73	26.76
12	3.07	3.57	5.23	6.30	14.85	18.55	21.03	23.34	26.22	28.30
13	3.57	4.11	5.89	7.04	15.98	19.81	22.36	24.74	27.69	29.82
14	4.08	4.66	6.57	7.79	17.12	21.06	23.69	26.12	29.14	31.32
15	4.60	5.23	7.26	8.55	18.25	22.31	25.00	27.49	30.58	32.80
16	5.14	5.81	7.96	9.31	19.37	23.54	26.30	28.85	32.00	34.27
17	5.70	6.41	8.67	10.09	20.49	24.77	27.59	30.19	33.41	35.72
18	6.27	7.02	9.39	10.87	21.61	25.99	28.87	31.53	34.81	37.16
19	6.84	7.63	10.12	11.65	22.72	27.20	30.14	32.85	36.19	38.58
20	7.43	8.26	10.85	12.44	23.83	28.41	31.41	34.17	37.57	40.00
21	8.03	8.90	11.59	13.24	24.94	29.62	32.67	35.48	38.93	41.40
22	8.64	9.54	12.34	14.04	26.04	30.81	33.92	36.78	40.29	42.80
23	9.26	10.20	13.09	14.85	27.14	32.01	35.17	38.08	41.64	44.18
24	9.89	10.86	13.85	15.66	28.24	33.20	36.42	39.36	42.98	45.56
25	10.52	11.52	14.61	16.47	29.34	34.38	37.65	40.65	44.31	46.93
26	11.16	12.20	15.38	17.29	30.44	35.56	38.89	41.92	45.64	48.29
27	11.81	12.88	16.15	18.11	31.53	36.74	40.11	43.19	46.96	49.65
28	12.46	13.57	16.93	18.94	32.62	37.92	41.34	44.46	48.28	50.99
29	13.12	14.26	17.71	19.77	33.71	39.09	42.56	45.72	49.50	52.34
30	13.79	14.95	18.49	20.60	34.80	40.26	43.77	46.98	50.89	53.67
31	14.46	15.66	19.28	21.43	35.89	41.42	44.99	48.23	52.19	55.00
32	15.13	16.36	20.07	22.27	36.97	42.59	46.19	49.48	53.49	56.33
33	15.82	17.07	20.87	23.11	38.06	43.75	47.40	50.73	54.78	57.65
34	16.50	17.79	21.66	23.95	39.14	44.90	48.60	51.97	56.06	58.96
35	17.19	18.51	22.47	24.80	40.22	46.06	49.80	53.20	57.34	60.28
36	17.89	19.23	23.27	25.64	41.30	47.21	51.00	54.44	58.62	61.58
37	18.59	19.96	24.08	26.49	42.38	48.36	52.19	55.67	59.89	62.88
38	19.29	20.69	24.88	27.34	43.46	49.51	53.38	56.90	61.16	64.18
39	20.00	21.43	25.70	28.20	44.54	50.66	54.57	58.12	62.43	65.48
40	20.71	22.16	26.51	29.05	45.62	51.81	55.76	59.34	63.69	66.77
41	21.42	22.91	27.33	29.91	46.69	52.95	56.94	60.56	64.95	68.05
42	22.14	23.65	28.14	30.77	47.77	54.09	58.12	61.78	66.21	69.34
43	22.86	24.40	28.97	31.63	48.84	55.23	59.30	62.99	67.46	70.62
44	23.58	25.15	29.79	32.49	49.91	56.37	60.48	64.20	68.71	71.89
45	24.31	25.90	30.61	33.35	50.99	57.51	61.66	65.41	69.96	73.17
46	25.04	26.66	31.44	34.22	52.06	58.64	62.83	66.62	71.20	74.44
47	25.78	27.42	32.27	35.08	53.13	59.77	64.00	67.82	72.44	75.70
48	26.51	28.18	33.10	35.95	54.20	60.91	65.17	69.02	73.68	76.97
49	27.25	28.94	33.93	36.82	55.27	62.04	66.34	70.22	74.92	78.23
50	27.99	29.71	34.76	37.69	56.33	63.17	67.51	71.42	76.15	79.49

6.2

DATI PLUVIOMETRICI 1950-1999

DATAM	NOME_STAZ	PREC
23-JAN-57	BAU MUGGERIS	245
23-JAN-57	GENNA CRESIA (C.RA)	236
23-JAN-57	SICCA D'ERBA	281.6
23-JAN-57	FLUMENDOSA I SALTO	218
23-JAN-57	LULA	251
24-JAN-57	CALANGIANUS	243
15-JAN-61	BAU MUGGERIS	288.5
15-JAN-61	FLUMENDOSA I SALTO	216
25-JAN-92	OLIENA	228
26-JAN-92	LULA	302

