



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
ARPAS

Analisi dell'evento meteorologico del 18 novembre 2013



INDICE

1. INTRODUZIONE.....	4
2. DESCRIZIONE DEL QUADRO METEOROLOGICO NEL PERIODO DAL 15 AL 20 NOVEMBRE	5
2.1. VENERDÌ 15 NOVEMBRE 2013.....	5
2.2. SABATO 16 NOVEMBRE 2013.....	7
2.3. DOMENICA 17 NOVEMBRE 2013.....	10
2.4. LUNEDÌ 18 NOVEMBRE 2013.....	14
2.5. MARTEDÌ 19 NOVEMBRE 2013.....	17
2.6. MERCOLEDÌ 20 NOVEMBRE 2013.....	20
3. DESCRIZIONE ALLA MESOSCALA DEI FENOMENI DEL 18 NOVEMBRE	23
3.1. RICOSTRUZIONE NUMERICA A SCALA LOCALE	25
3.2. ANALISI DINAMICA E TERMODINAMICA STRUMENTALE	44
4. CLASSIFICAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI DEL 18 NOVEMBRE	95
4.1. SARDEGNA CENTRO – SUD-OCCIDENTALE, AREA 1.....	97
4.2. SARDEGNA CENTRO – SUD-ORIENTALE, AREA 2.....	116
4.3. SARDEGNA CENTRO – ORIENTALE, AREA 3.....	131
4.4. SARDEGNA CENTRO – NORD-ORIENTALE, AREA 4.....	142
4.5. SARDEGNA NORD-ORIENTALE, AREA 5 – BACINI IDROGRAFICI <i>PADRONGIANO</i> E <i>MINORI FRA IL LISCIA E IL PADRONGIANO</i>	150

A cura di

Carlo Dessy, Paolo Boi, Carluccio Castiglia, Piero Cau, Giovanni Ficca, Giuliano Fois, Simona Canu, Paolo Capece, Giacomo Cavalli

Realizzazione grafica

Salvatorina Sechi

ARPAS – Dipartimento Meteorologico

Viale Porto Torres 119, 07100 Sassari

tel. +39 079 258600 fax +39 079 262681

dipartimento.imc@arpa.sardegna.it dipartimento.imc@pec.arpa.sardegna.it



1 INTRODUZIONE

Gli eventi come quello del 18 novembre 2013 sono senz'altro molto particolari e si possono verificare al presentarsi nello stesso tempo di determinati fattori; tali circostanze possono apparire eccezionali o straordinarie per un dato luogo (non certo perché violino qualche legge naturale) ma in un'area vasta come quella mediterranea sono anzi eventi tipici del periodo autunnale, con precipitazioni copiose e molto intense che tendono a risultare superiori alla norma nella regione colpita e che spesso sono associati a importanti fenomeni alluvionali e/o franosi d'impatto drammatico sulle vite e le opere umane.

Nel caso della Sardegna abbiamo purtroppo eventi analoghi anche in anni recenti, sia con cumulati di precipitazione, sia d'intensità oraria, pure maggiori o circa uguali a quelli massimi registrati il 18 novembre 2013. Il massimo cumulato giornaliero assoluto, 590,0 mm/d, è stato registrato a Bau Mandara (Villagrande Strisaili) il 6 dicembre 2004, il massimo assoluto d'intensità oraria è stato invece raggiunto il 22 ottobre 2008 a Capoterra con quasi 150 mm/h.

Gli elementi necessari a far accadere tutto ciò hanno essenzialmente due componenti, una locale e l'altra legata a scale spaziali maggiori: la prima è data da processi che hanno luogo alla "mesoscala", cioè su distanze che vanno da pochi chilometri ad alcune centinaia, la seconda invece è legata ai moti atmosferici dell'ordine dei mille chilometri che si definisce scala "sinottica". Nella stagione autunnale risultano massimi i gradienti termici tra le masse d'aria calda subtropicale che dall'Africa raggiungono l'Isola, scorrendo sul Mare Mediterraneo ancora relativamente caldo, e quelle molto fredde delle più alte latitudini. Quando le configurazioni bariche dell'atmosfera fanno sì che tali masse d'aria si scontrino, si assiste allo sviluppo di precipitazioni convettive molto copiose e intense, favorite anche da un effetto orografico, sui settori orientali e meridionali della Sardegna.

Nel seguito, dopo un'analisi del quadro sinottico relativo ai giorni che hanno preceduto e seguito l'evento (15-20 novembre) si esamina nel dettaglio la giornata del 18 novembre 2013. Le zone dell'Isola interessate dai fenomeni sono state il Campidano e la gran parte della fascia orientale della Regione. Flussi sciroccali persistenti hanno incanalato masse d'aria caldo-umida sui rilievi meridionali e orientali favorendo lo sviluppo e la rigenerazione di due sistemi convettivi alla mesoscala ben definiti su entrambi i versanti dell'Isola e a carattere stazionario, che hanno determinato processi precipitativi molto efficienti sul Campidano e tra il Sarrabus e la Gallura.

La ricostruzione numerica a scala locale sulla Sardegna è utilizzata per evidenziare la scansione temporale dei fenomeni nel corso della giornata e per individuarne le principali caratteristiche dinamiche e termodinamiche. Le varie fasi sono poi descritte con l'analisi delle misure ottenute dai radiosondaggi disponibili, dalle elaborazioni satellitari sui diversi canali, dalle scansioni del radar meteorologico, dalle stazioni pluviometriche e dalle fulminazioni rilevate. Infine, vengono confrontate le misure del 18/11 con quelle storiche disponibili per le stesse località utilizzando cinque diverse aree.

La metodologia applicata consente di concludere che in tutte le aree sono stati registrati eventi estremi di precipitazione e che su almeno tre di esse le precipitazioni del 18/11 sono state localmente le più copiose da quando le serie storiche sono disponibili. Dal confronto con i più recenti eventi meteorologici a carattere estremo che hanno riguardato l'Isola si può inoltre dedurre che quello in esame si caratterizza per la maggior estensione dei territori coinvolti nell'arco della stessa giornata.

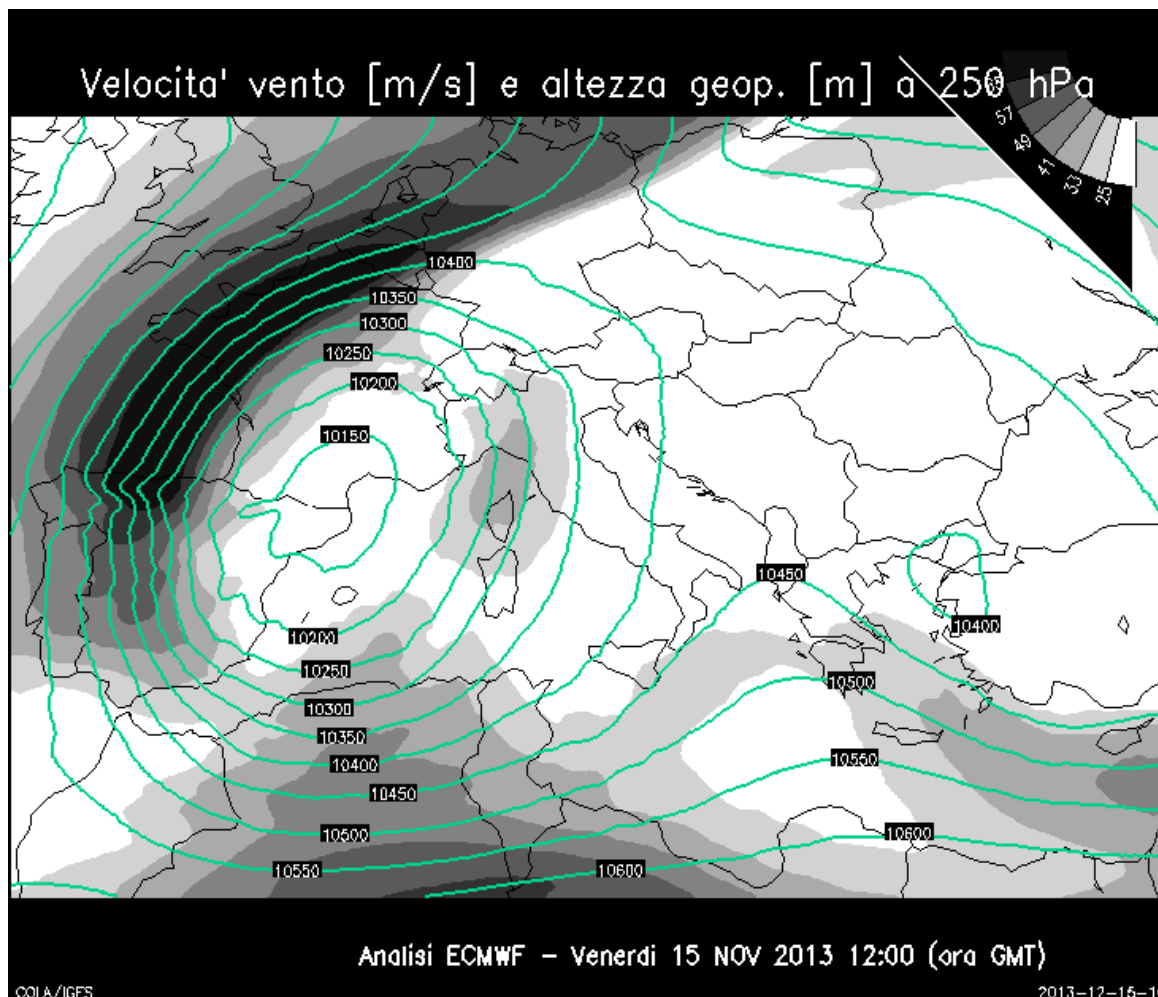
2 DESCRIZIONE DEL QUADRO METEOROLOGICO NEL PERIODO DAL 15 AL 20 NOVEMBRE

2.1 Venerdì 15 novembre 2013

Il quadro sinottico vede la corrente a getto in quota guidare un'onda depressionaria di origine nord-atlantica che dopo aver raggiunto l'Europa nord-occidentale il 13/11, si approfondisce nella media troposfera verso la Francia, dove dà luogo ad un evento di *cut-off* che isola un minimo chiuso in quota (figure¹ 2.1.1-3). Tale evoluzione causa inoltre una ciclogenese secondaria a ridosso dell'arco alpino con la formazione di un minimo depressionario e conseguente moderata ventilazione di maestrale che interessa anche la Sardegna. Al suolo è ben presente l'anticiclone delle Azzorre, a latitudini più elevate rispetto alla sua sede naturale, con un massimo di 1043 hPa a Sud-Ovest dell'Irlanda; esso si va progressivamente ad estendere sul settore settentrionale del continente europeo.

Per quanto riguarda la Sardegna, l'unico elemento rilevante è la presenza della ventilazione di maestrale, dovuta al minimo secondario originatosi a ridosso delle Alpi; il cielo si presenta generalmente poco nuvoloso e non si registrano precipitazioni.

Figura 2.1.1



¹ Nelle figure 2.1.1-3, 2.2.1-3, 2.3.1-3, 2.4.1-3 e 2.5.1-3, sono mostrate per ciascun giorno, riferite alle ore 1200UTC, sia la velocità del vento (m/s) e l'altezza di geopotenziale (m) alla superficie barica di 250 hPa, sia la temperatura (°C) e l'altezza di geopotenziale (m) alla superficie barica di 500 hPa, sia la temperatura (°C) alla superficie barica di 850 hPa e la pressione sul livello del mare (mean sea level pressure, in hPa). Le intensità del vento sono rappresentate in livelli di grigio secondo la palette a ventaglio in alto a destra, le temperature attraverso gradazioni di colore cui fa riferimento la barra orizzontale posta sotto le immagini, mentre le isolinee si riferiscono all'altezza di geopotenziale e alla pressione sul livello del mare. I dati usati per costruire le immagini sono quelli delle analisi dell'European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) di Reading, Inghilterra, alla risoluzione di 0,125° x 0,125°.

Figura 2.1.2

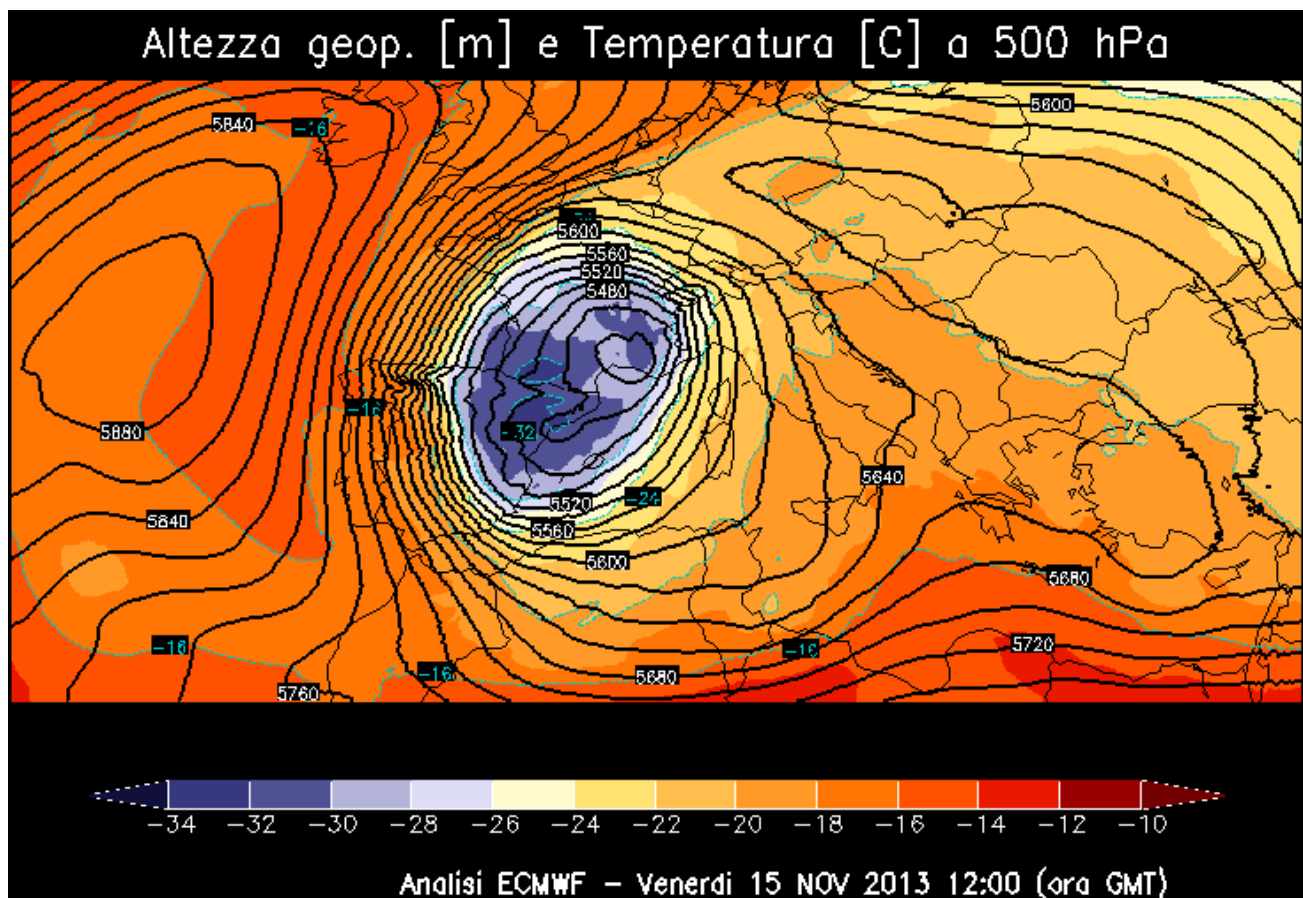
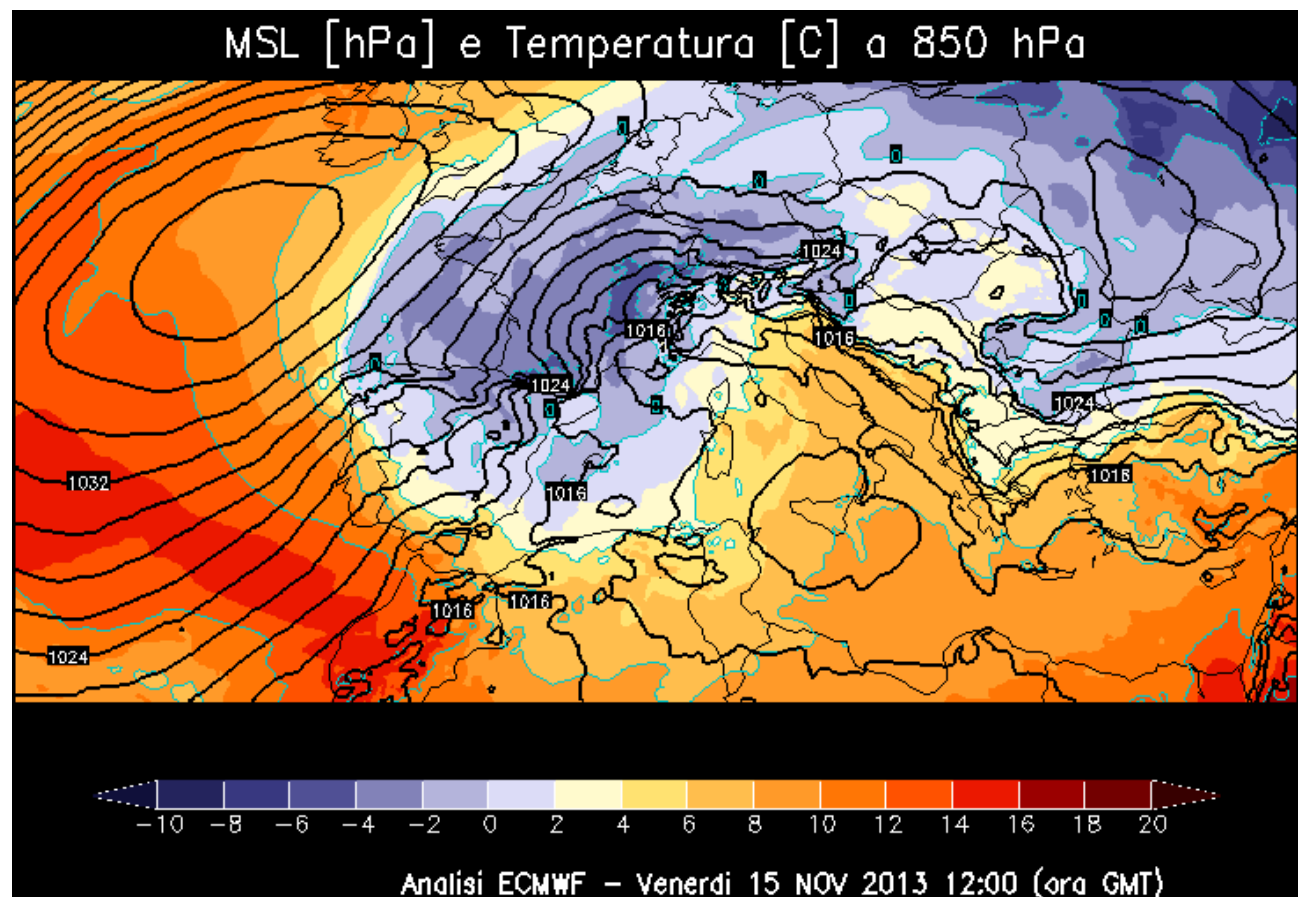


Figura 2.1.3

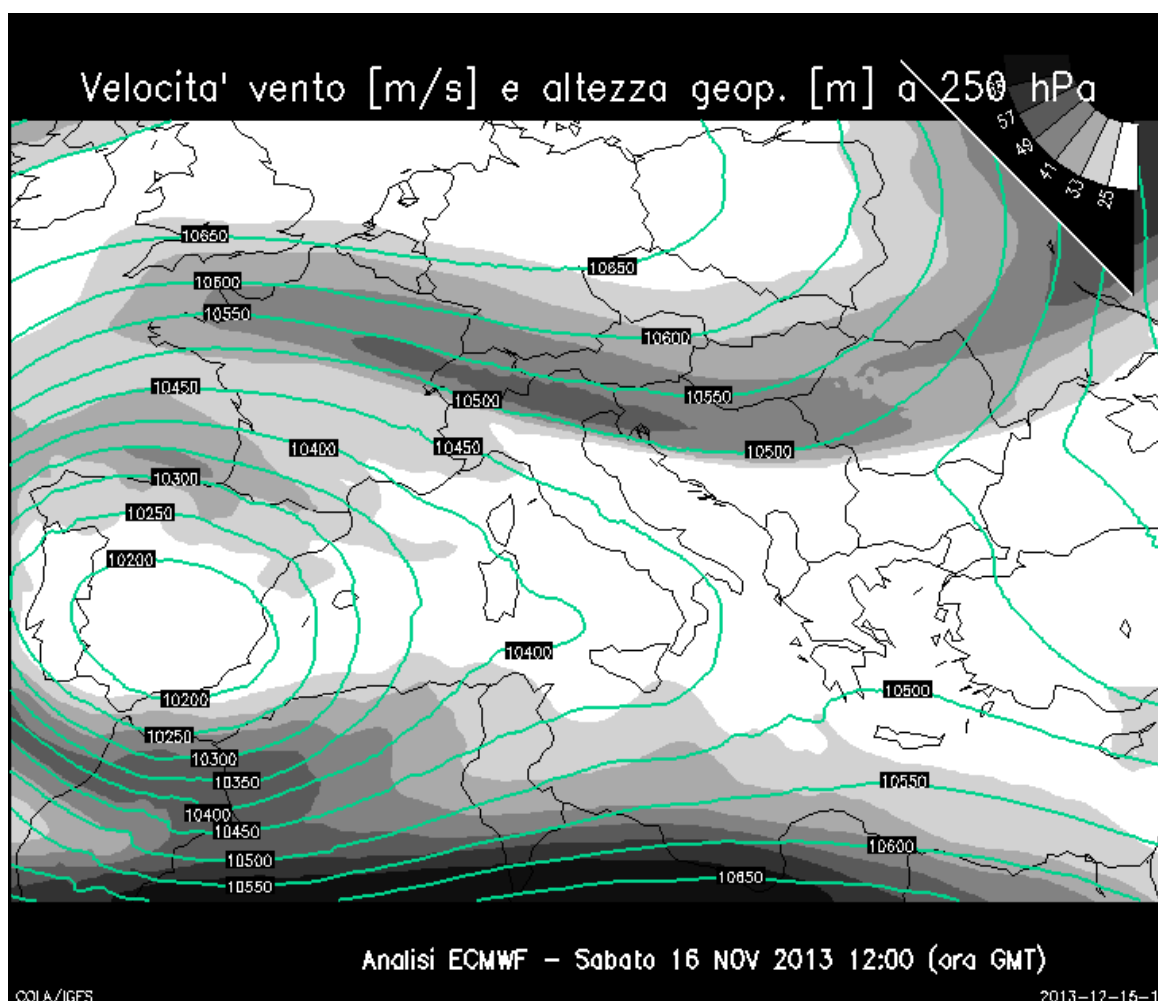


2.2 Sabato 16 novembre 2013

In seguito al summenzionato processo di *cut-off* del 15/11, si va a formare sulla Penisola Iberica e sul lembo più occidentale del Mediterraneo una struttura ciclonica nella media e alta troposfera che trascina con sé aria fredda di origine polare, favorendo condizioni d'instabilità atmosferica in tutta la regione interessata e facendo registrare precipitazioni, anche intense, a prevalente carattere convettivo. Al suolo l'anticiclone continua a estendersi dall'Atlantico sul settore settentrionale del continente europeo, mentre un altro campo d'alta pressione domina l'Europa Orientale e sull'Africa Settentrionale la pressione al suolo risulta sostanzialmente livellata. Tale configurazione barica imprime un moto retrogrado al *cut-off*, favorendone l'ulteriore isolamento, la migrazione verso il settore meridionale della Penisola Iberica e la formazione di un minimo chiuso al suolo localizzato tra le Baleari e la Catalogna; si assiste inoltre alla migrazione verso Nord-Ovest di un altro minimo barico al suolo che dal basso Tirreno raggiunge la Sardegna orientale.