Totale eventi 3

DATAM	NOME_STAZ	PREC
07-FEB-67	BAU MELA	230
07-FEB-67	GAIRO TASQUISARA	209
07-FEB-67	GENNA-SILANA (C.RA)	395
07-FEB-67	TERTENIA	317
07-FEB-67	FLUMENDOSA I SALTO	210

Totale eventi 1

DATAM	NOME_STAZ	PREC
11-MAR-51	CAPO BELLAVISTA	300
16-MAR-53	IS CANNONERIS	201
16-MAR-53	SICCA D'ERBA	353.2
16-MAR-53	VILLAGRANDE	321.5
21-MAR-62	TERTENIA	227.7
21-MAR-62	VILLASIMIUS	205.6
21-MAR-62	RIO GIRONI (C.RA)	202
13-MAR-65	LANUSEI	255.2
14-MAR-65	ARZANA	250
14-MAR-65	DORGALI	211.6
14-MAR-65	VILLAGRANDE	260
14-MAR-65	TALANA	347.4
14-MAR-65	SA TEULA CENTRALE	205
24-MAR-73	DORGALI	215
24-MAR-73	SICCA D'ERBA	230
24-MAR-73	NOCE SECCA (C.RA)	211
30-MAR-74	BAU MELA	220
30-MAR-74	NOCE SECCA (C.RA)	203
30-MAR-74	GAIRO TASQUISARA	201.3
30-MAR-74	TALANA	250.8

30-MAR-74	VILLAGRANDE	221.5
30-MAR-74	SICCA D'ERBA	261.8
08-MAR-96	BAUNEI	225
08-MAR-96	SA TEULA CENTRALE	224
08-MAR-96	VILLANOVA STRISAILI	216.4
17-MAR-96	FONNI	242

Totale eventi 8

DATAM	NOME_STAZ	PREC
28-APR-67	BAUNEI	206
01-APR-74	LODE'	235

Totale eventi 2

DATAM	NOME_STAZ	PREC
01-MAY-80	GENNA-SILANA (C.RA)	223

Totale eventi 1

DATAM	NOME_STAZ	PREC
09-JUN-53	SANTULUSSURGIU	214.2
09-JUN-53	PLANU (C.RA)	245

Totale eventi 1

DATAM	NOME_STAZ	PREC
13-JUL-90	GIUSTIZIERI (C.RA)	228.4

Totale eventi 1

DATAM	NOME_STAZ	PREC
25-SEP-71	BURCEI	247
25-SEP-71	CAMPUOMU (CASERMA)	297
25-SEP-71	TUVIOIS (M.RA)	208
25-SEP-71	CAMPUOMU (TRAV.ACQ.)	274
26-SEP-71	BURCEI	368
26-SEP-71	CASTIADAS	241.6
26-SEP-71	CAMPUOMU (CASERMA)	285
26-SEP-71	MURAVERA	420.3
26-SEP-71	S.BARBARA (C.RA)	347
26-SEP-71	TUVIOIS (M.RA)	255
26-SEP-71	CAMPUOMU (TRAV.ACQ.)	382.4

26-SEP-71	VILLASIMIUS	219
26-SEP-71	MONTE ACUTO (C.RA)	450
27-SEP-71	TUVIOIS (M.RA)	214
30-SEP-86	BAUNEI	248
30-SEP-86	GENNA CRESIA (C.RA)	322
30-SEP-86	S.BARBARA (C.RA)	313
30-SEP-86	OLIENA	268
30-SEP-86	LANUSEI	221.2