Con l'avvicinamento alla Sardegna del minimo sul Tirreno, si sviluppano celle convettive, anche temporalesche, sul mare prospiciente l'Isola. Nel corso della mattina, per via della circolazione che si dispone dai quadranti orientali nella media e bassa troposfera, le precipitazioni² raggiungono il settore settentrionale dell'Isola, facendo registrare i maggiori cumulati sulle località della costa nord-orientale.

Figura 2.2.1



² Sono mostrati per ciascun giorno, nelle figure 2.2.4, 2.3.4, 2.4.4 e 2.5.4, i cumulati giornalieri di precipitazione riferiti all'ora solare, ovvero le altezze di pioggia registrate nelle 24 ore, dai pluviometri utilizzabili delle stazioni gestite dall'ARPAS, dall'Agenzia Regionale del Distretto Idrografico della Sardegna (ARDIS), dal Consorzio di Bonifica della Sardegna Centrale, dall'Ente Acque della Sardegna (ENAS) e da quelle appartenenti al *Global Meteorological Observation System* (GMOS). Data la densità di pluviometri sul territorio regionale e la natura convettiva dei fenomeni atmosferici in esame, si è adottata una rappresentazione puntuale delle precipitazioni registrate; in tali circostanze, infatti, l'uso di tecniche geostatistiche di spazializzazione dei valori registrati sarebbe stato del tutto improprio, non potendo in generale rappresentare la corretta distribuzione spaziale del fenomeno, né consentire l'estrapolazione delle informazioni mancanti. I cumulati del 15 novembre non sono mostrati poiché non si sono registrate precipitazioni. Nella figura 2.2.5 sono individuati i bacini idrografici dell'Isola.

Figura 2.2.2

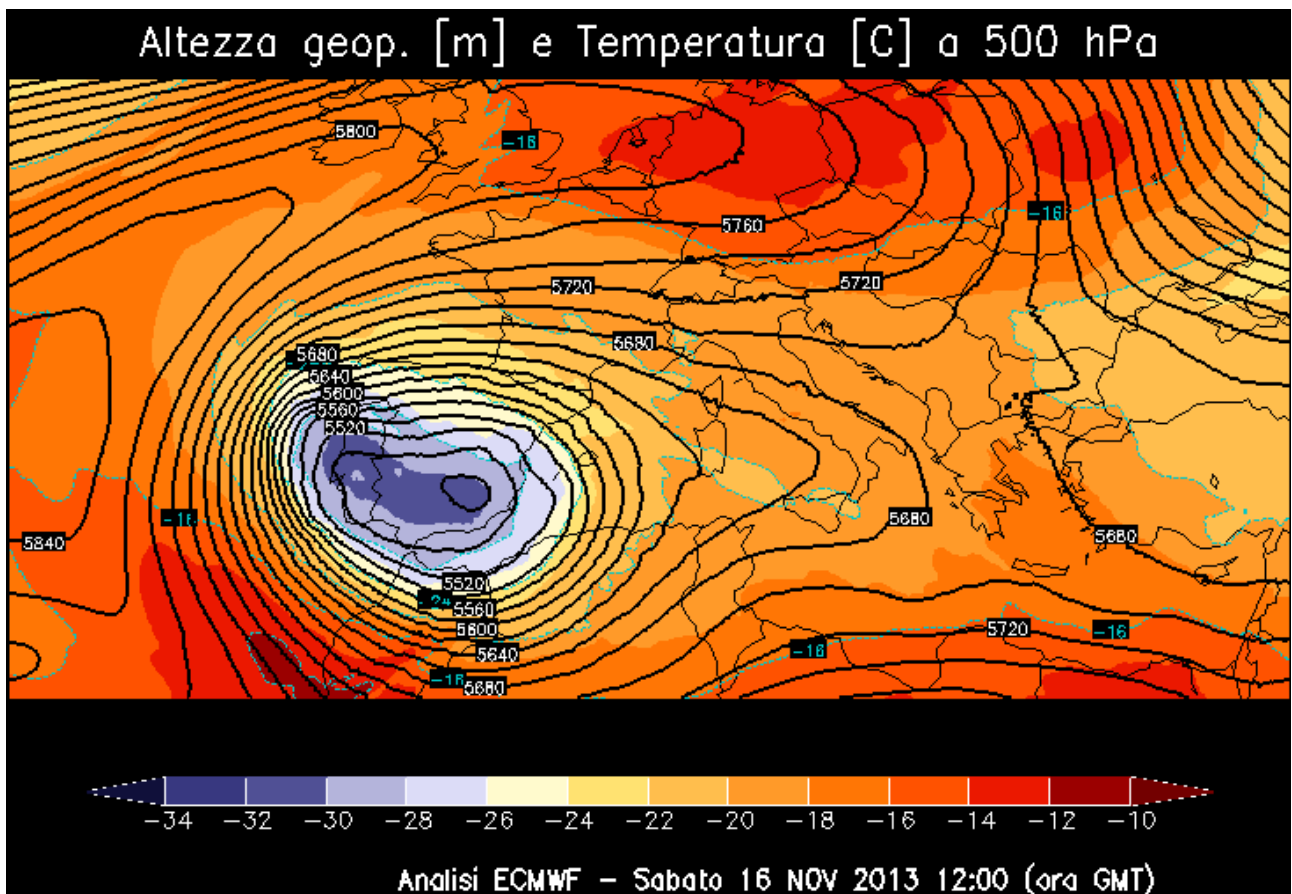


Figura 2.2.3

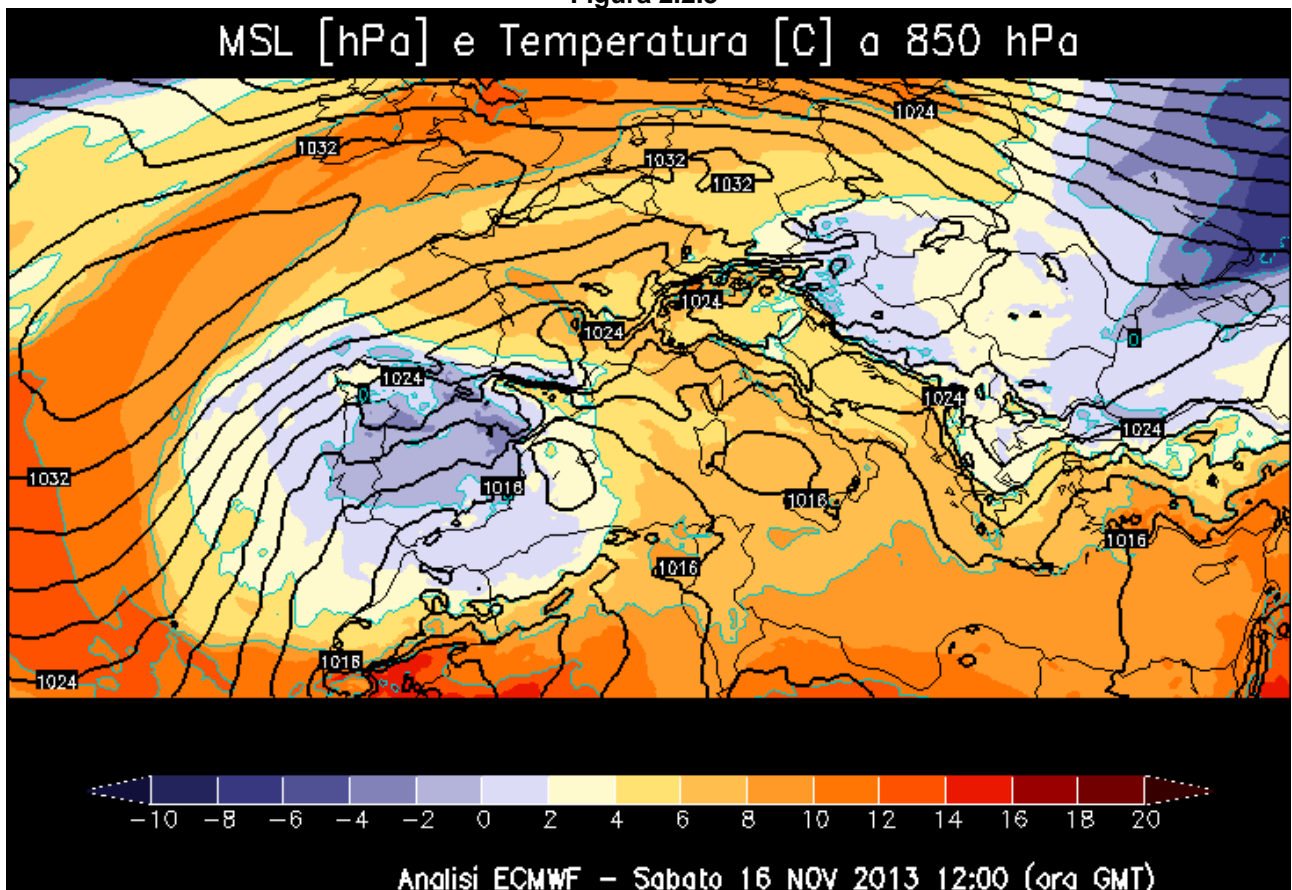


Figura 2.2.4

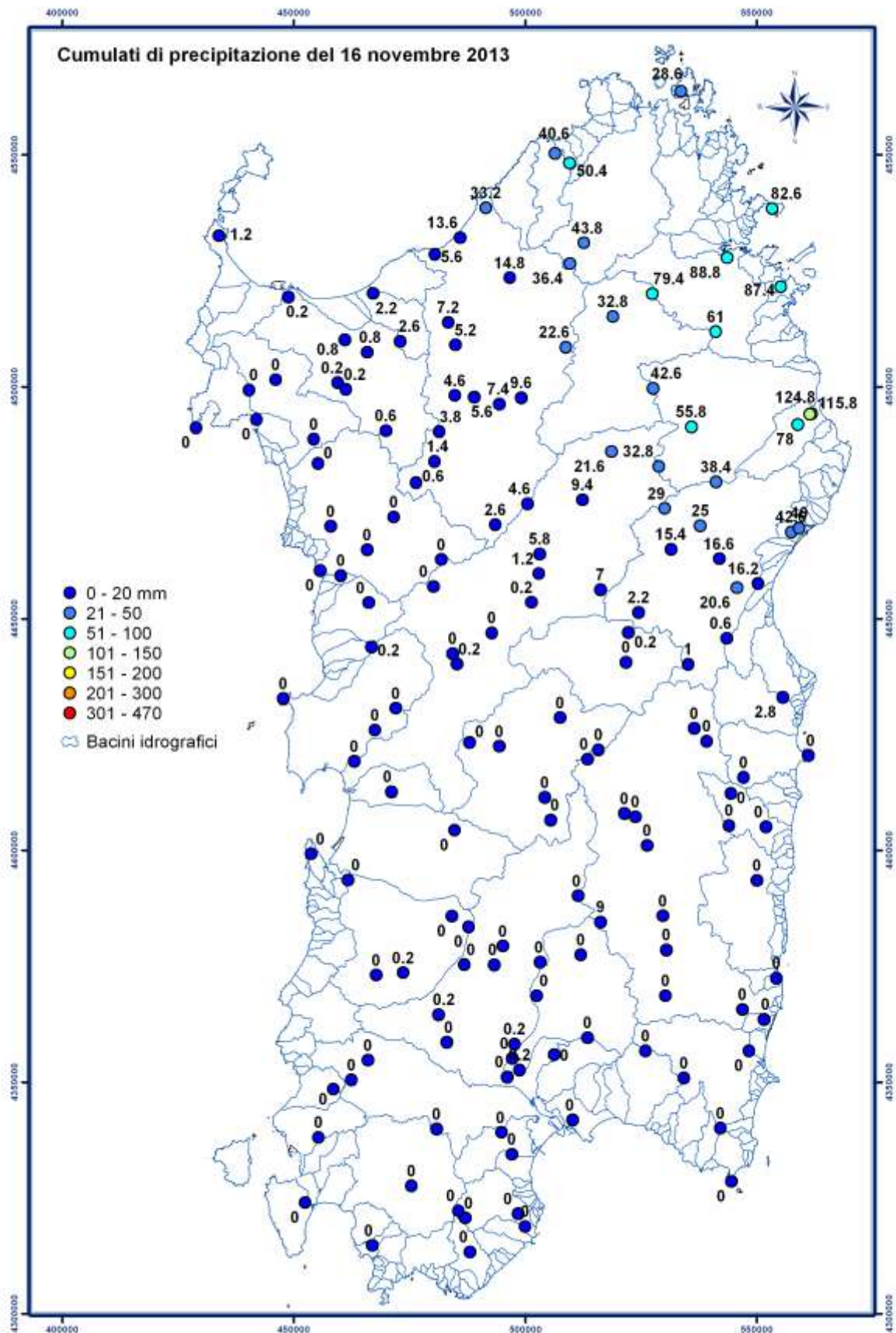
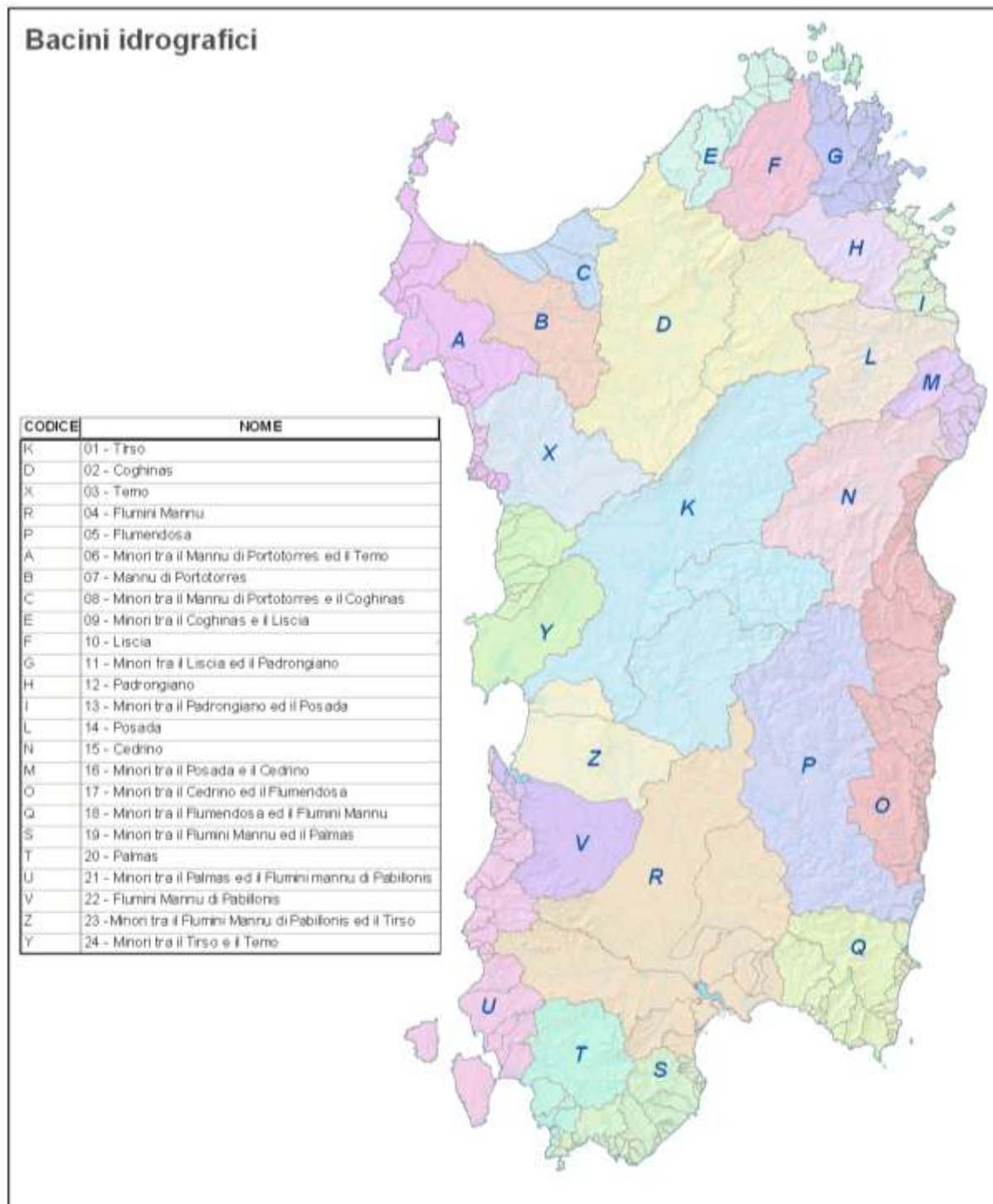


Figura 2.2.5



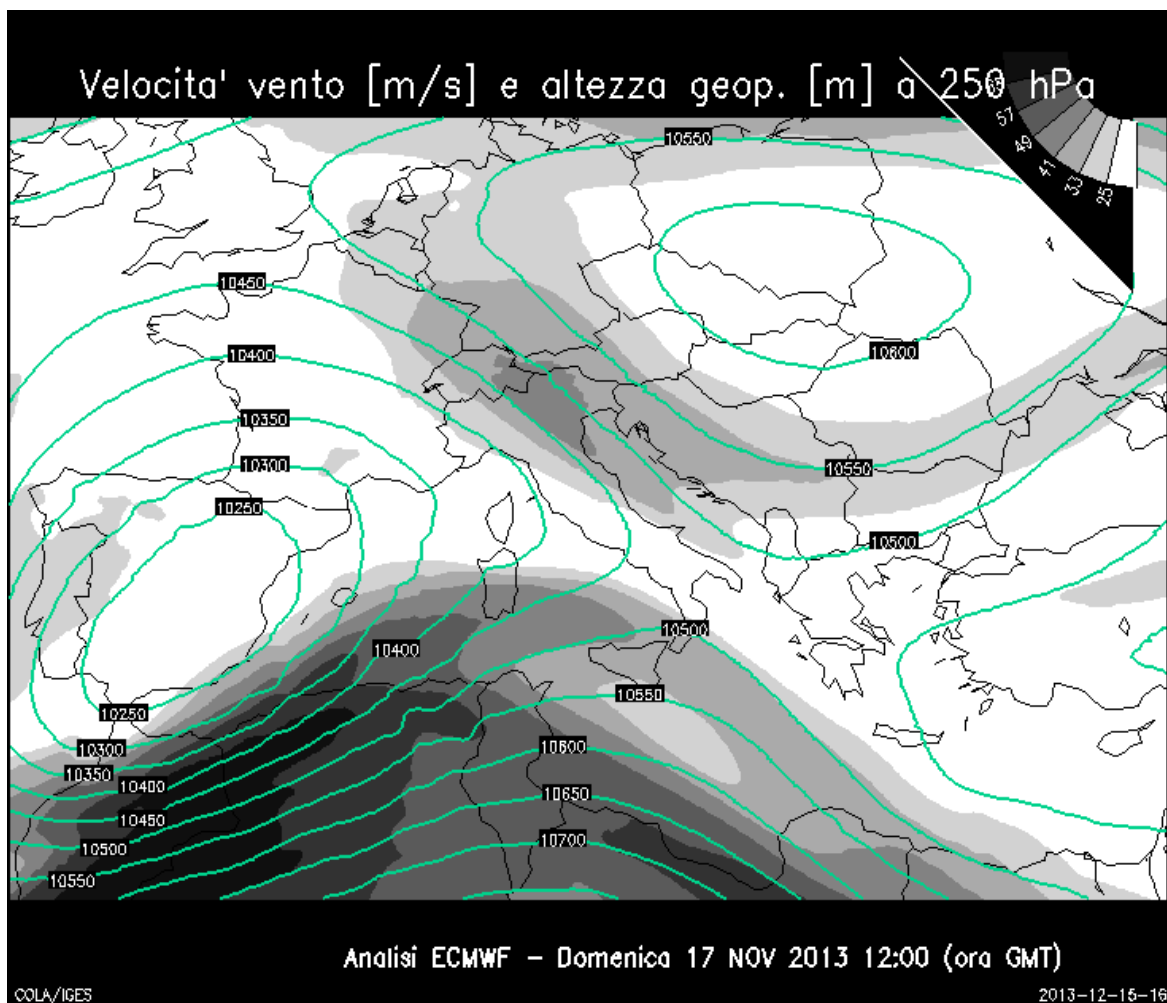
2.3 Domenica 17 novembre 2013

Durante la giornata di domenica la struttura ciclonica, più marcata nella media e alta troposfera, interrompe il suo moto retrogrado e staziona tra il Marocco e la Spagna, per poi iniziare nella serata a migrare lentamente verso Nord-Est; in tal modo essa determina, lungo il suo margine orientale, l'afflusso di aria calda di origine africana sul Mediterraneo Occidentale, che interessa anche l'Isola. Nei bassi strati induce un minimo depressionario a Nord dell'Algeria causando un aumento del gradiente barico sul Canale di Sardegna, anche per la presenza del campo di alta pressione che al suolo si estende dall'Europa Orientale fino al Tirreno. A partire dalla serata consegue sull'Isola una ventilazione di Scirocco nei bassi strati, associata ai flussi di aria calda di origine africana che acquisiscono umidità nel loro transito sul Mediterraneo. Una forzante dinamica è presente in quota, dovuta alla corrente a getto subtropicale che scorre sull'Africa

setentrionale. Essa presenta un moderato *jet streak* la cui entrata settentrionale si trova in corrispondenza del bacino occidentale del Mediterraneo e si appresta a raggiungere l'Isola nel giorno seguente.