Totale eventi 2

DATAM	NOME_STAZ	PREC
-----	-----	-----
15-OCT-51	ARZANA	395
15-OCT-51	FLUMENDOSA I SALTO	349
15-OCT-51	VILLASALTO	206.5
15-OCT-51	TALANA	309
15-OCT-51	SICCA D'ERBA	470
15-OCT-51	SA TEULA CENTRALE	339.5
15-OCT-51	S.NICOLO' GERREI	246.5
15-OCT-51	OLIENA	225
15-OCT-51	NOCE SECCA (C.RA)	250
15-OCT-51	GENNA CRESIA (C.RA)	416
15-OCT-51	ESCALAPLANO	243
15-OCT-51	RIO PARDIA	539
15-OCT-51	MASONEDILI (C.RA)	445
15-OCT-51	RIO GIRONI (C.RA)	312.9
15-OCT-51	GIUSTIZIERI (C.RA)	201
15-OCT-51	GENNA SCALAS	238
15-OCT-51	DORGALI	270
15-OCT-51	CASTIADAS	238
15-OCT-51	BAUNEI	350
15-OCT-51	BAU MANDARA	288
15-OCT-51	BAU MELA	251
15-OCT-51	BAU MUGGERIS	254
15-OCT-51	BARISARDO	250
16-OCT-51	ARQUERI (C.RA)	256.6
16-OCT-51	LULA	221
16-OCT-51	LANUSEI	235
16-OCT-51	JERZU F.C.	215.5
16-OCT-51	GENNA CRESIA (C.RA)	417.3
16-OCT-51	ESCALAPLANO	241
16-OCT-51	DORGALI	295
16-OCT-51	BAUNEI	252
16-OCT-51	BAU MUGGERIS	329
16-OCT-51	FLUMENDOSA I SALTO	451.5
16-OCT-51	VILLASALTO	281.8
16-OCT-51	VILLAGRANDE	385
16-OCT-51	SICCA D'ERBA	544
16-OCT-51	SEUI F.C.	247.4
16-OCT-51	SA TEULA CENTRALE	340
16-OCT-51	S.NICOLO' GERREI	252.3
16-OCT-51	PIRA ONNI	407
16-OCT-51	OLIENA	236
16-OCT-51	NOCE SECCA (C.RA)	220

16-OCT-51	CORREBOI	260
16-OCT-51	RIO PARDIA	308.6
16-OCT-51	MASONEDILI (C.RA)	348
16-OCT-51	GIUSTIZIERI (C.RA)	390
16-OCT-51	GENNA SCALAS	386.2
16-OCT-51	BAU MELA	430
16-OCT-51	BAU MANDARA	319.5
16-OCT-51	BALLAO	220
16-OCT-51	ARMUNGIA	353.8
16-OCT-51	ARZANA	400
17-OCT-51	ALA' DEI SARDI	209
17-OCT-51	BAU MUGGERIS	314
17-OCT-51	BAU MELA	326
17-OCT-51	SICCA D'ERBA	417
17-OCT-51	SA TEULA CENTRALE	238
17-OCT-51	PIRA ONNI	408
17-OCT-51	NOCE SECCA (C.RA)	205
17-OCT-51	LULA	282
17-OCT-51	JERZU F.C.	371
17-OCT-51	GALTELLI'	202
17-OCT-51	DORGALI	300
17-OCT-51	CORREBOI	297
17-OCT-51	GIUSTIZIERI (C.RA)	384
17-OCT-51	GENNA SCALAS	377.5
17-OCT-51	FLUMENDOSA I SALTO	362
17-OCT-51	ZUIGHE	212
17-OCT-51	VILLAGRANDE	352
17-OCT-51	TALANA	340
17-OCT-51	ARZANA	365
17-OCT-51	BAU MANDARA	326
18-OCT-51	BENETUTTI	206.2
18-OCT-51	ZUIGHE	226
18-OCT-51	GENNA SCALAS	223.6
18-OCT-51	TARONI (C.RA)	205
18-OCT-51	OLIENA	350
18-OCT-51	PIRA ONNI	370
18-OCT-51	JERZU F.C.	257
02-OCT-57	FERMATA S.GIORGIO	202.5
07-OCT-57	GENNA-SILANA (C.RA)	392
07-OCT-57	ZUIGHE	226.3
17-OCT-65	BARISARDO	237.4
17-OCT-65	MASONEDILI (C.RA)	268.9
17-OCT-65	TERTENIA	300
25-OCT-65	IS CANNONERIS	283.4
17-OCT-70	BAU MANDARA	238
17-OCT-70	BAU MELA	255
17-OCT-70	TALANA	434.6
17-OCT-70	SA TEULA CENTRALE	210
17-OCT-70	GENNA-SILANA (C.RA)	297.2
17-OCT-70	BAUNEI	252
17-OCT-70	GIUSTIZIERI (C.RA)	279.4
17-OCT-70	VILLAGRANDE	257
26-OCT-79	TERTENIA	205.4
28-OCT-85	S.BARBARA (C.RA)	250
30-OCT-85	S.BARBARA (C.RA)	232
01-OCT-86	OLIENA	267