Nelle prime ore del mattino la Sardegna nord-orientale è interessata da precipitazioni che costituiscono la coda residua dei fenomeni della serata precedente. Nella seconda parte della mattinata brevi episodi di pioviggine, deducibile dalla riflettività radar, interessano l'Arburese³ (area non coperta da pluviometri). I venti sono inizialmente deboli di direzione variabile, ma nel corso della giornata tendono al rinforzo e a disporsi da Sud-Est, determinando l'avvezione di masse d'aria calda di origina africana che raggiungono l'Isola.

Figura 2.3.1



³ Si rimanda alla figura 3.1 per l'indicazione delle zone storiche della Sardegna.

Figura 2.3.2

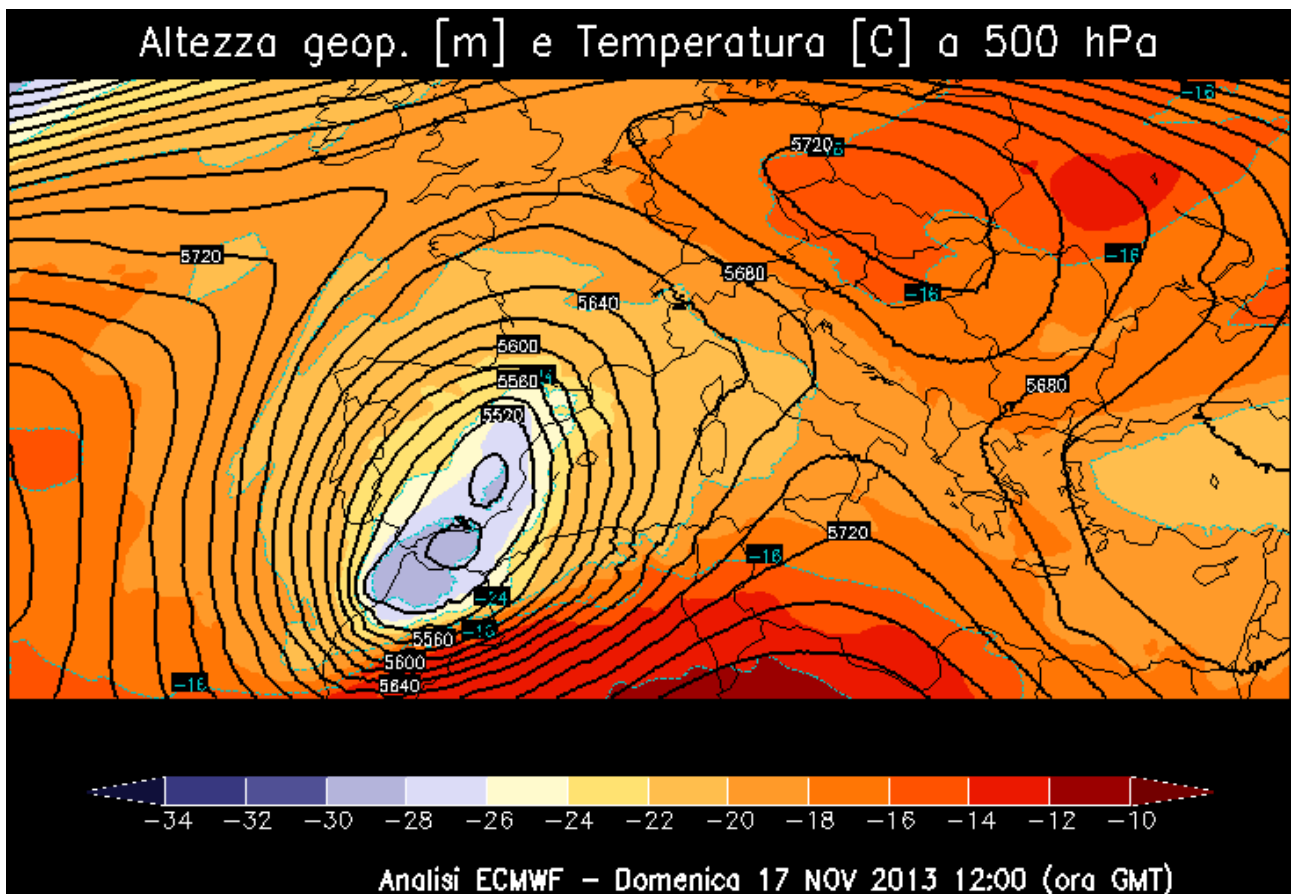


Figura 2.3.3

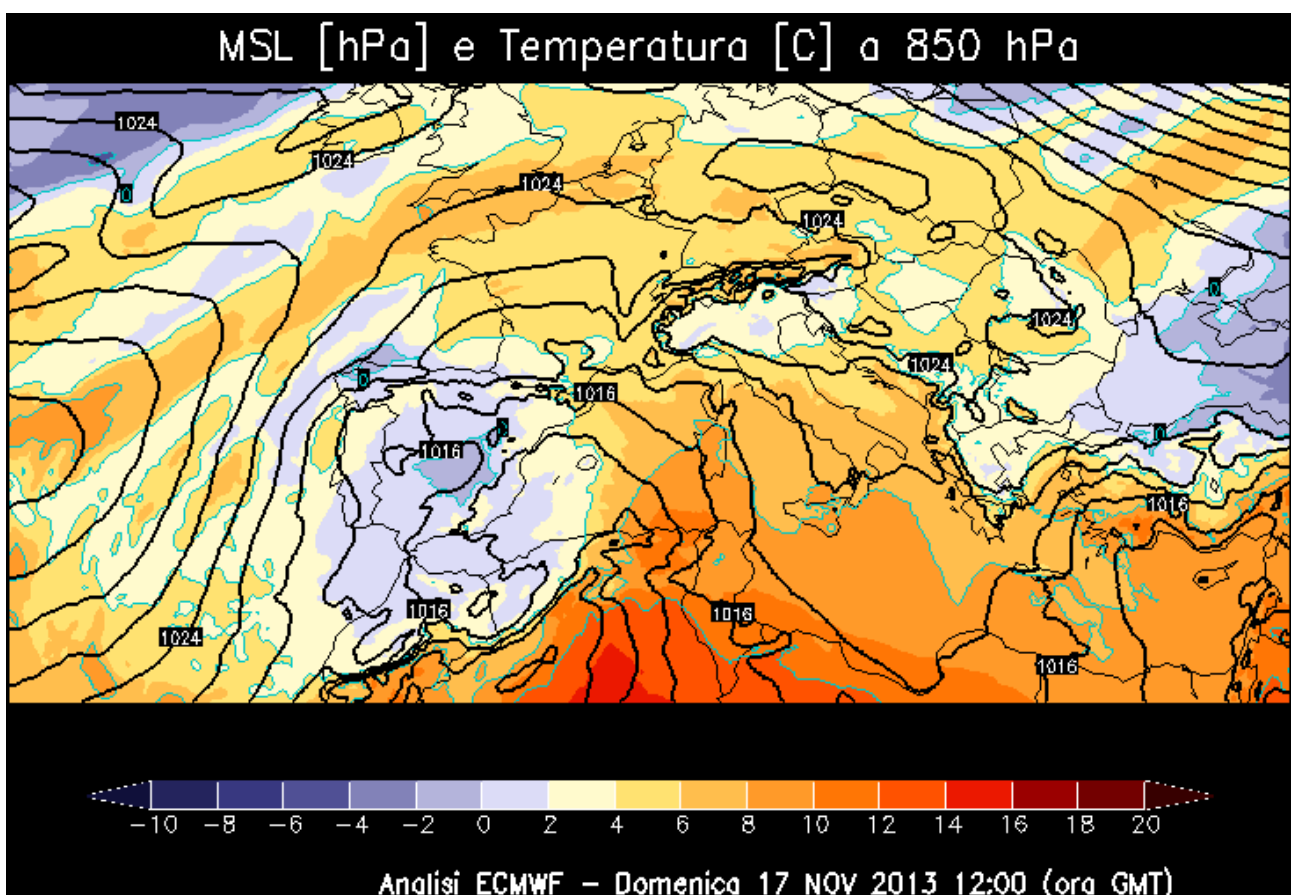
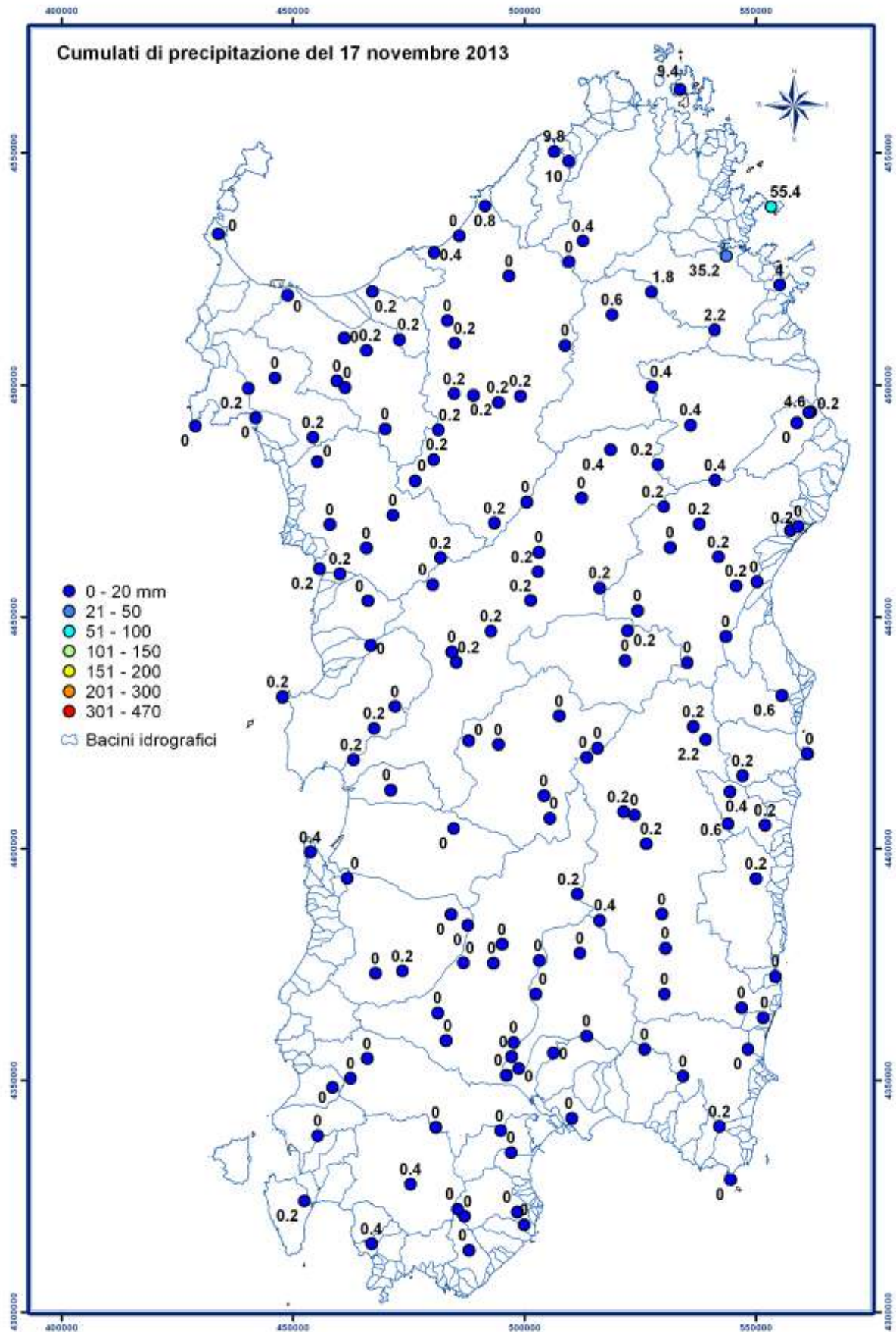


Figura 2.3.4



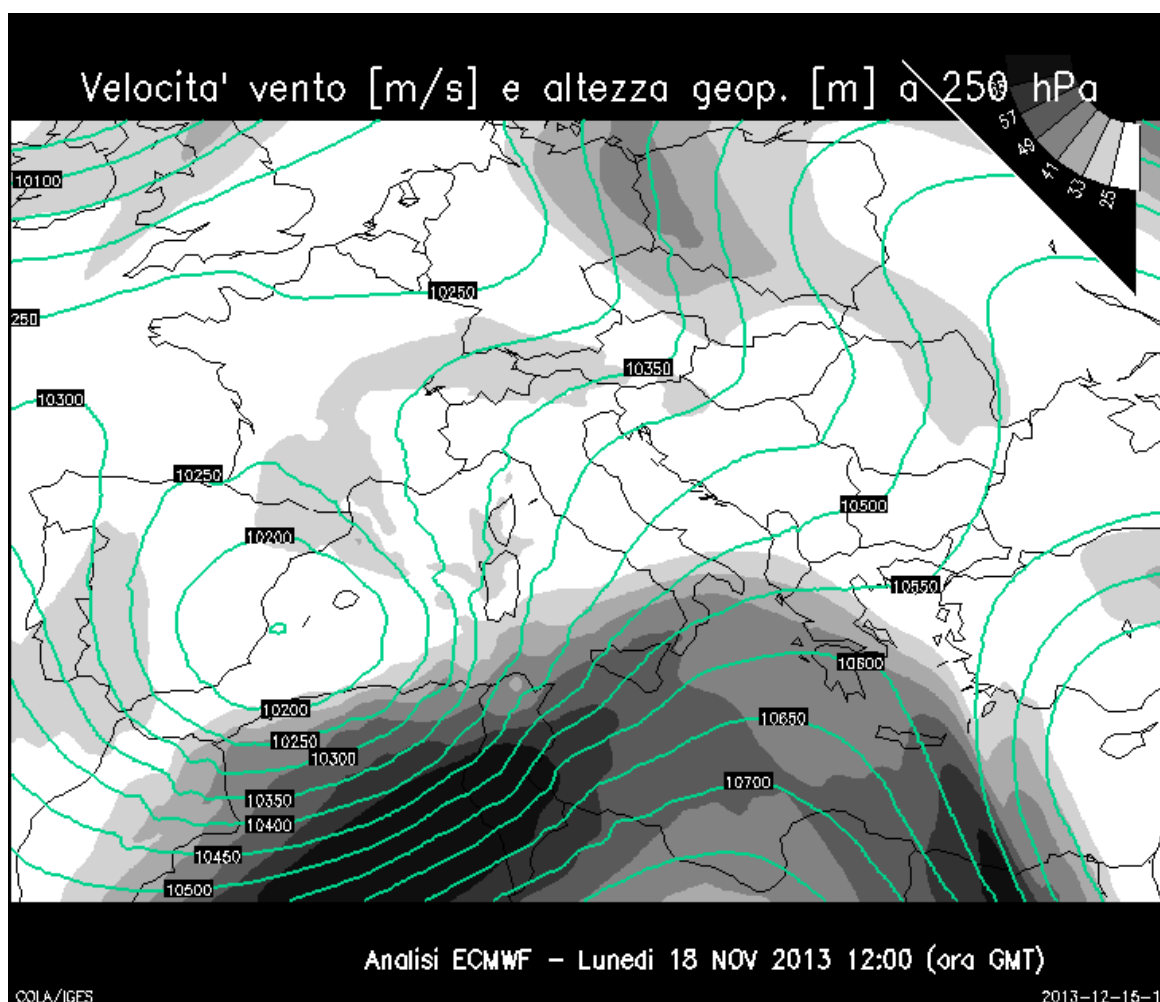
2.4 Lunedì 18 novembre 2013

Mentre i due estesi campi d'alta pressione già menzionati continuano ad interessare l'Atlantico settentrionale e l'Europa Orientale, il Mediterraneo Occidentale è dominato dalla presenza del ciclone extratropicale a cui corrisponde al suolo un minimo barico localizzato fra le Isole Baleari e la Sardegna.

Tale situazione continua a favorire l'afflusso sull'Isola di aria calda di origine africana arricchitasi di umidità nel suo transito sul Mediterraneo. Come descritto nel prossimo capitolo, specificamente dedicato all'analisi alla mesoscala della giornata, la massa d'aria caldo-umida impatta l'orografia della Sardegna e l'accelerazione verticale impressa dai rilievi, la rotazione in senso orario dei venti con la quota ed i gradienti termici, innescano violente e persistenti precipitazioni⁴ temporalesche notevolmente più abbondanti rispetto a quelle dei giorni precedenti.

Alla struttura ciclonica è inoltre associato un sistema frontale il cui ramo freddo attraversa l'Isola a partire dal pomeriggio e dal settore sud-occidentale, apportandovi ulteriori precipitazioni. In quota è presente una moderata forzante dinamica, associata alla già ricordata corrente a getto subtropicale che scorre sull'Africa settentrionale, rappresentata dal *jet streak* il cui ingresso settentrionale si trova in corrispondenza del bacino occidentale del Mediterraneo e scivola in prossimità della Sardegna durante la giornata.

Figura 2.4.1



⁴ La mappa di precipitazione del 18/11, riportata in figura 2.12, comprende anche le misure delle stazioni non automatiche disponibili. Visti i cumulati raggiunti si è adottata una rappresentazione differente rispetto a quelle degli altri giorni per una più immediata consultazione.

Figura 2.4.2

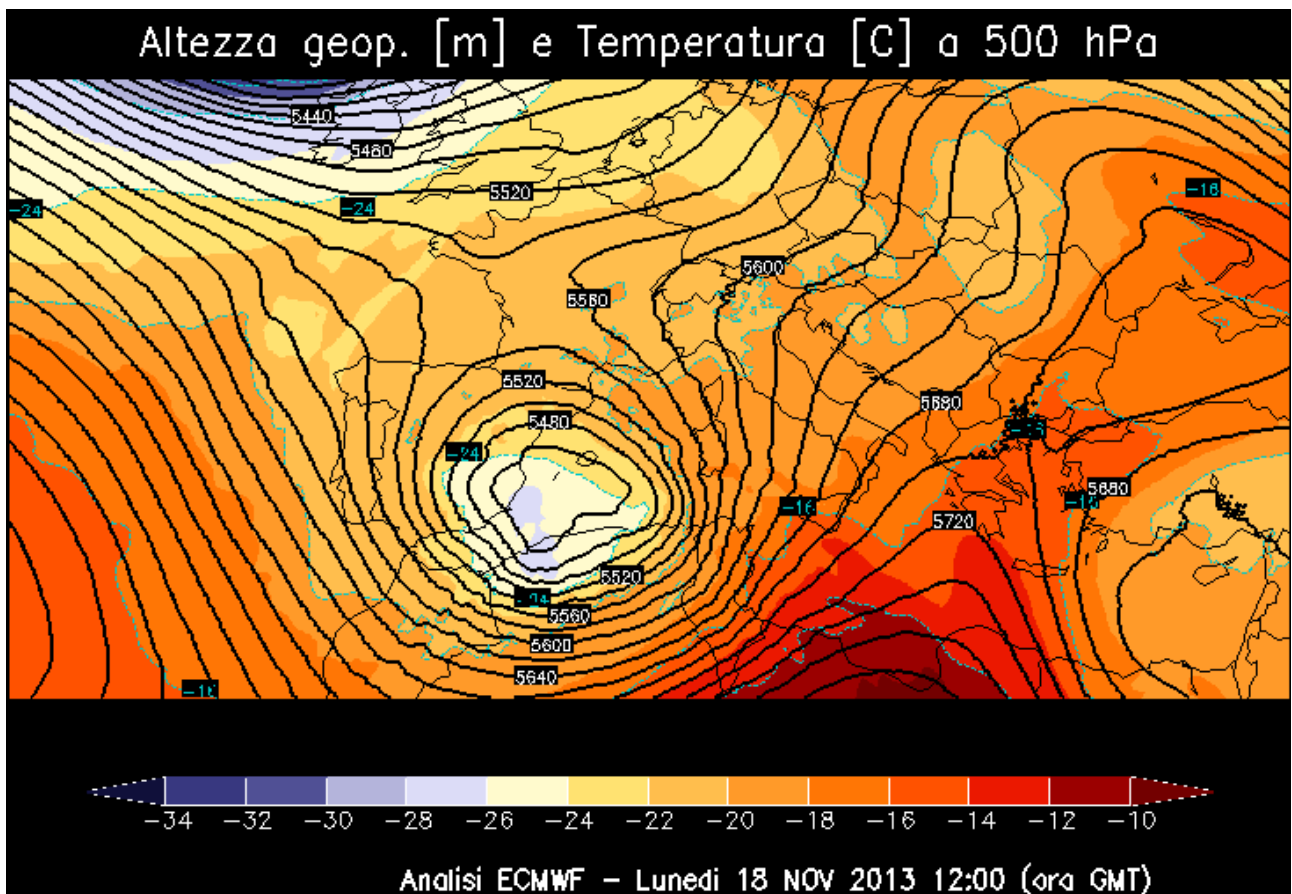


Figura 2.4.3

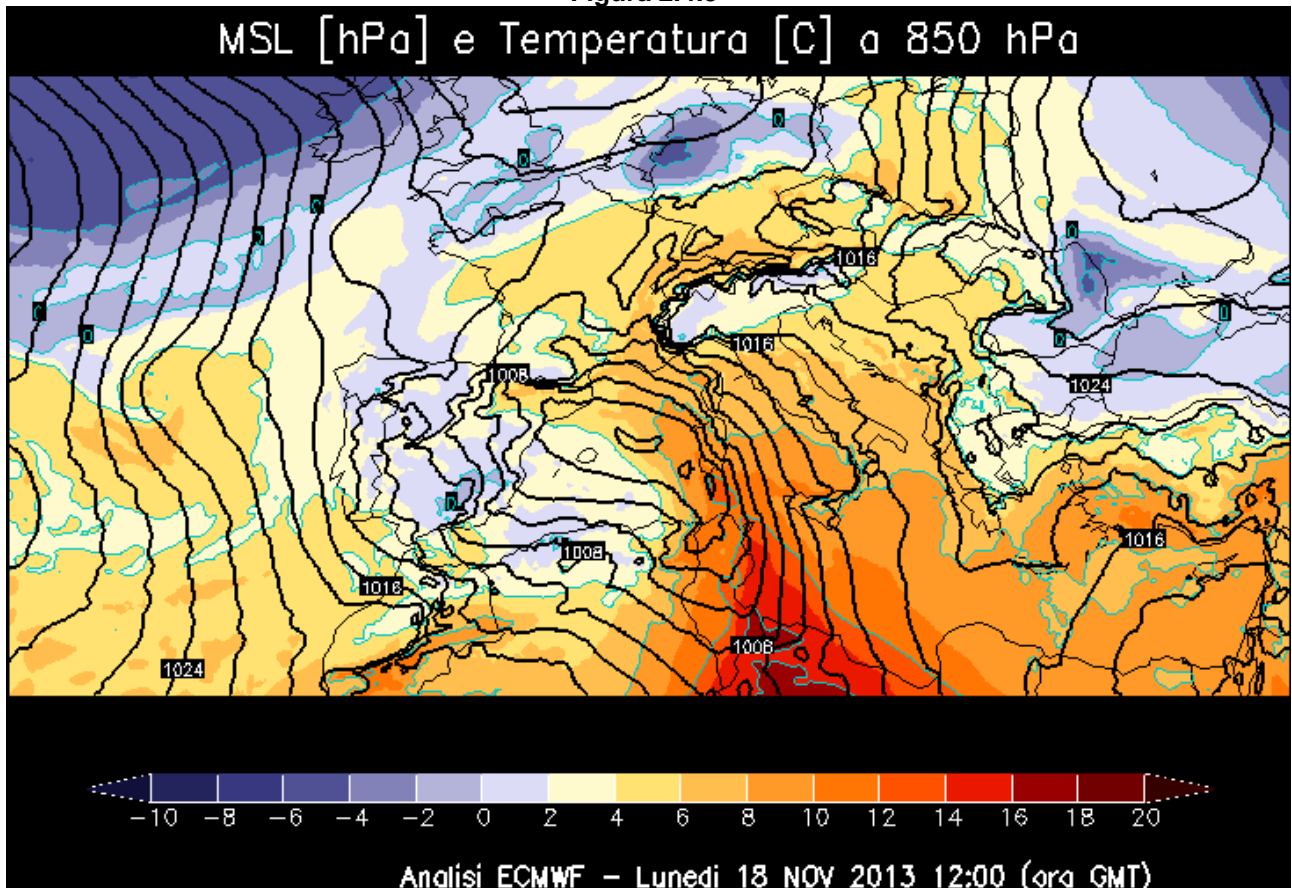
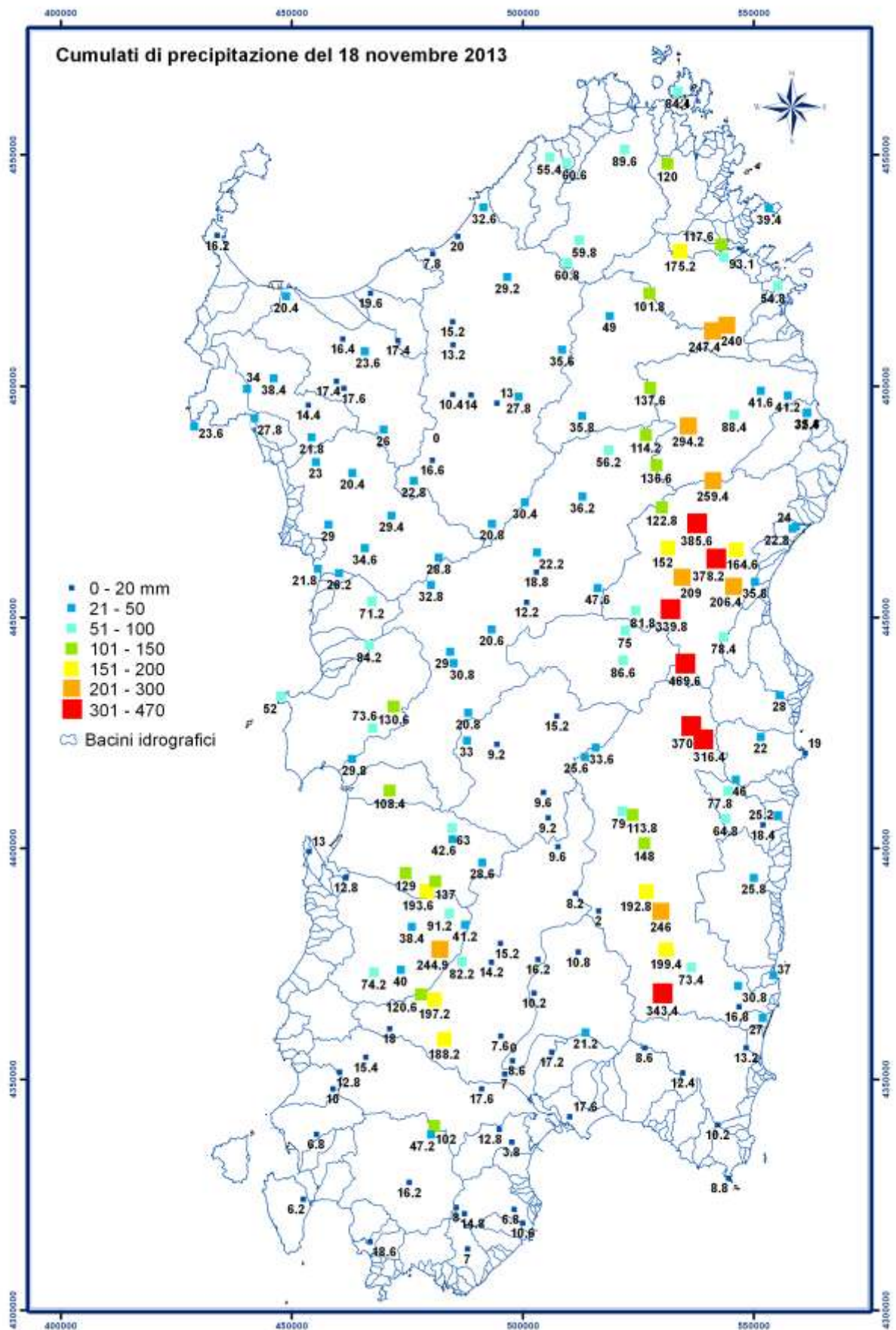


Figura 2.4.4



2.5 Martedì 19 novembre 2013

Nel corso del 19/11 il ciclone extratropicale rimane attivo sul Mediterraneo centro-occidentale pur continuando a migrare lentamente verso Nord-Est, anche per la presenza di un promontorio di blocco sul Mediterraneo centro-orientale. Esso va incontro a un graduale colmamento, più marcato in quota, mentre si porta lentamente a latitudini più elevate. Sull'Europa Occidentale si registrava l'approfondirsi di un'onda depressionaria di origine atlantica che nella serata isolava un nucleo freddo in quota sulla Francia, in rapida migrazione verso Sud.

Nel corso della giornata di martedì si registra il passaggio sull'Isola del minimo al suolo associato al ciclone extratropicale, il quale apporta ulteriori precipitazioni a prevalente carattere convettivo, sebbene meno intense rispetto alla giornata precedente. In particolare, le piogge interessano il settore sud-occidentale durante la mattinata e vanno ad intensificarsi nelle ore centrali. Nel pomeriggio le piogge si estendono a tutta l'Isola seguendo il passaggio del minimo che, infine, nella serata si porta sul Mar Tirreno.

Figura 2.5.1

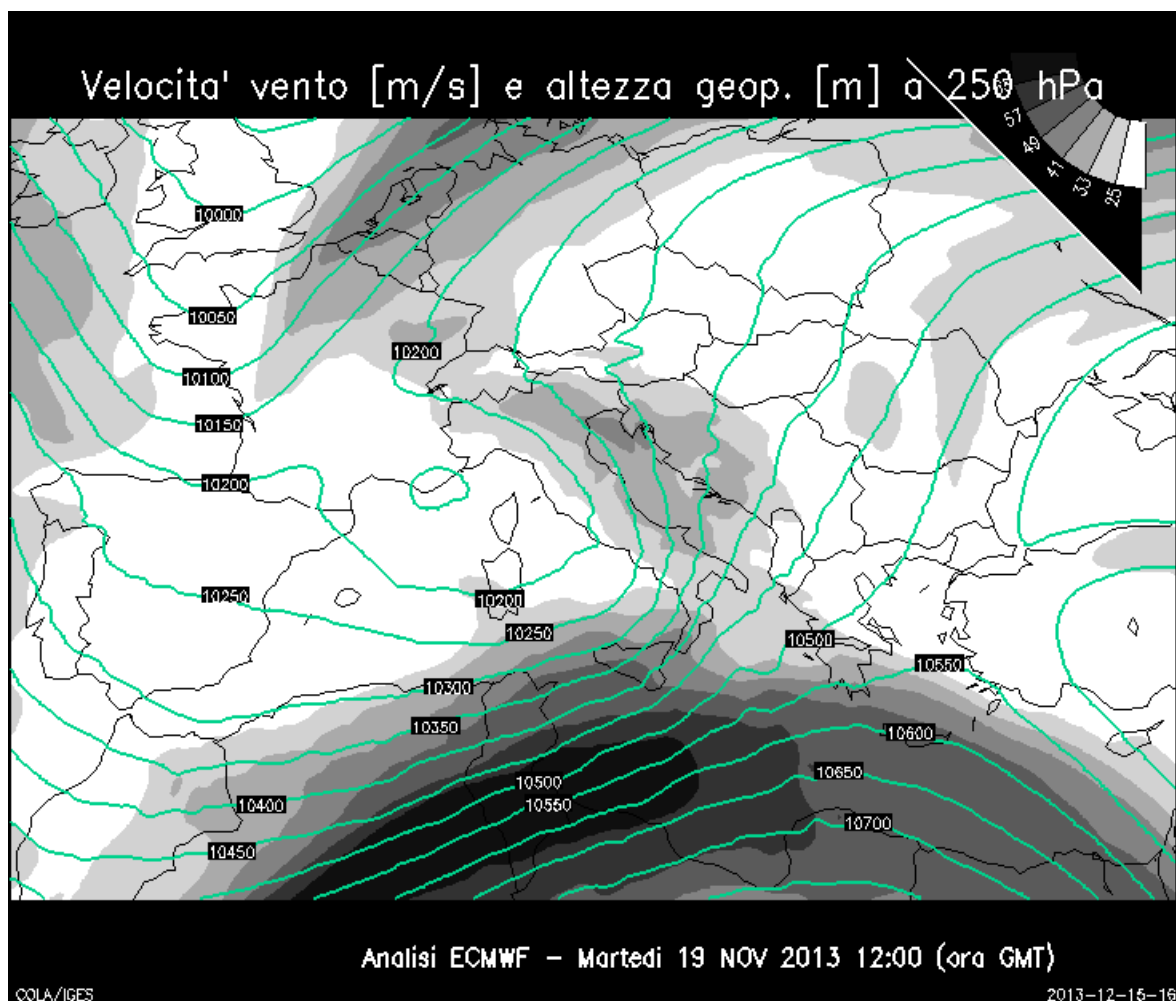


Figura 2.5.2

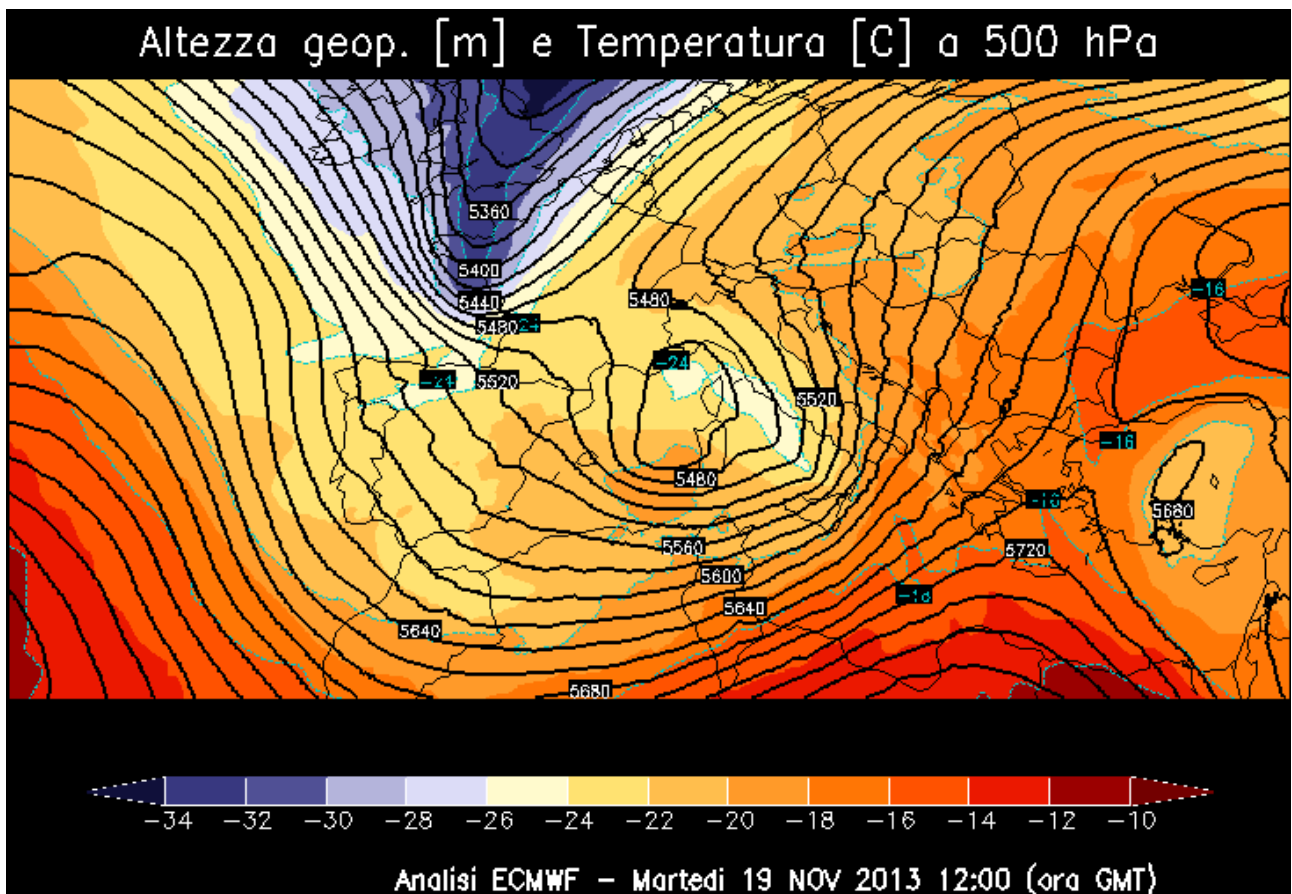


Figura 2.5.3

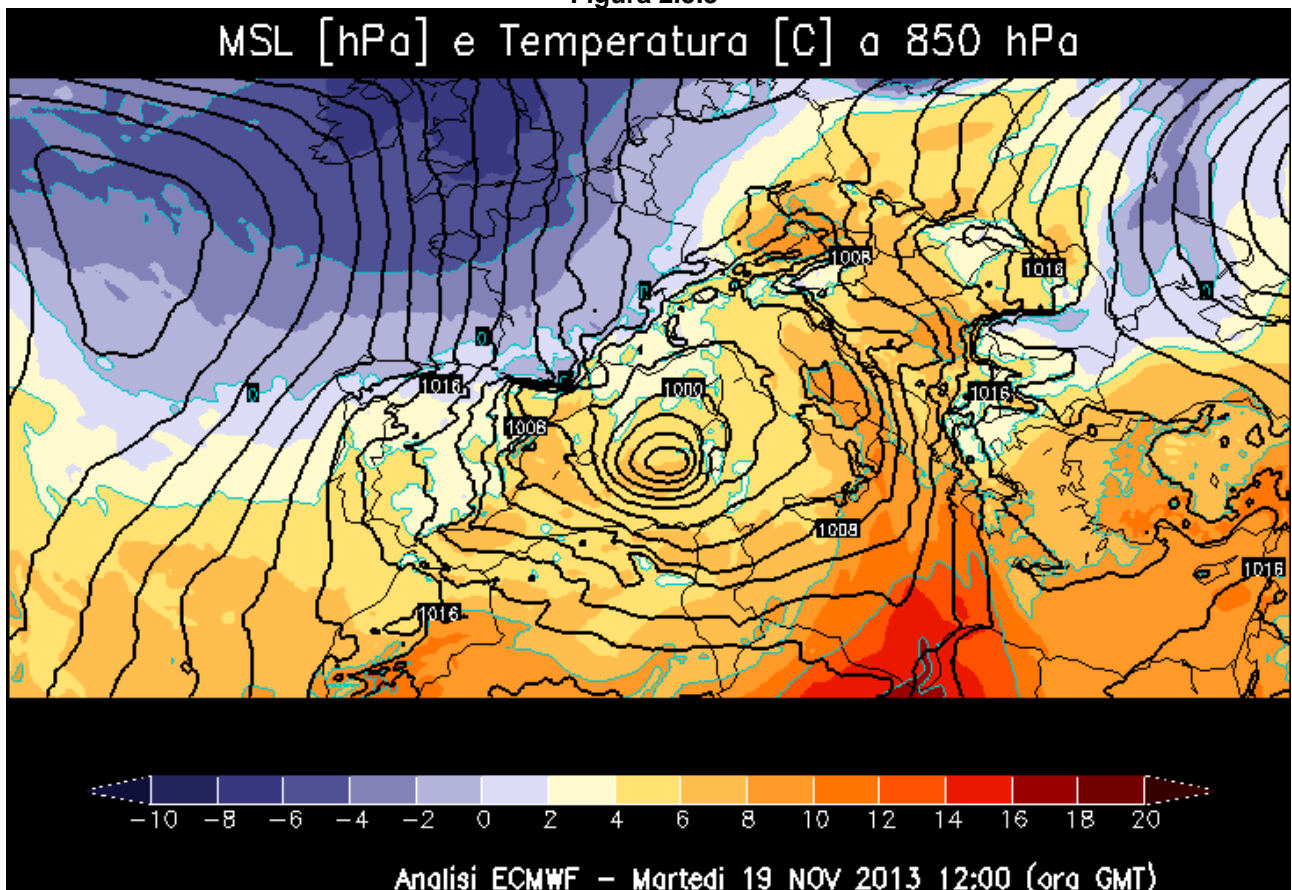
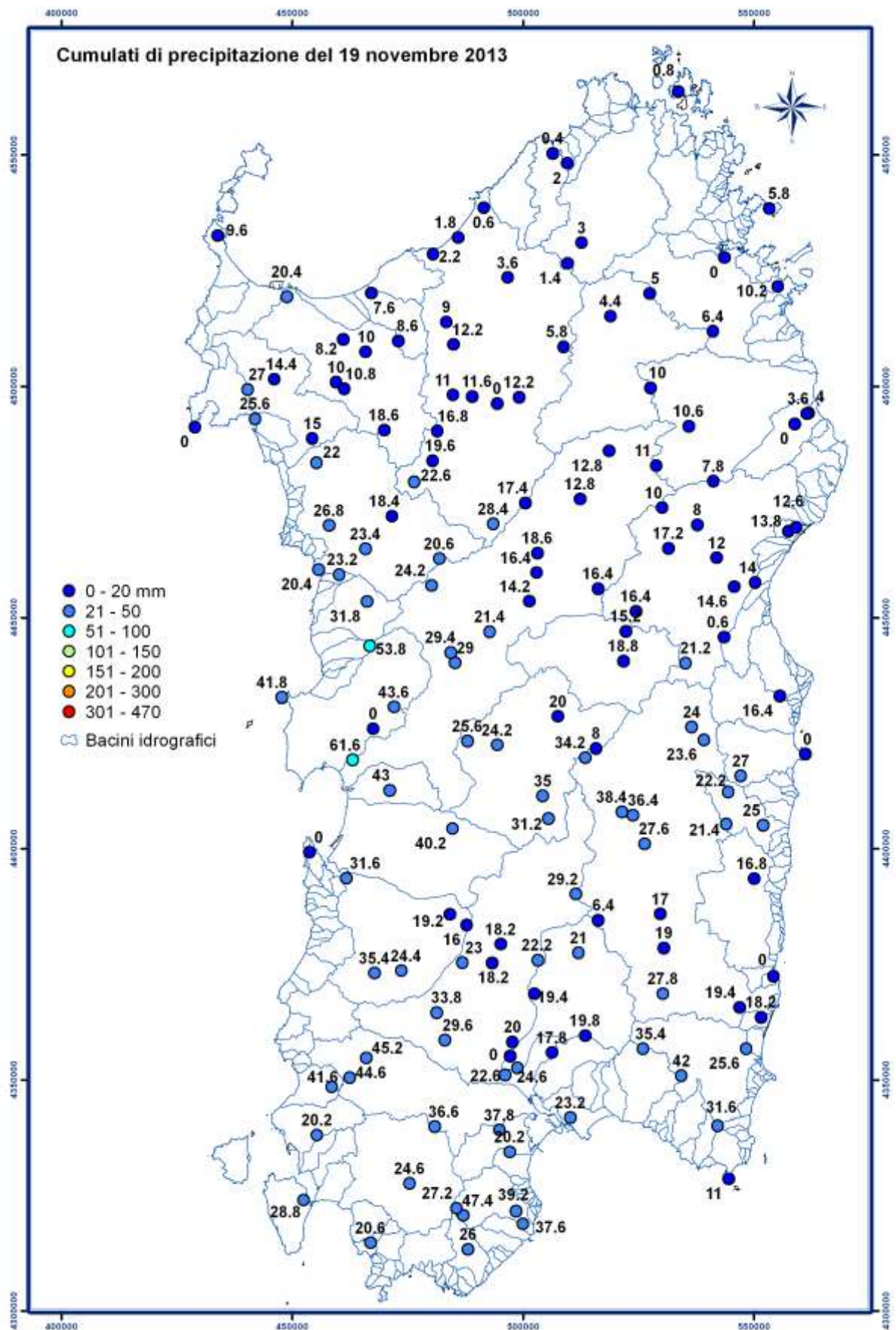


Figura 2.5.4



2.6 Mercoledì 20 novembre 2013

Il nucleo freddo isolatosi sulla Francia, alimentato da un ramo derivato della corrente a getto polare, si muove in senso meridionale raggiungendo il bacino del Mediterraneo nella serata e richiamando aria umida di origine atlantica sul Mediterraneo Occidentale. Un secondo ciclone, più profondo del primo, lo segue a più alte latitudini e le due strutture danno luogo alla formazione di una saccatura che dal Mare Artico si va ad estendere fino al settore più occidentale del Mediterraneo. Il minimo che aveva attraversato la Sardegna nel corso del 19 novembre si muove rapidamente verso levante attraversando la Penisola Italiana e raggiungendo nella serata i Balcani.

Per quanto riguarda la Sardegna, con il progressivo allontanamento del minimo al suolo i fenomeni precipitativi vanno a esaurirsi già a partire dalla prima mattina, facendo registrare solo deboli cumulati sul settore meridionale dell'Isola.