13-OCT-86	CUILISEU	280
14-OCT-86	ARZANA	203.8
14-OCT-86	BAUNEI	200.8
14-OCT-86	LANUSEI	250
14-OCT-86	GENNA CRESIA (C.RA)	215

Totale eventi 9

DATAM	NOME_STAZ	PREC
18-NOV-55	BAUNEI	254
19-NOV-56	BAUNEI	220.8
19-NOV-56	GENNA-SILANA (C.RA)	220.5
19-NOV-56	NOCE SECCA (C.RA)	200.6
19-NOV-56	DORGALI	220
22-NOV-57	GENNA-SILANA (C.RA)	233
21-NOV-58	DORGALI	207
21-NOV-58	GENNA SCALAS	225.7
21-NOV-58	GENNA-SILANA (C.RA)	229.8
21-NOV-58	SICCA D'ERBA	207.6
21-NOV-58	TORTOLI '	218.2
24-NOV-59	BAUNEI	215
24-NOV-59	GENNA SCALAS	206.6
23-NOV-61	ARZANA	230.6
23-NOV-61	DORGALI	223.3
23-NOV-61	GIUSTIZIERI (C.RA)	236.5
23-NOV-61	UTA	400
23-NOV-61	TALANA	292.2
23-NOV-61	SICCA D'ERBA	254
23-NOV-61	SA TEULA CENTRALE	301
23-NOV-61	PERDASDEFOGU	220.5
23-NOV-61	LANUSEI	273
23-NOV-61	GAIRO TASQUISARA	226
23-NOV-61	BAU MUGGERIS	226
08-NOV-64	NUORO	240
09-NOV-64	PADULO (C.RA)	205
29-NOV-68	SICCA D'ERBA	243.2
30-NOV-68	ARZANA	280.4
30-NOV-68	GALTELLI '	211
30-NOV-68	DORGALI	275
30-NOV-68	GIUSTIZIERI (C.RA)	244.2
30-NOV-68	VILLAGRANDE	202
30-NOV-68	SA TEULA CENTRALE	432
30-NOV-68	NOCE SECCA (C.RA)	210
30-NOV-68	LANUSEI	350
08-NOV-83	MONTIMANNU (CASERMA)	221.6
08-NOV-83	VALLERMOSA	207.2
30-NOV-83	CAPO CARBONARA	300
13-NOV-86	LANUSEI	201.2
01-NOV-93	BARISARDO	407.4
01-NOV-93	LANUSEI	238
01-NOV-93	CUILISEU	446.6
01-NOV-93	MURAVERA	360.4
01-NOV-93	TORTOLI '	333.4

24-NOV-95	S.BARBARA (C.RA)	270.6
12-NOV-99	DECIMOMANNU	234
12-NOV-99	MURAVERA	227
12-NOV-99	PELAU	258
13-NOV-99	VILLASOR	260.4
29-NOV-99	ORUNE	250

Totale eventi 15

DATAM	NOME_STAZ	PREC
16-DEC-53	LANUSEI	240
16-DEC-53	NOCE SECCA (C.RA)	213
16-DEC-53	SICCA D'ERBA	262.4
30-DEC-57	LODE'	215
30-DEC-57	SICCA D'ERBA	207.6
11-DEC-67	PADRU	238
12-DEC-67	SA TEULA CENTRALE	215
22-DEC-76	GENNA-SILANA (C.RA)	205
29-DEC-80	GAIRO TASQUISARA	221
05-DEC-89	NOCE SECCA (C.RA)	219
27-DEC-92	BAUNEI	240

Totale eventi 7

6.3 TAVOLA DI DISTRIBUZIONE DELLA GAUSSIANA

U	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,50000	0,49601	0,49202	0,48803	0,48405	0,48006	0,47608	0,47210	0,46812	0,46414
0,1	0,46017	0,45620	0,45224	0,44828	0,44433	0,44038	0,43644	0,43251	0,42858	0,42465
0,2	0,42074	0,41683	0,41294	0,40905	0,40517	0,40129	0,39743	0,39358	0,38974	0,38591
0,3	0,38209	0,37828	0,37448	0,37070	0,36693	0,36317	0,35942	0,35569	0,35197	0,34827
0,4	0,34458	0,34090	0,33724	0,33360	0,32997	0,32636	0,32276	0,31918	0,31561	0,31207
0,5	0,30854	0,30503	0,30153	0,29806	0,29460	0,29116	0,28774	0,28434	0,28096	0,27760
0,6	0,27425	0,27093	0,26763	0,26435	0,26109	0,25785	0,25463	0,25143	0,24825	0,24510
0,7	0,24196	0,23885	0,23576	0,23270	0,22965	0,22663	0,22363	0,22065	0,21770	0,21476
0,8	0,21186	0,20897	0,20611	0,20327	0,20045	0,19766	0,19489	0,19215	0,18943	0,18673
0,9	0,18406	0,18141	0,17879	0,17619	0,17361	0,17106	0,16853	0,16602	0,16354	0,16109
1,0	0,15866	0,15625	0,15386	0,15151	0,14917	0,14686	0,14457	0,14231	0,14007	0,13786
1,1	0,13567	0,13350	0,13136	0,12924	0,12714	0,12507	0,12302	0,12100	0,11900	0,11702
1,2	0,11507	0,11314	0,11123	0,10935	0,10749	0,10565	0,10383	0,10204	0,10027	0,09853
1,3	0,09680	0,09510	0,09342	0,09176	0,09012	0,08851	0,08692	0,08534	0,08379	0,08226
1,4	0,08076	0,07927	0,07780	0,07636	0,07493	0,07353	0,07215	0,07078	0,06944	0,06811
1,5	0,06681	0,06552	0,06426	0,06301	0,06178	0,06057	0,05938	0,05821	0,05705	0,05592
1,6	0,05480	0,05370	0,05262	0,05155	0,05050	0,04947	0,04846	0,04746	0,04648	0,04551
1,7	0,04457	0,04363	0,04272	0,04182	0,04093	0,04006	0,03920	0,03836	0,03754	0,03673
1,8	0,03593	0,03515	0,03438	0,03362	0,03288	0,03216	0,03144	0,03074	0,03005	0,02938
1,9	0,02872	0,02807	0,02743	0,02680	0,02619	0,02559	0,02500	0,02442	0,02385	0,02330
2,0	0,02275	0,02222	0,02169	0,02118	0,02068	0,02018	0,01970	0,01923	0,01876	0,01831
2,1	0,01786	0,01743	0,01700	0,01659	0,01618	0,01578	0,01539	0,01500	0,01463	0,01426
2,2	0,01390	0,01355	0,01321	0,01287	0,01255	0,01222	0,01191	0,01160	0,01130	0,01101
2,3	0,01072	0,01044	0,01017	0,00990	0,00964	0,00939	0,00914	0,00889	0,00866	0,00842
2,4	0,00820	0,00798	0,00776	0,00755	0,00734	0,00714	0,00695	0,00676	0,00657	0,00639
2,5	0,00621	0,00604	0,00587	0,00570	0,00554	0,00539	0,00523	0,00508	0,00494	0,00480
2,6	0,00466	0,00453	0,00440	0,00427	0,00415	0,00402	0,00391	0,00379	0,00368	0,00357
2,7	0,00347	0,00336	0,00326	0,00317	0,00307	0,00298	0,00289	0,00280	0,00272	0,00264
2,8	0,00256	0,00248	0,00240	0,00233	0,00226	0,00219	0,00212	0,00205	0,00199	0,00193
2,9	0,00187	0,00181	0,00175	0,00169	0,00164	0,00159	0,00154	0,00149	0,00144	0,00139
3,0	0,00135	0,00131	0,00126	0,00122	0,00118	0,00114	0,00111	0,00107	0,00104	0,00100
3,1	0,00097	0,00094	0,00090	0,00087	0,00084	0,00082	0,00079	0,00076	0,00074	0,00071
3,2	0,00069	0,00066	0,00064	0,00062	0,00060	0,00058	0,00056	0,00054	0,00052	0,00050
3,3	0,00048	0,00047	0,00045	0,00043	0,00042	0,00040	0,00039	0,00038	0,00036	0,00035
3,4	0,00034	0,00032	0,00031	0,00030	0,00029	0,00028	0,00027	0,00026	0,00025	0,00024
3,5	0,00023	0,00022	0,00022	0,00021	0,00020	0,00019	0,00019	0,00018	0,00017	0,00017
3,6	0,00016	0,00015	0,00015	0,00014	0,00014	0,00013	0,00013	0,00012	0,00012	0,00011
3,7	0,00011	0,00010	0,00010	0,00010	0,00009	0,00009	0,00008	0,00008	0,00008	0,00008
3,8	0,00007	0,00007	0,00007	0,00006	0,00006	0,00006	0,00006	0,00005	0,00005	0,00005
3,9	0,00005	0,00005	0,00004	0,00004	0,00004	0,00004	0,00004	0,00004	0,00003	0,00003