Figura 2.6.1

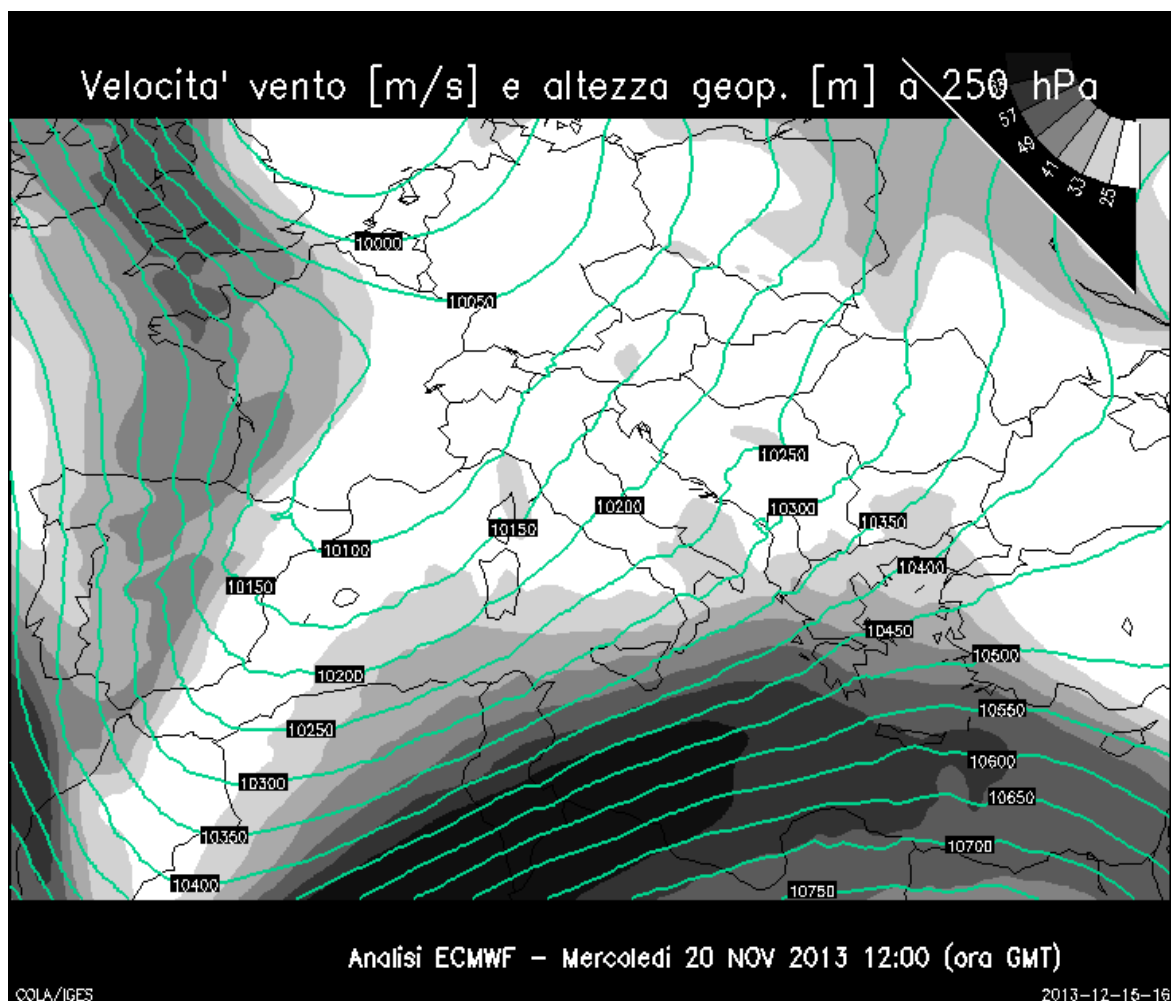


Figura 2.6.2

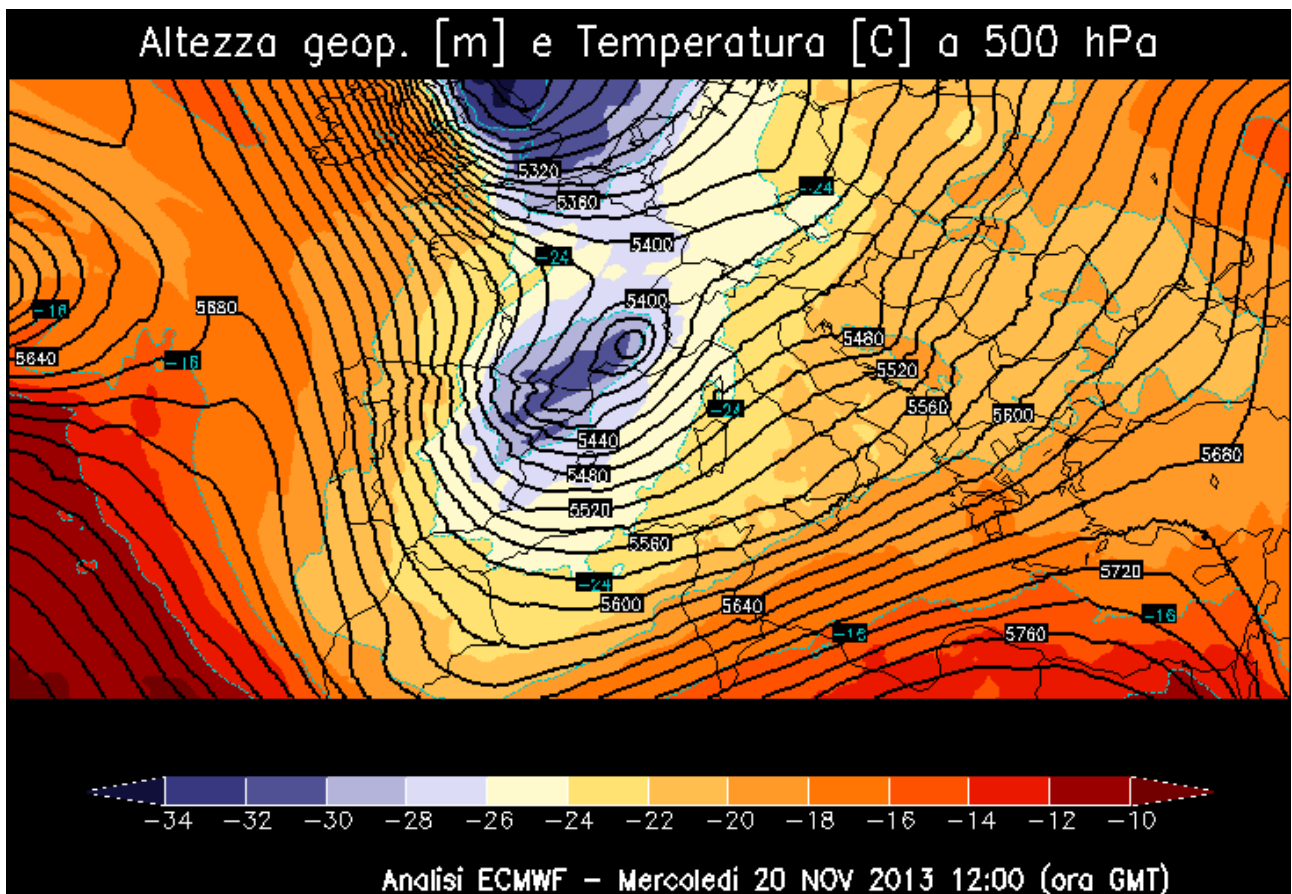


Figura 2.6.3

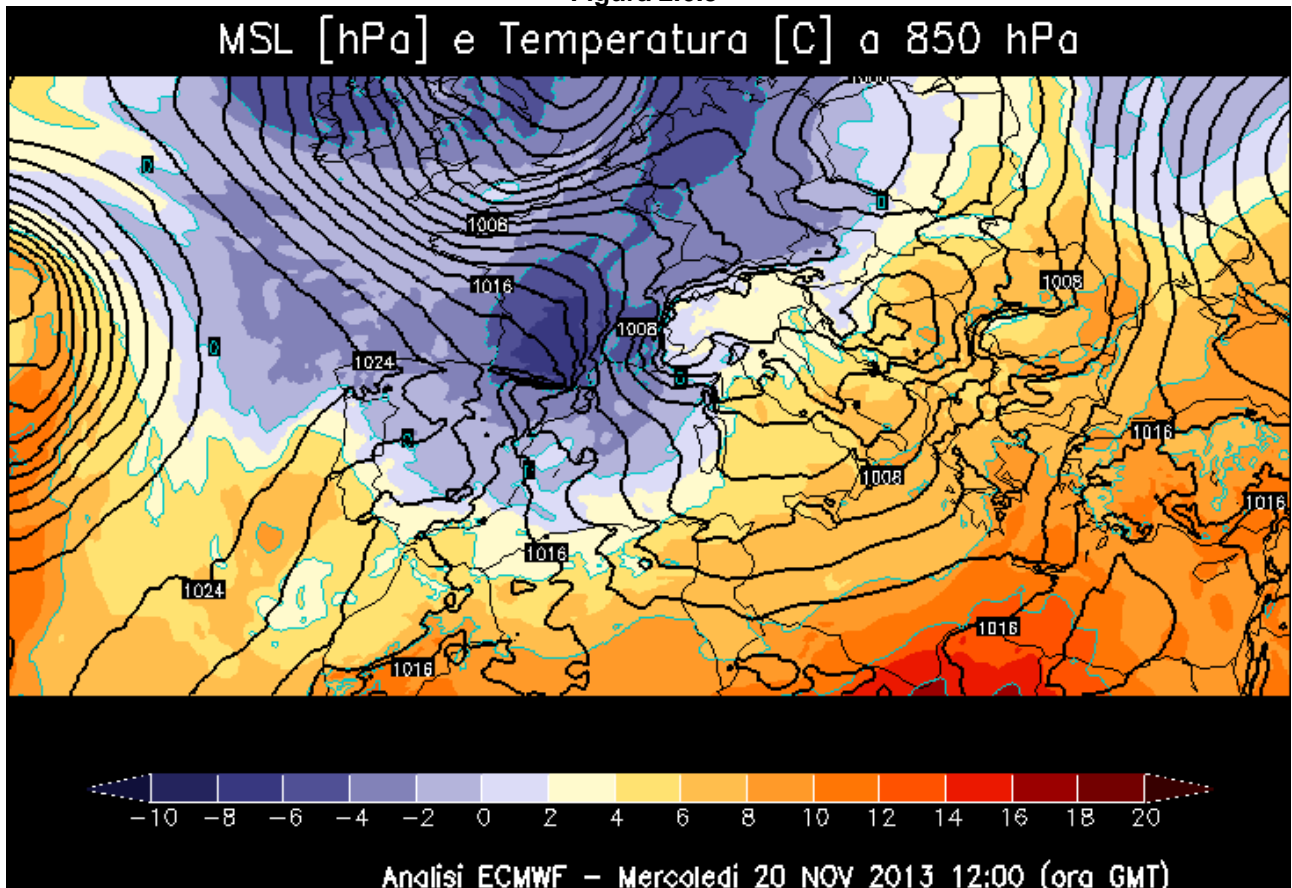
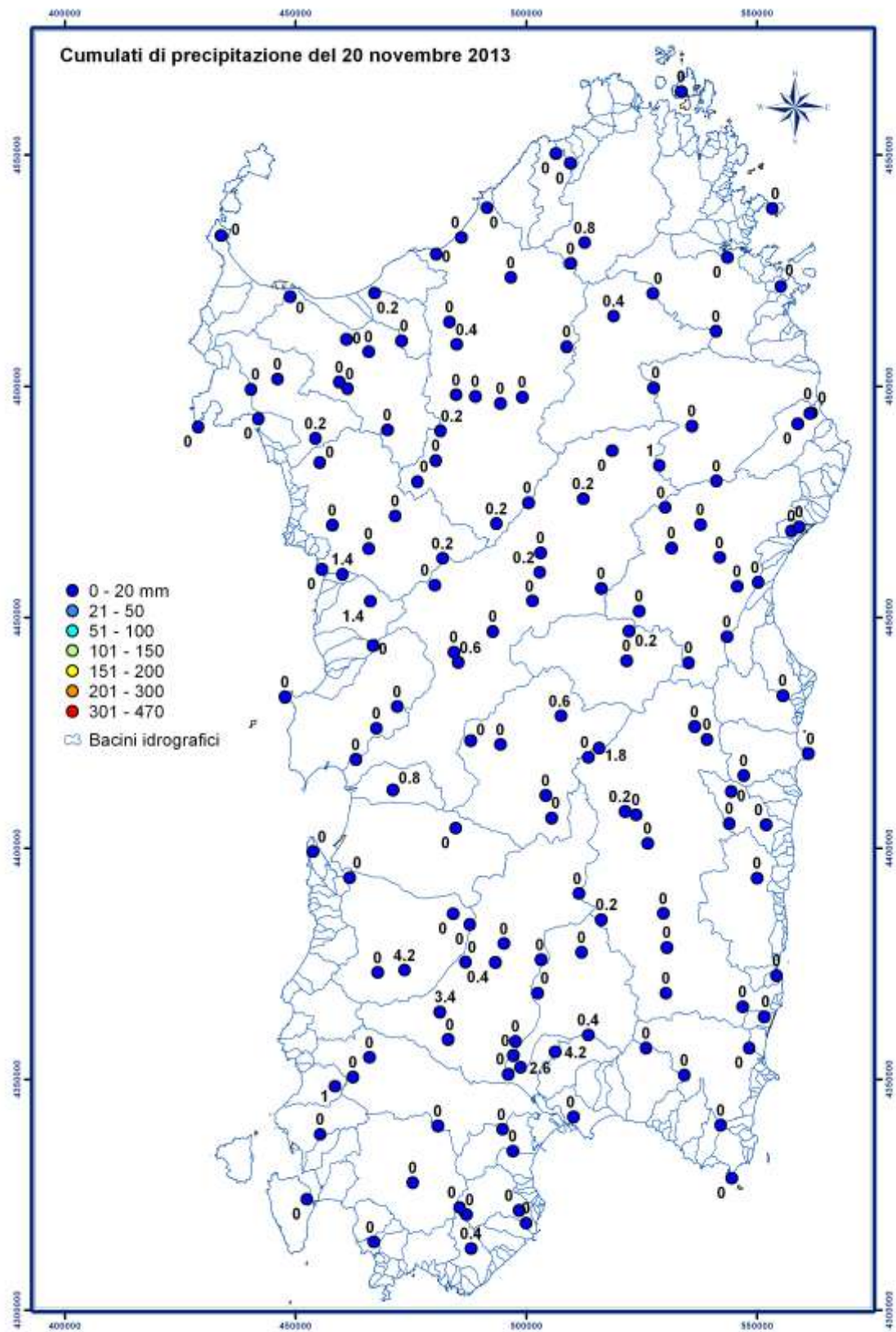


Figura 2.6.4



3 DESCRIZIONE ALLA MESOSCALA DEI FENOMENI DEL 18 NOVEMBRE

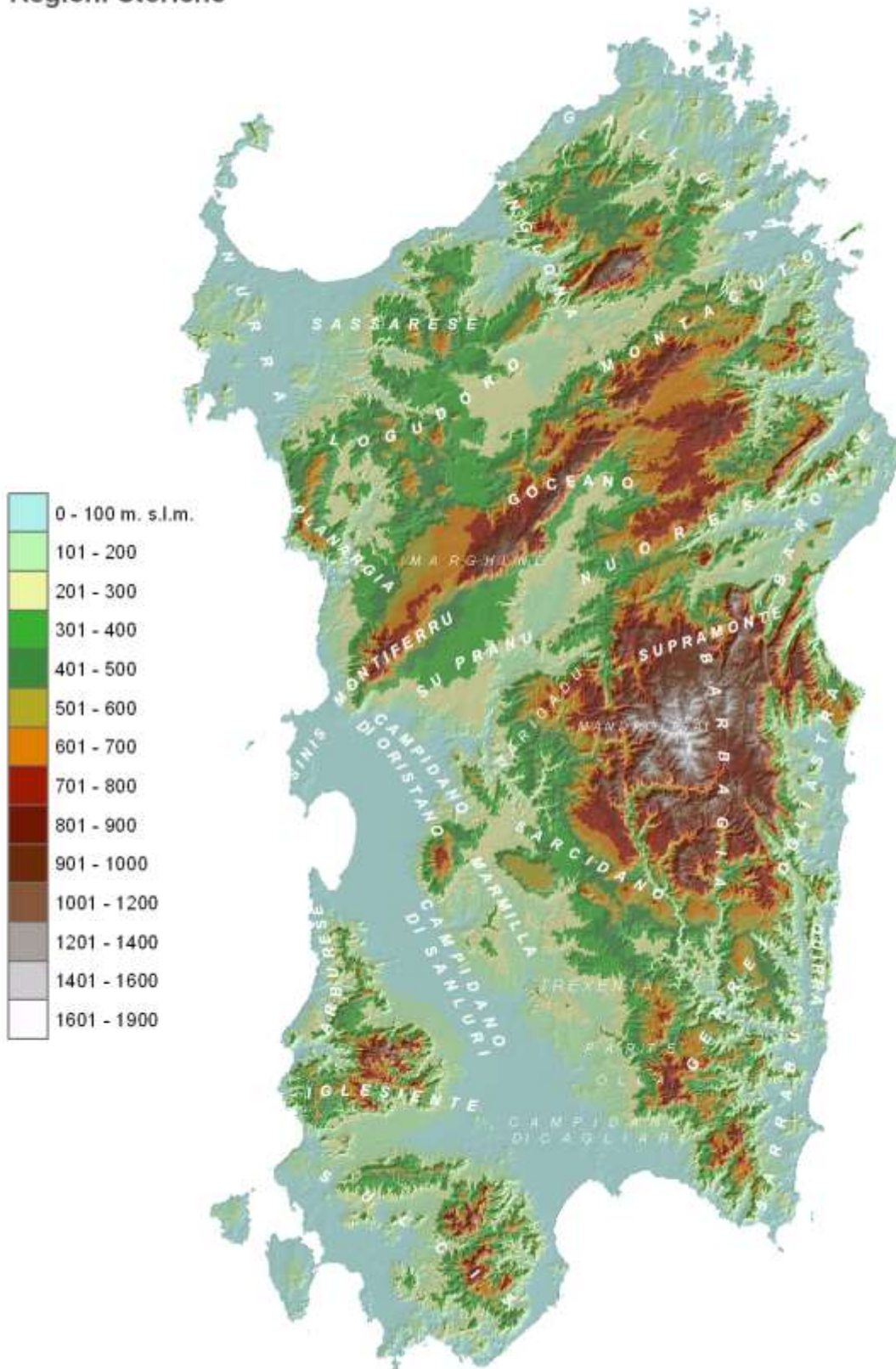
Come si è visto nella descrizione a scala sinottica del capitolo precedente, il 18/11 sul Mediterraneo Occidentale è presente un sistema ciclonico extratropicale mentre due estesi campi di alta pressione sull'Oceano Atlantico e sull'Europa Orientale esercitano un'azione di blocco sul sistema depressionario.

Nei prossimi paragrafi sarà esposta l'evoluzione cronologica delle condizioni atmosferiche sulla Sardegna e, avvalendosi sia delle simulazioni numeriche alle diverse scale (globale e locale) sia di tutte le informazioni strumentali utilizzabili (provenienti da radiosonde, satellite, radar, rete di sensori di fulmini, rete mareografica, rete di stazioni di misura a terra), si descriveranno la dinamica e la termodinamica delle masse d'aria, la loro interazione con l'orografia dell'Isola, e le conseguenti precipitazioni convettive particolarmente intense. Le argomentazioni successive mostreranno come:

- tra la serata del 17/11 e le prime ore del 18/11 l'avvezione caldo-umida comincia ad interessare la Sardegna inducendo un debole innesco di rovesci e temporali, prima sul Campidano e poi sull'Ogliastra (nella figura 3.1 si rappresenta l'orografia dell'Isola con l'indicazione delle zone storiche).
- Successivamente essi vanno pian piano ad estendersi e ad intensificarsi; infatti i flussi sciroccali caldo-umidi che nei bassi strati sono forzati a salire di quota, per l'interazione con i rilievi meridionali e orientali, si vengono a trovare in un ambiente in condizioni termodinamiche favorevoli alla formazione di celle convettive. Queste, che si presentano inizialmente disaggregate, assumono gradualmente carattere rigenerante ed evolvono in un *sistema convettivo alla mesoscala* (MCS) sul Campidano.
- La mattina del 18/11, anche per la moderata forzante dinamica associata alla corrente a getto subtropicale che scorreva sull'Africa settentrionale, sono presenti simultaneamente due MCS, ben definiti su entrambi i versanti dell'Isola e a carattere stazionario, che determinano processi precipitativi molto efficienti sul Campidano e tra il Sarrabus e la Gallura.
- Nel pomeriggio del 18/11 il ramo freddo del fronte associato al ciclone extratropicale è sulla Sardegna e al suolo raggiunge le coste sud-occidentali trasladando progressivamente dall'Iglesiente alla Gallura: al suo passaggio, con l'incremento dei gradienti termici verticali, si assiste ad una rapida risposta dinamica del sistema convettivo che prima esalta ulteriormente i fenomeni temporaleschi e poco dopo porta alla brusca interruzione degli stessi con la rotazione in senso orario dei venti nei bassi strati atmosferici.

Figura 3.1

Regioni Storiche



3.1 Ricostruzione numerica a scala locale

Attraverso l'analisi dei campi meteorologici risolti dal modello⁵ meteorologico ad area limitata Bolam, con la previsione a breve termine del 18 novembre a 5 km di risoluzione spaziale su un'area geografica comunque abbastanza estesa, è possibile investigare quei fenomeni meteorologici che vanno dalla scala sinottica a quella di mesoscala.

Come rappresentativo dei fenomeni mattutini si è scelto l'istante temporale delle ore 0900UTC.

Una massa d'aria di origine africana è presente sin dai livelli atmosferici più bassi, ovverossia già da quelli superficiali, come si può osservare dalla figura 3.1.1 in cui sono rappresentate la temperatura a 2 metri, il vento a 10 metri e la pressione al livello medio del mare per quell'istante; i forti gradienti barici innescano inoltre venti forti da Sud-Est. L'aria calda si estende anche alla medio-bassa troposfera (850 hPa, circa 1400 metri, figura 3.1.2) impattando sulla Sardegna con flussi da Sud-Est a velocità abbastanza elevate.

Si può notare invece sul Mediterraneo Occidentale la presenza d'aria più fredda con una marcata linea frontale. Nella medio-alta troposfera (500 hPa, circa 5600 metri, figura 3.1.3) i flussi sono da Sud, mentre più in quota una seconda massa d'aria molto più fredda sta raggiungendo la Sardegna con flussi da Sud-Ovest (250 hPa, circa 10400 metri, figura 3.1.4).

⁵ La catena di modellistica meteorologica di ARPA Sardegna, operativa presso il Dipartimento Meteorologico, è formata da cinque modelli meteorologici ad area limitata innestati in successione. Ogni modello meteorologico è legato al precedente sulla base di opportuni *pre* e *post processing* che prendono in considerazione i passaggi di scala spazio-temporali e i diversi *grid* orizzontali e verticali utilizzati dai modelli. Tale catena parte dal modello meteorologico a circolazione generale dell'*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), per poi aumentare gradualmente la risoluzione spaziale e temporale con i modelli ad area limitata, passando così da un'area sinottica a un'area mediterranea centrata sulla Sardegna.

Il modello utilizzato in quest'analisi per descrivere i fenomeni a mesoscala del 18 novembre è il Bolam, sviluppato dall'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC) del C.N.R. di Bologna, opportunamente adattato alla catena di modellistica ARPAS con una risoluzione spaziale orizzontale di circa 5 km e 42 livelli verticali sigma. La corsa inizia alle ore 0600UTC con previsione fino a +42 ore.

Figura 3.1.1

MSLP – Temperatura 2m – Vento 10m

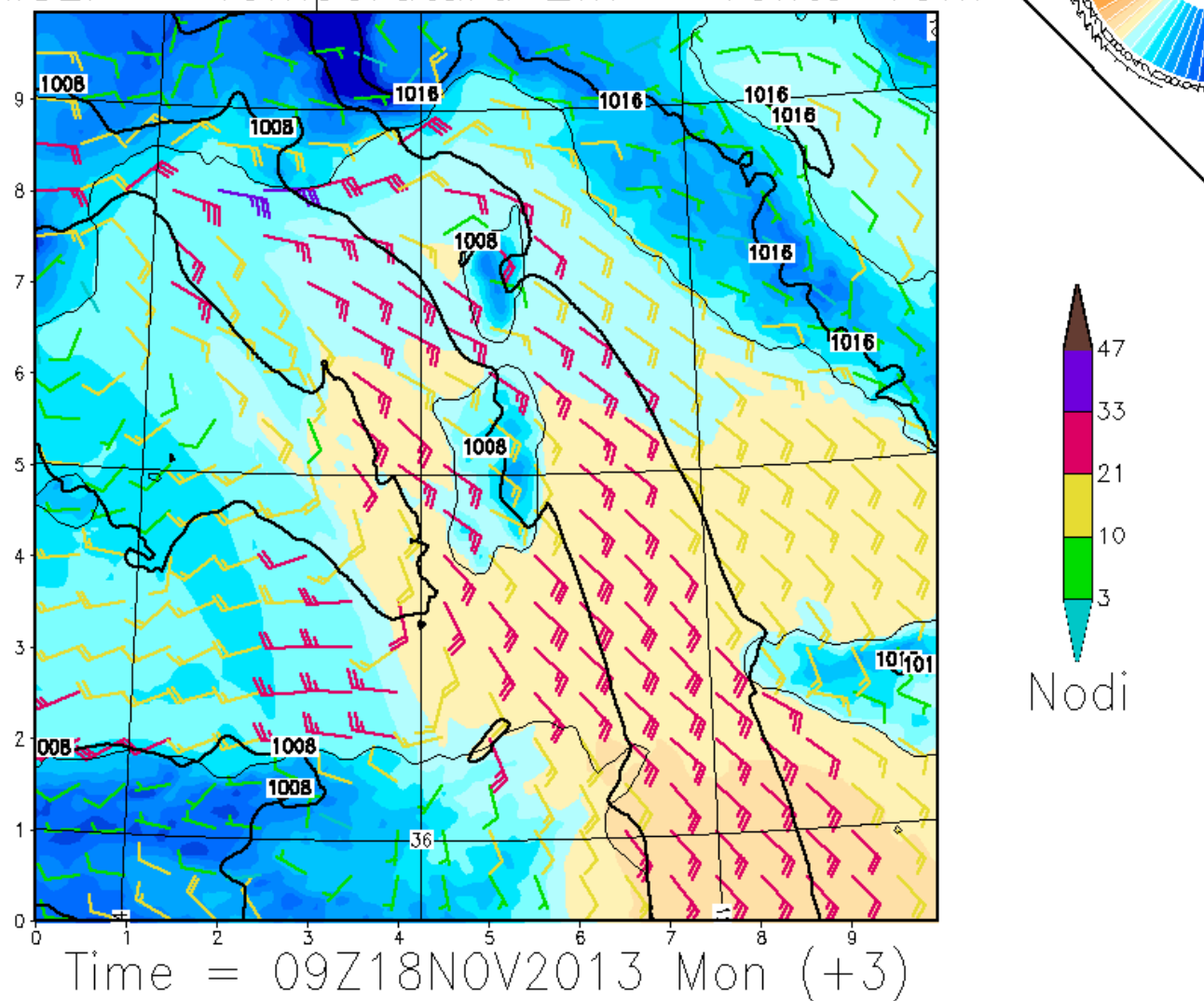


Figura 3.1.2

Geopotenziale h.-Temperatura a 850 hPa

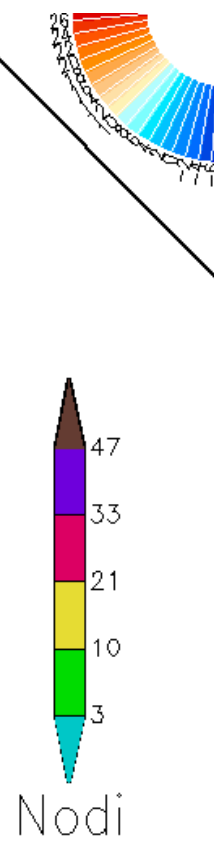
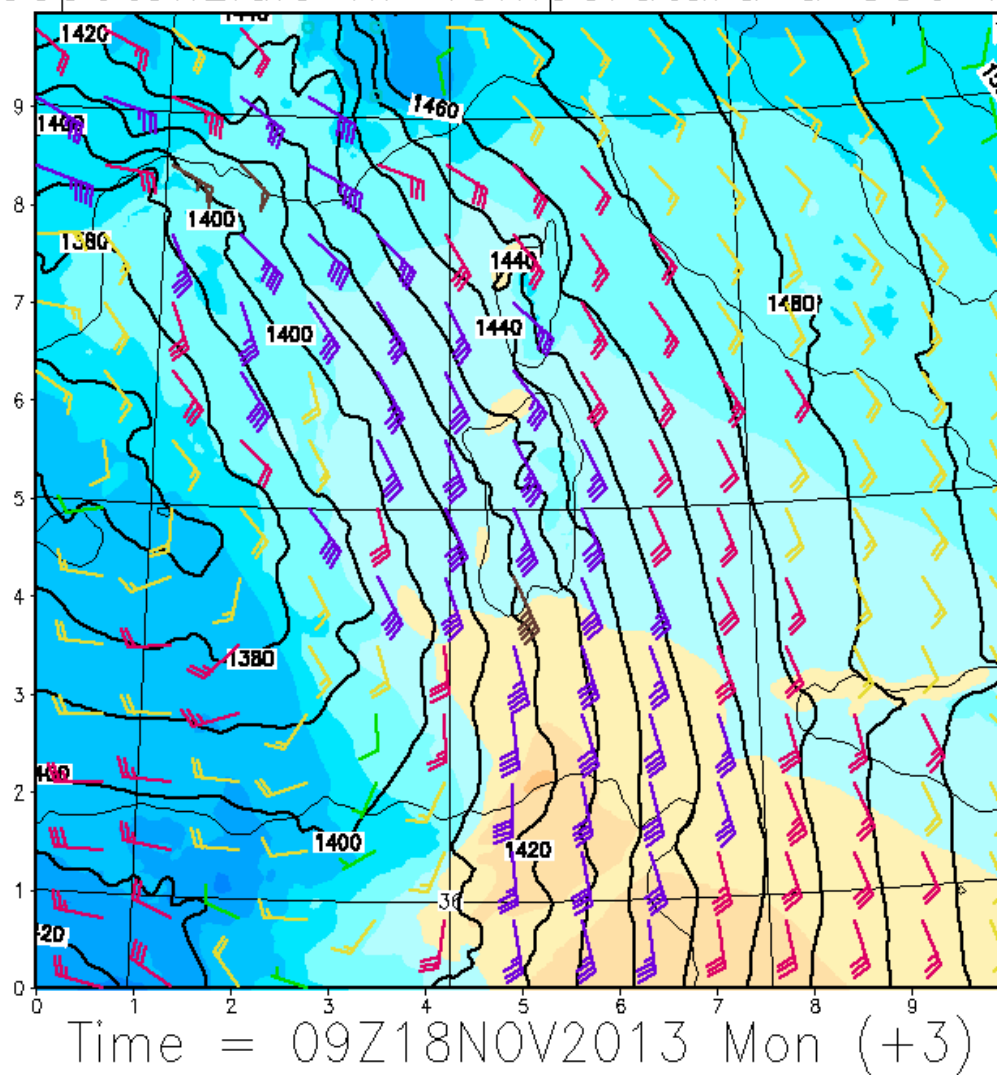
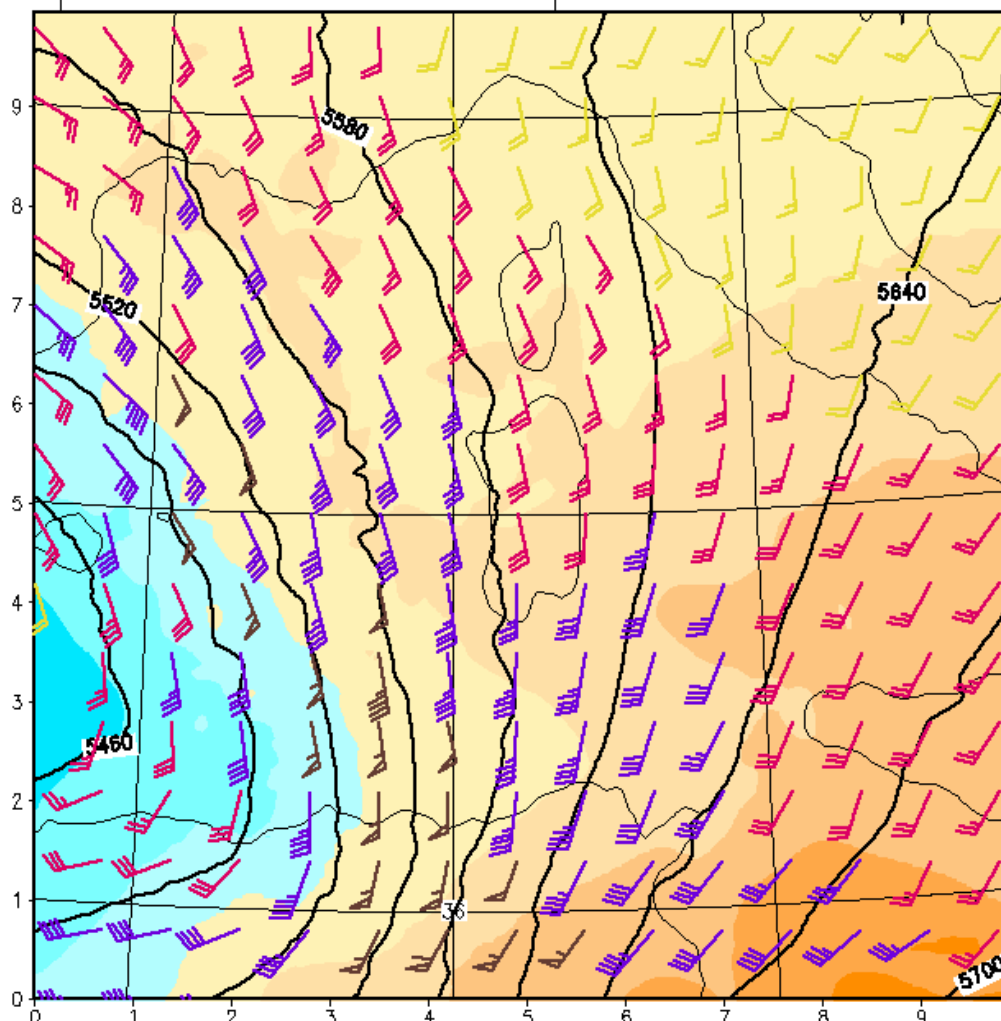


Figura 3.1.3

Geopotenziale h.-Temperatura a 500 hPa

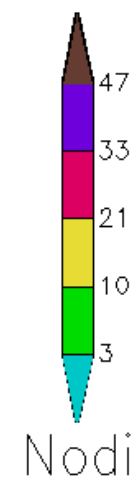
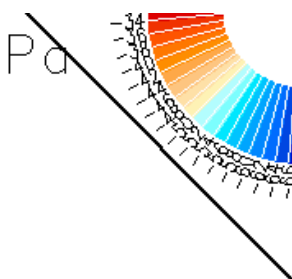
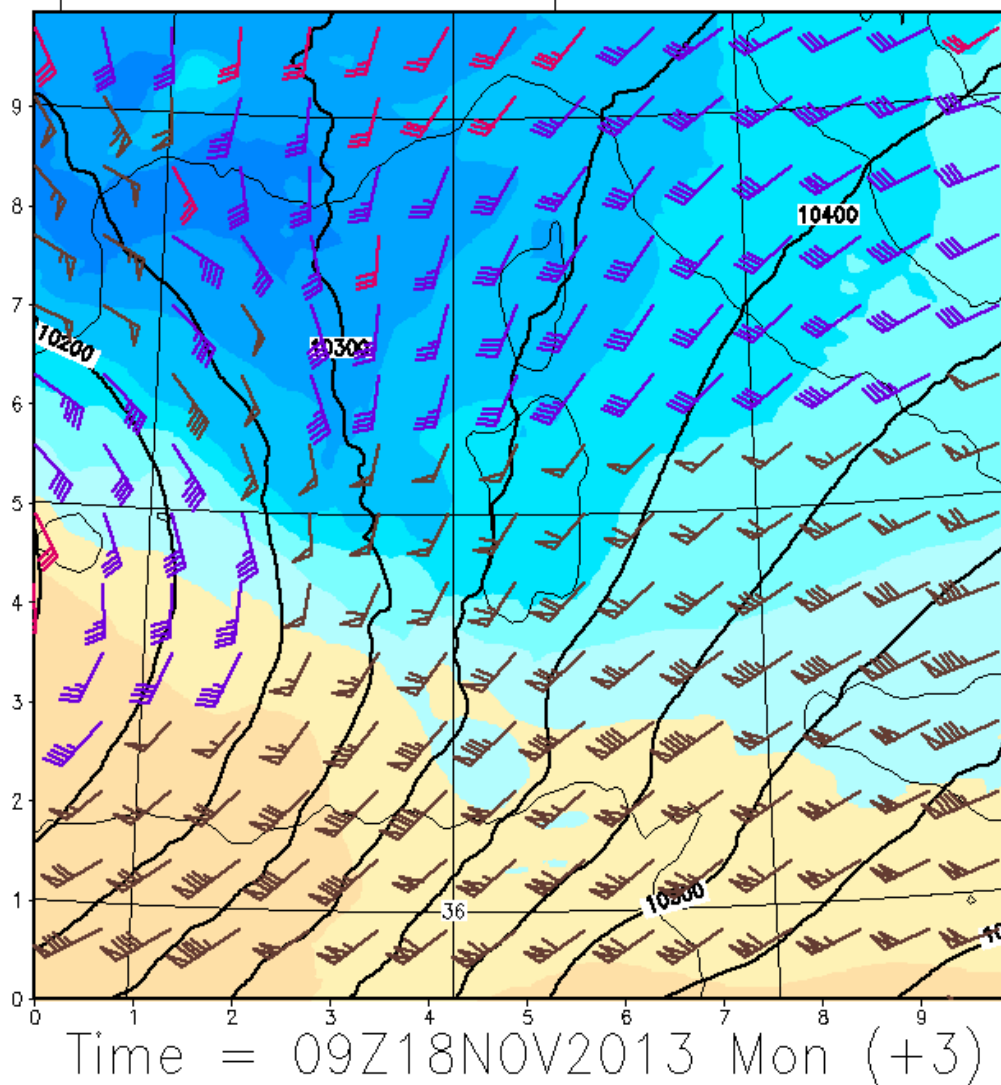


Time = 09Z18NOV2013 Mon (+3)



Figura 3.1.4

Geopotenziale h.-Temperatura a 250 hPa



Le due masse d'aria, calda di origine africana e fredda dalle alte latitudini, che nella stagione autunnale presentano i massimi gradienti termici, confluiscono quindi proprio sulla Sardegna. La rotazione oraria dei venti con la quota e l'impatto con i rilievi favoriscono lo sviluppo di forti velocità verticali, sia ascendenti sia discendenti: ciò si può osservare, considerati i transetti a, b e c evidenziati nella figura 3.1.5, dalle sezioni verticali del campo di velocità orizzontale e verticale lungo i transetti a e b (Ovest verso Est, figure 3.1.6 e 3.1.7) e lungo il transetto c (Sud verso Nord, figura 3.1.8).

Nella stessa figura 3.1.5 si nota anche l'influenza del *jet stream* che viaggiava più a Sud come descritto nel capitolo precedente. Le stesse sezioni verticali (figure 3.1.9-11) fatte con l'umidità relativa e la velocità verticale omega mostrano che entrambe le masse d'aria (calda negli strati medio-bassi e fredda nell'alta troposfera) erano ricche di umidità.

In particolare nella sezione Ovest-Est, che taglia l'Isola nella parte centrale (figura 3.1.9), si osservano le accelerazioni verticali verso l'alto sia sul settore orientale sia su quello occidentale della Sardegna e l'aria umida degli strati medio-bassi spinta a una quota più elevata, mentre nella parte centrale dell'Isola sono presenti forti correnti discendenti di aria sempre umida ma proveniente dalla medio-alta troposfera e molto più fredda come visto nelle sezioni orizzontali mostrate in precedenza.

Tale situazione è presente anche nella sezione Ovest-Est che taglia la Gallura (figura 3.1.10) ove è ben evidente lo sprofondamento dell'aria freddo-umida.

Nella sezione Sud-Nord, che taglia tutti i rilievi orientali (figura 3.1.11) ove si sono registrati i maggiori cumulati di precipitazione, si nota come tutto ciò porti allo sviluppo di fenomeni convettivi alla mesoscala del tipo a multicella.

Le figure dalla 3.1.12 alla 3.1.17 rappresentano lo stesso tipo di sezioni orizzontali mostrate in precedenza ma relative alle ore 1500UTC, che si è scelto come istante temporale rappresentativo dei fenomeni pomeridiani. Come si può rilevare, si ha ancora la persistenza dei flussi d'aria calda di origine africana sui livelli barici medio-bassi, solo che in questo caso investono maggiormente il versante orientale fino a fare il loro ingresso anche sulla Gallura. L'aria più fredda in quota è ormai sulla Sardegna, mentre al suolo raggiunge le coste sud-occidentali dove si osserva anche un cambio della direzione dei venti.

Anche le sezioni verticali lungo il transetto c (Sud-Nord) del campo di velocità orizzontale e verticale (figura 3.1.16) e dell'umidità relativa con la velocità verticale omega (figura 3.1.17) mostrano ancora la presenza di fenomeni convettivi alla mesoscala. In particolare la rotazione dei venti da Sud-Ovest negli strati medio-bassi sul Mediterraneo Occidentale, in estensione alla Sardegna sud-occidentale, favorisce un'intrusione di aria fredda anche al suolo e una convergenza sui rilievi orientali con il conseguente nuovo innesco di fenomeni precipitativi. Aria ricca di umidità è presente a tutti i livelli verticali.

Figura 3.1.5

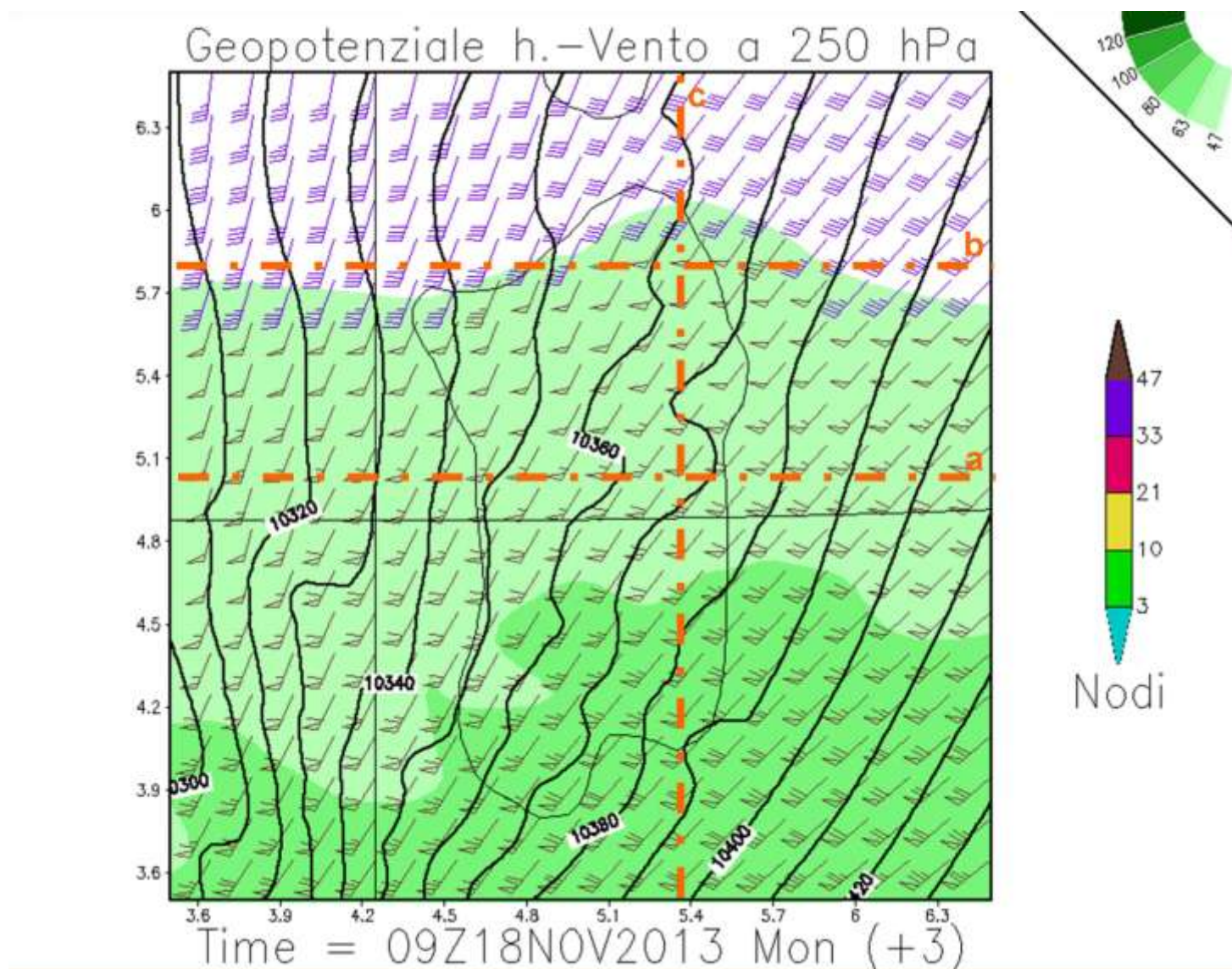


Figura 3.1.6

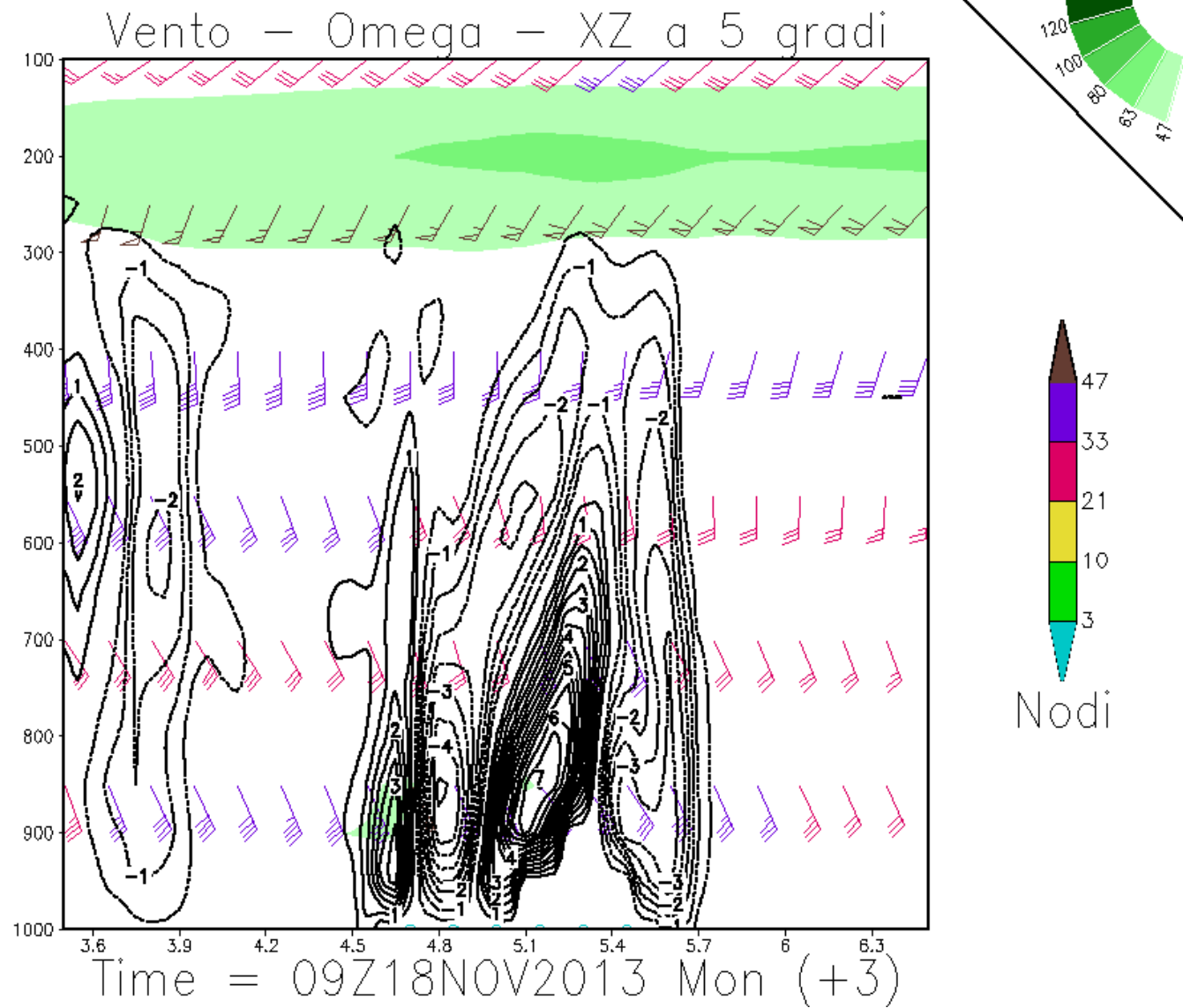


Figura 3.1.7

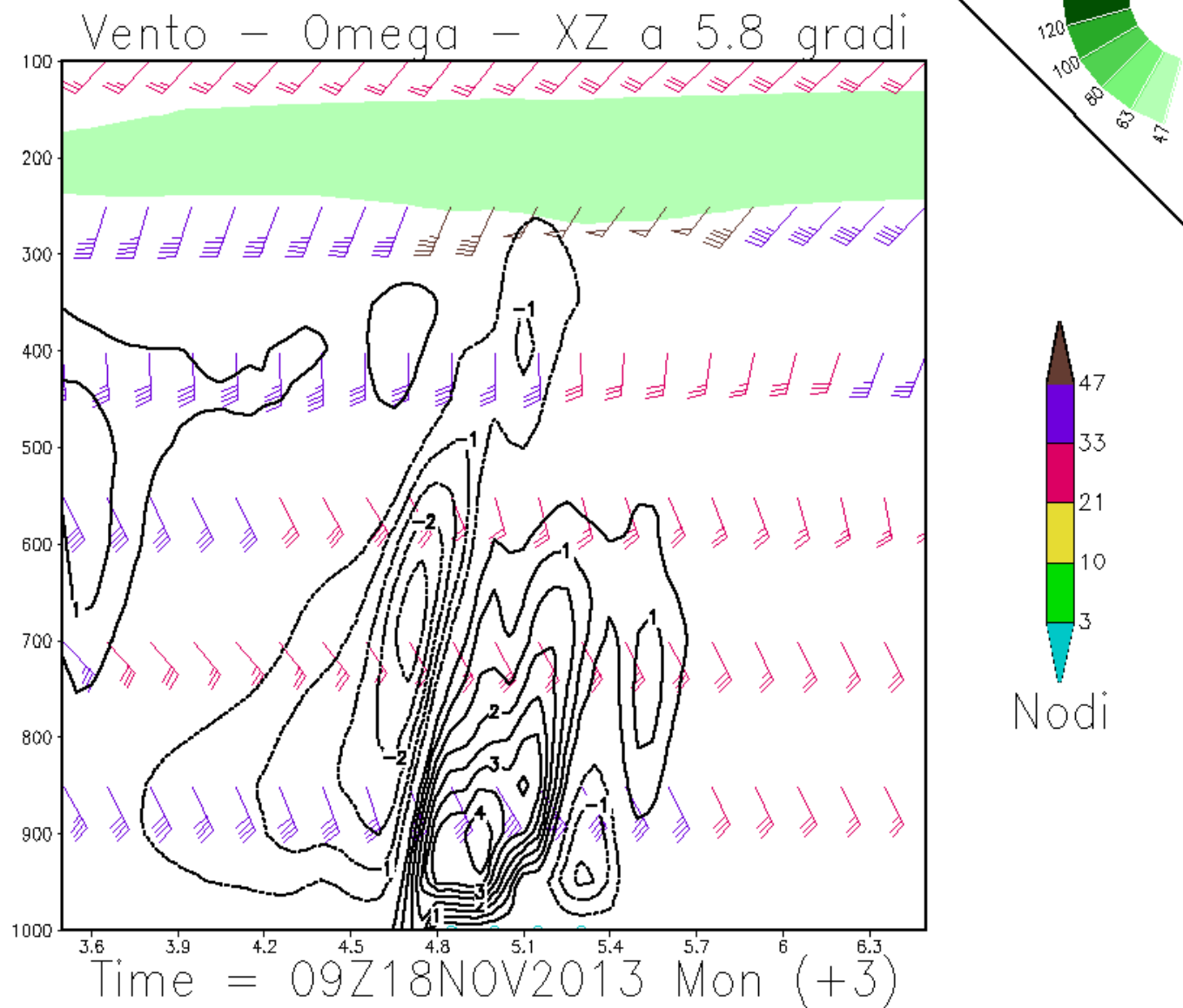


Figura 3.1.8

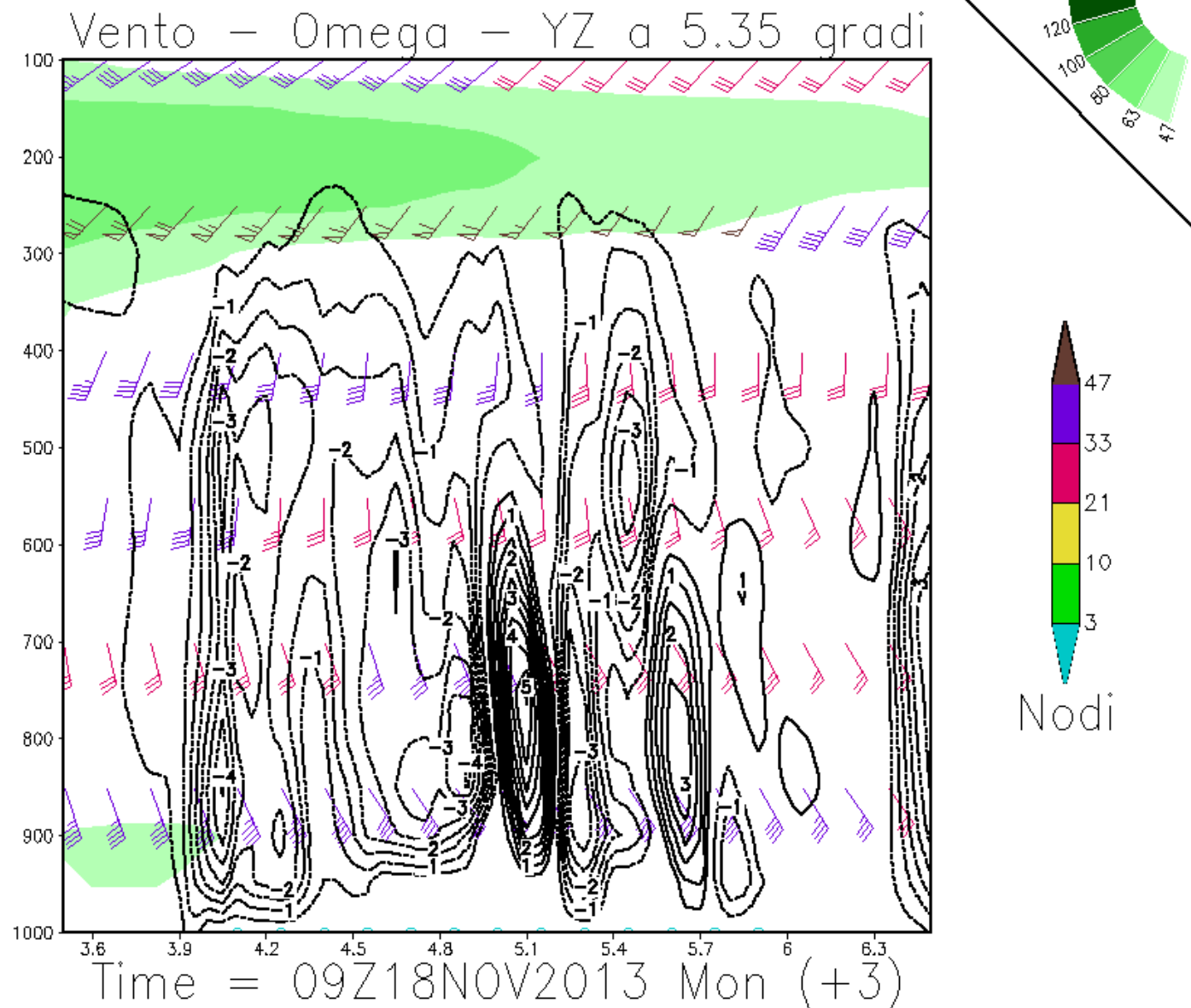


Figura 3.1.9

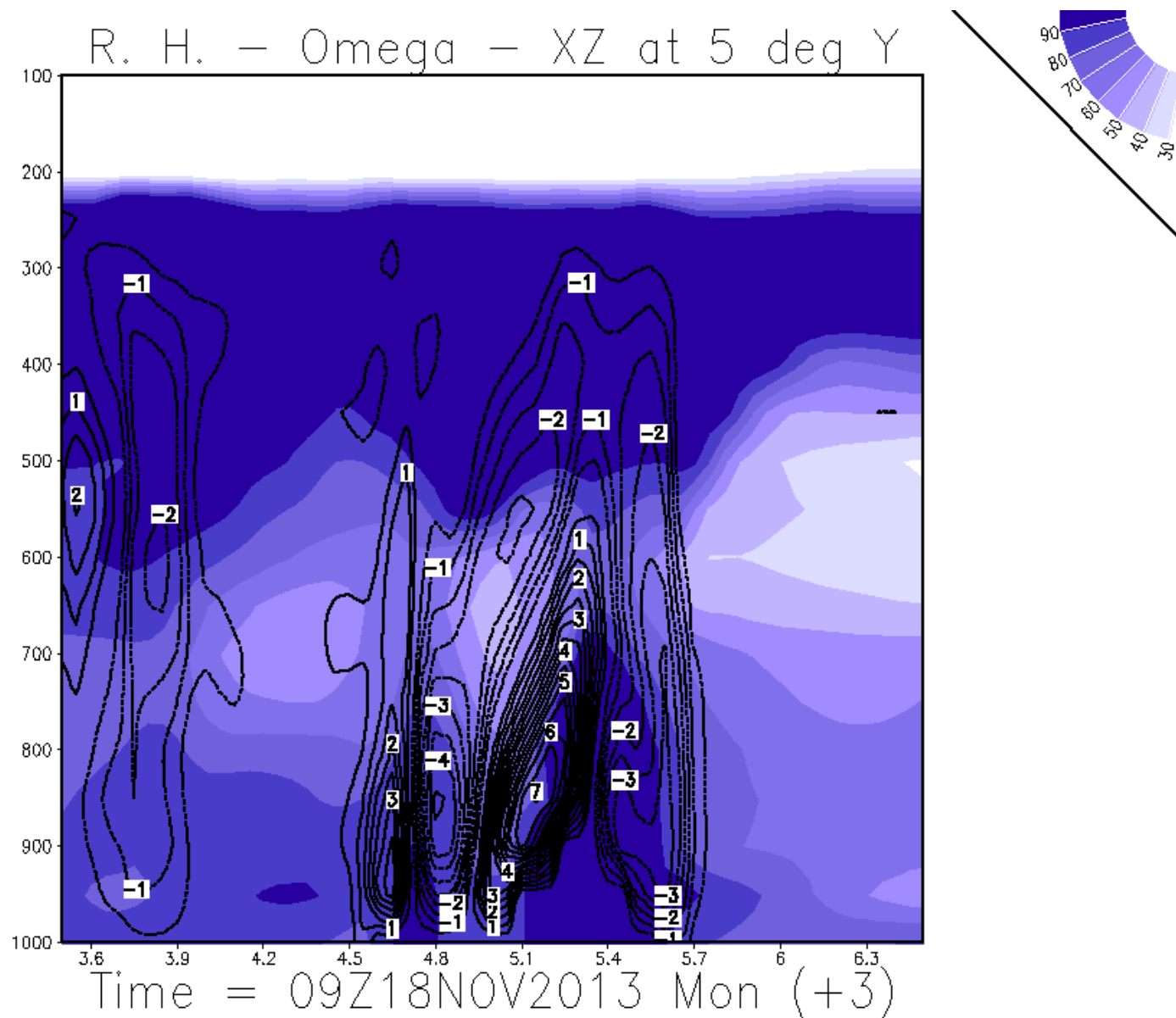


Figura 3.1.10

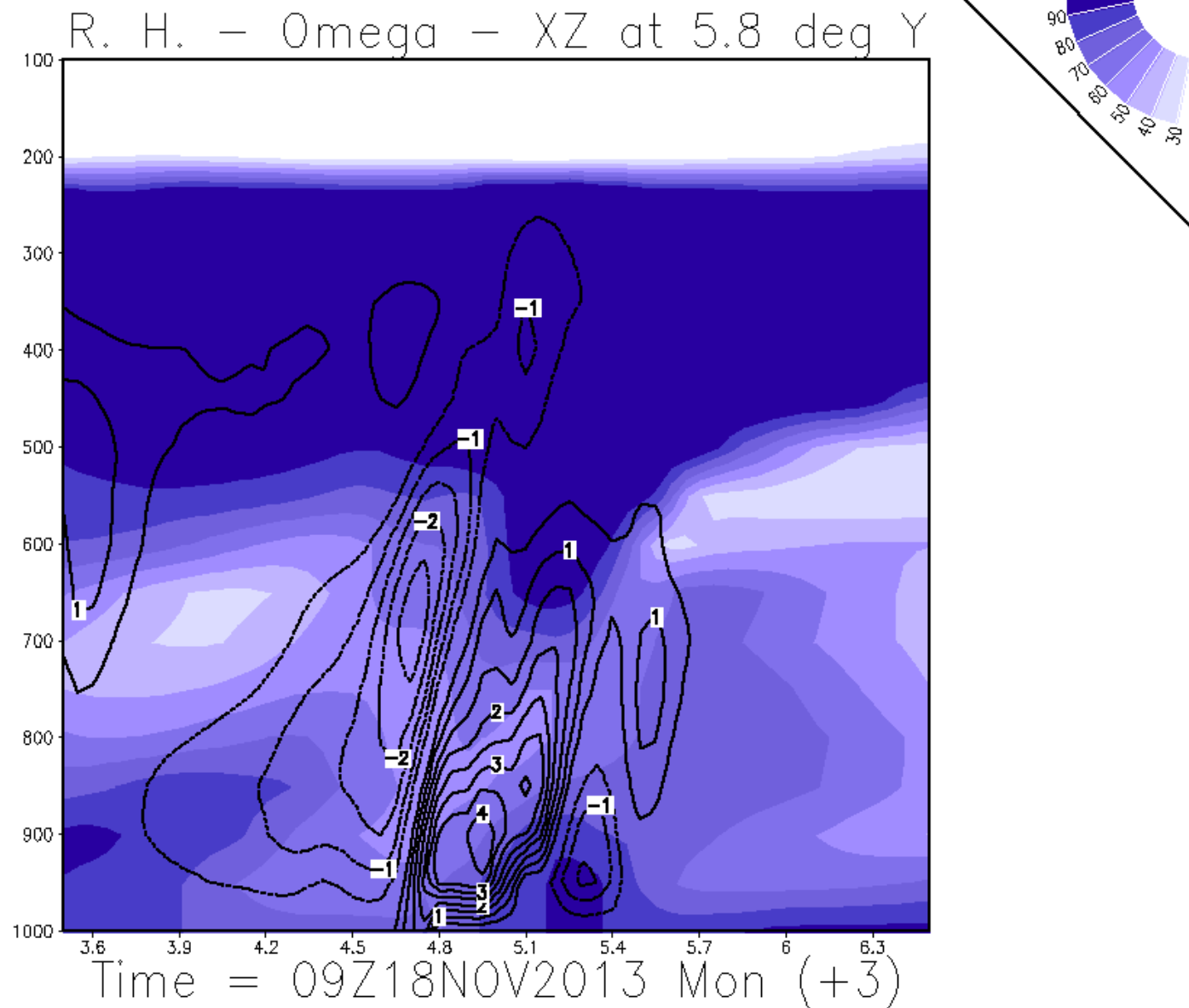


Figura 3.1.11

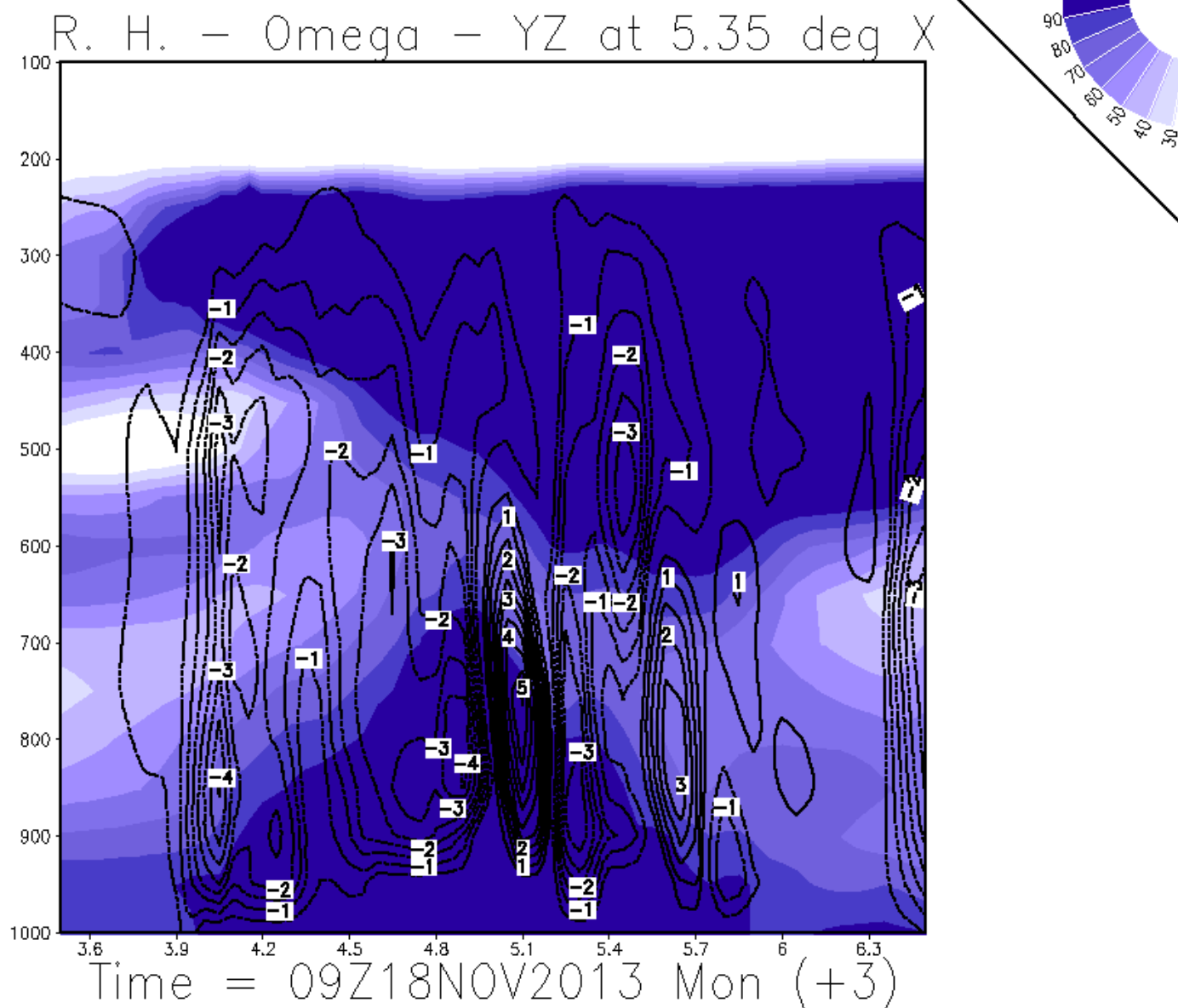


Figura 3.1.12

MSLP – Temperatura 2m – Vento 10m

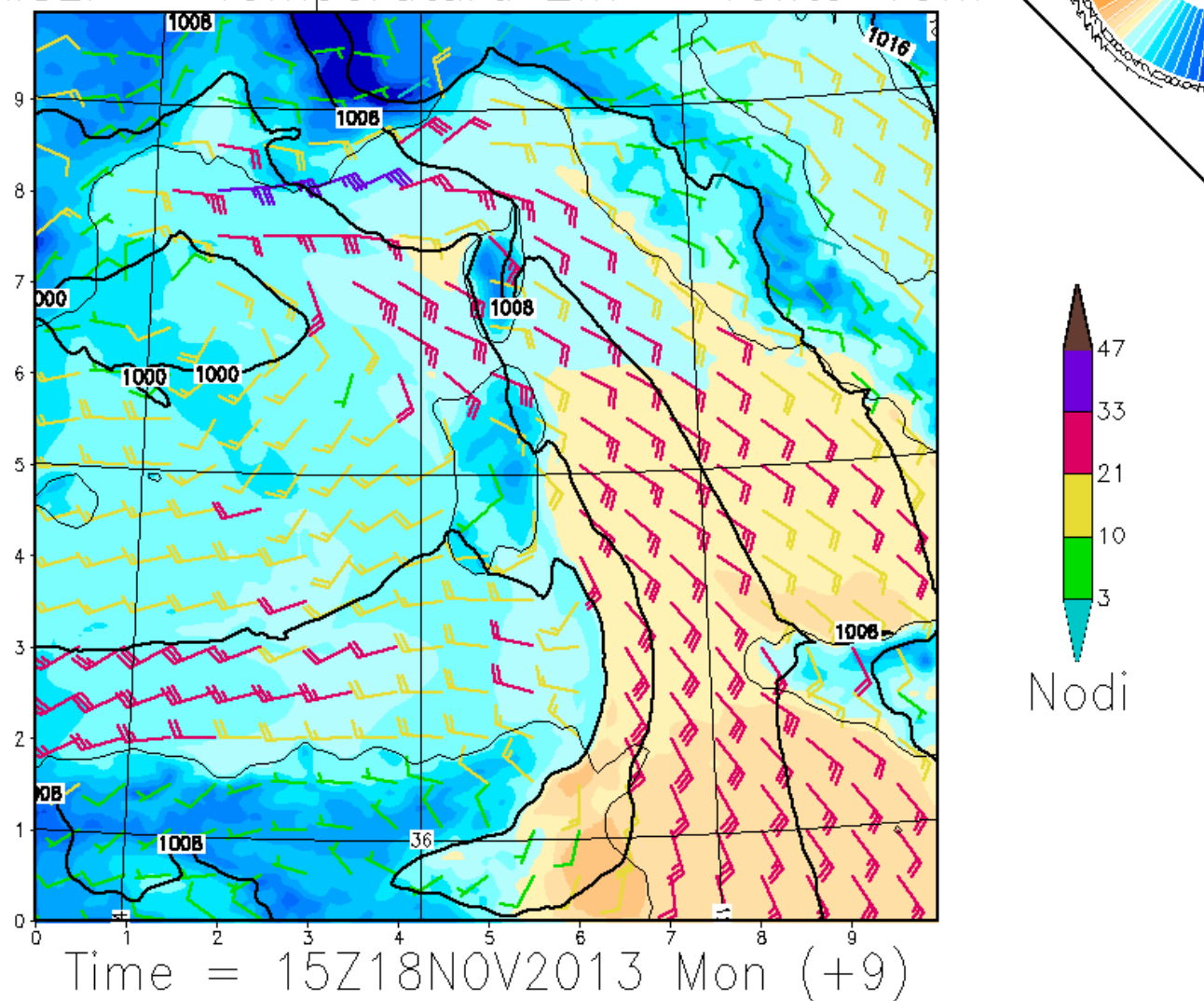


Figura 3.1.13

Geopotenziale h.-Temperatura a 850 hPa

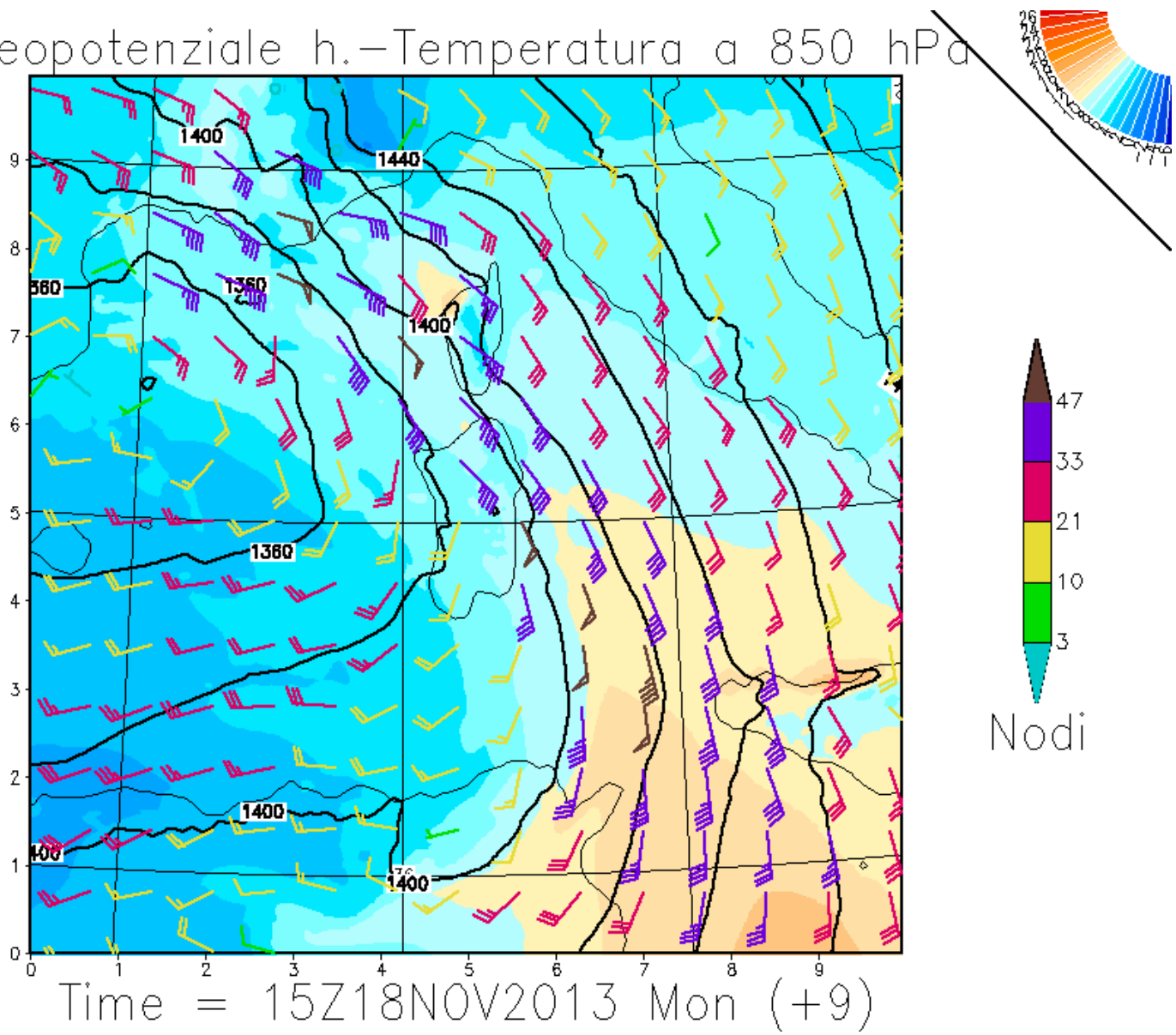
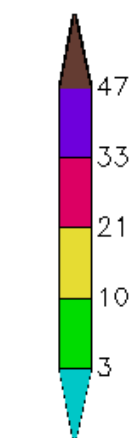
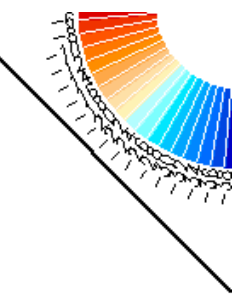
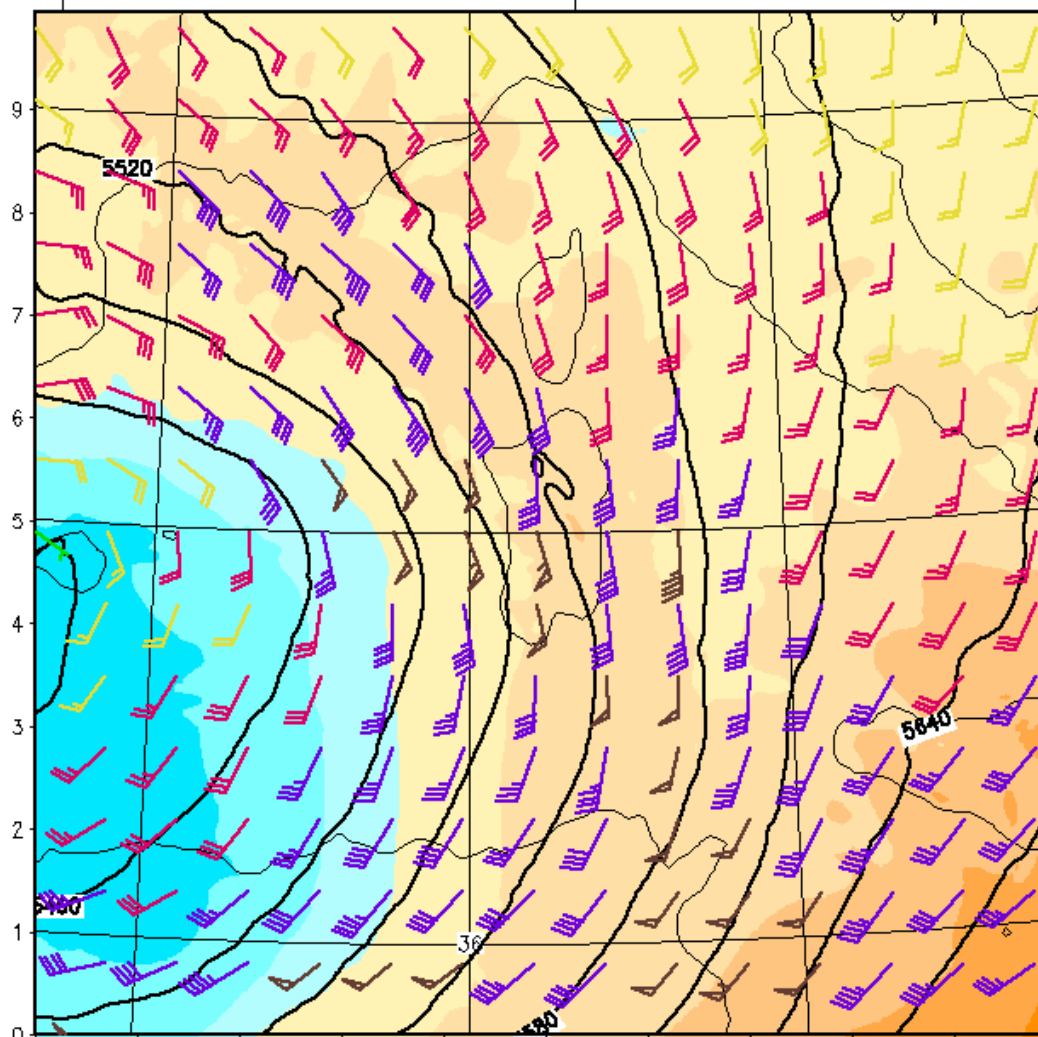


Figura 3.1.14

Geopotenziale h.-Temperatura a 500 hPa



Nodi

Time = 15Z18NOV2013 Mon (+9)



Figura 3.1.15

Geopotenziale h.–Temperatura a 250 hPa

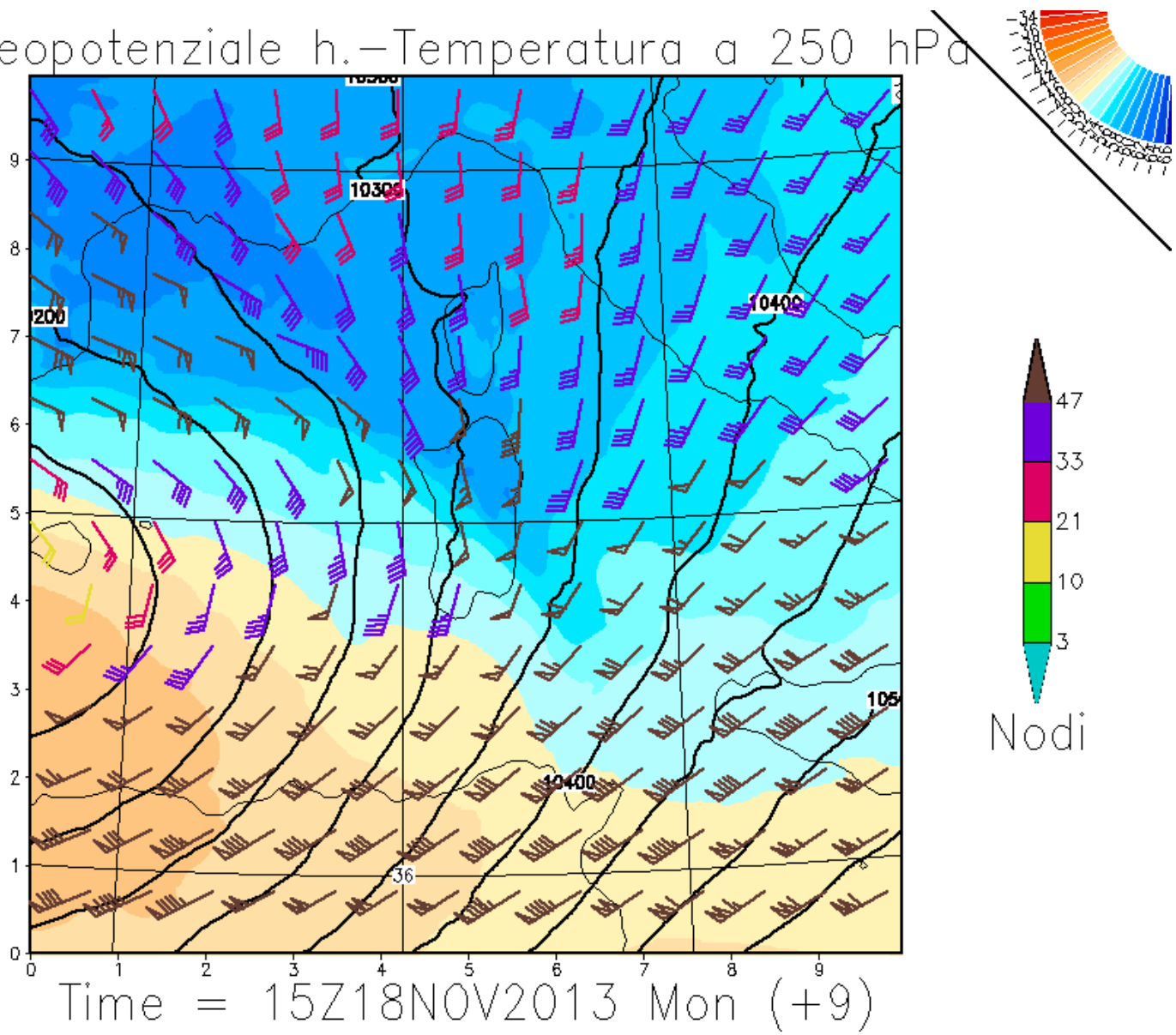


Figura 3.1.16

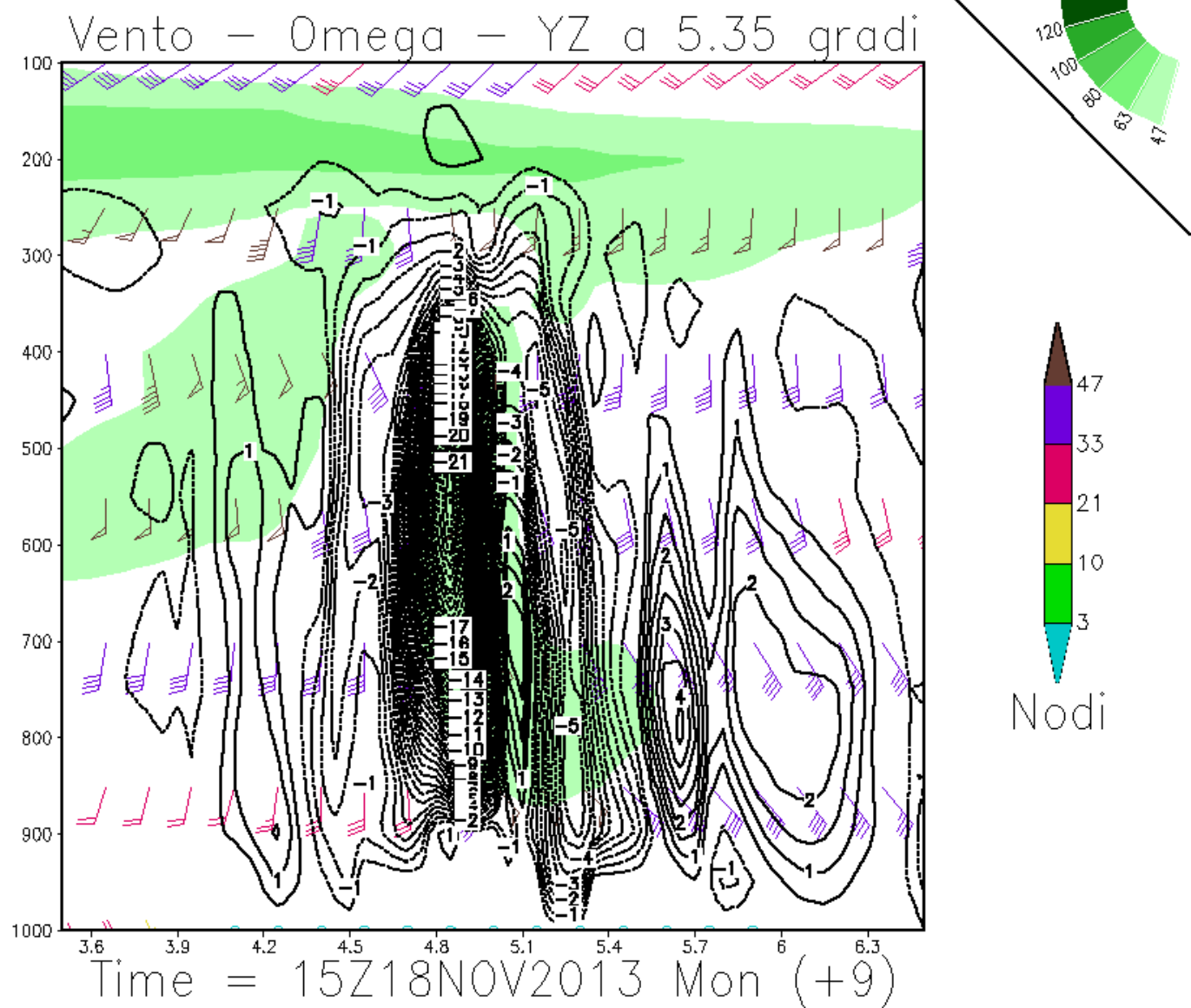
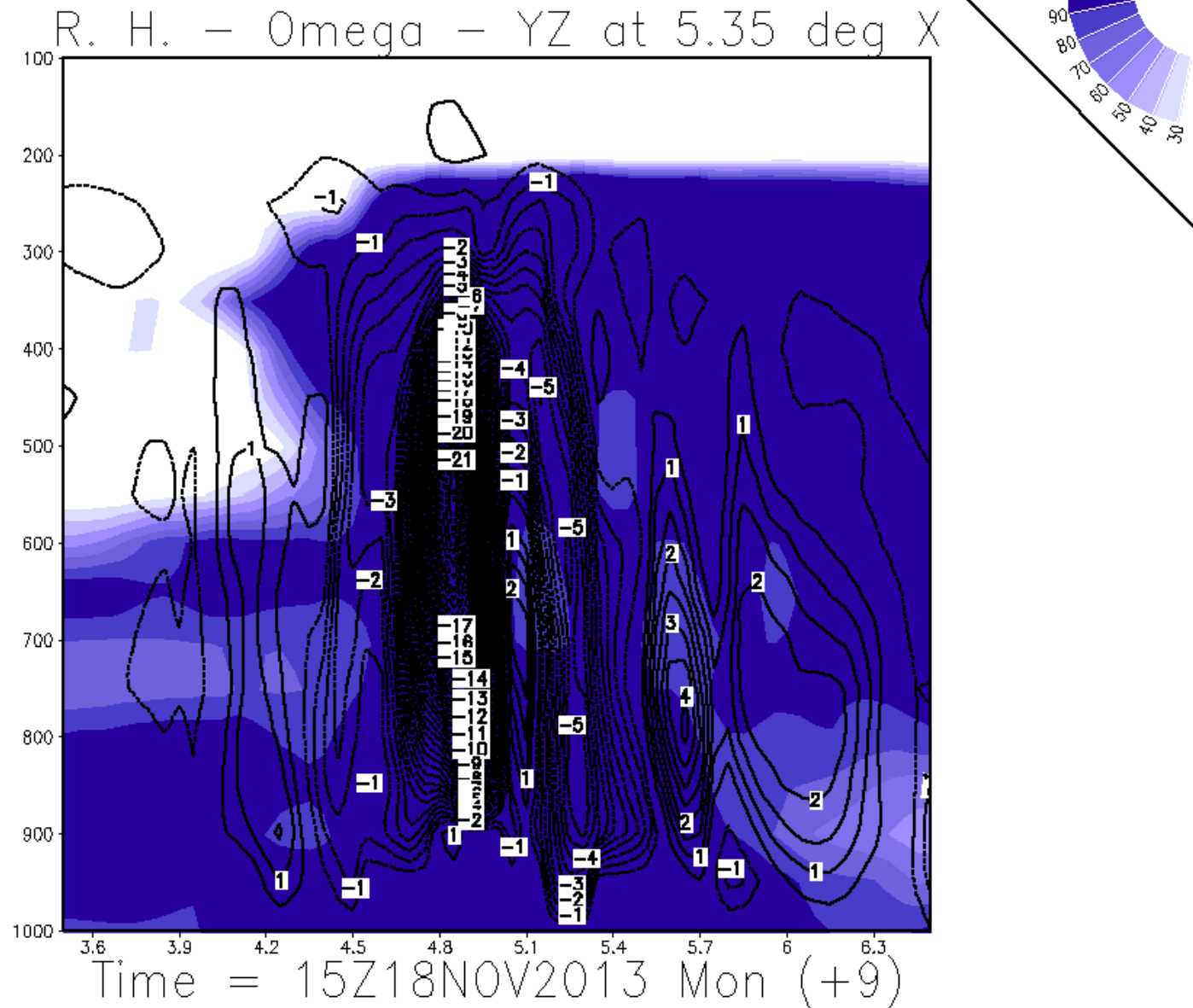


Figura 3.1.17

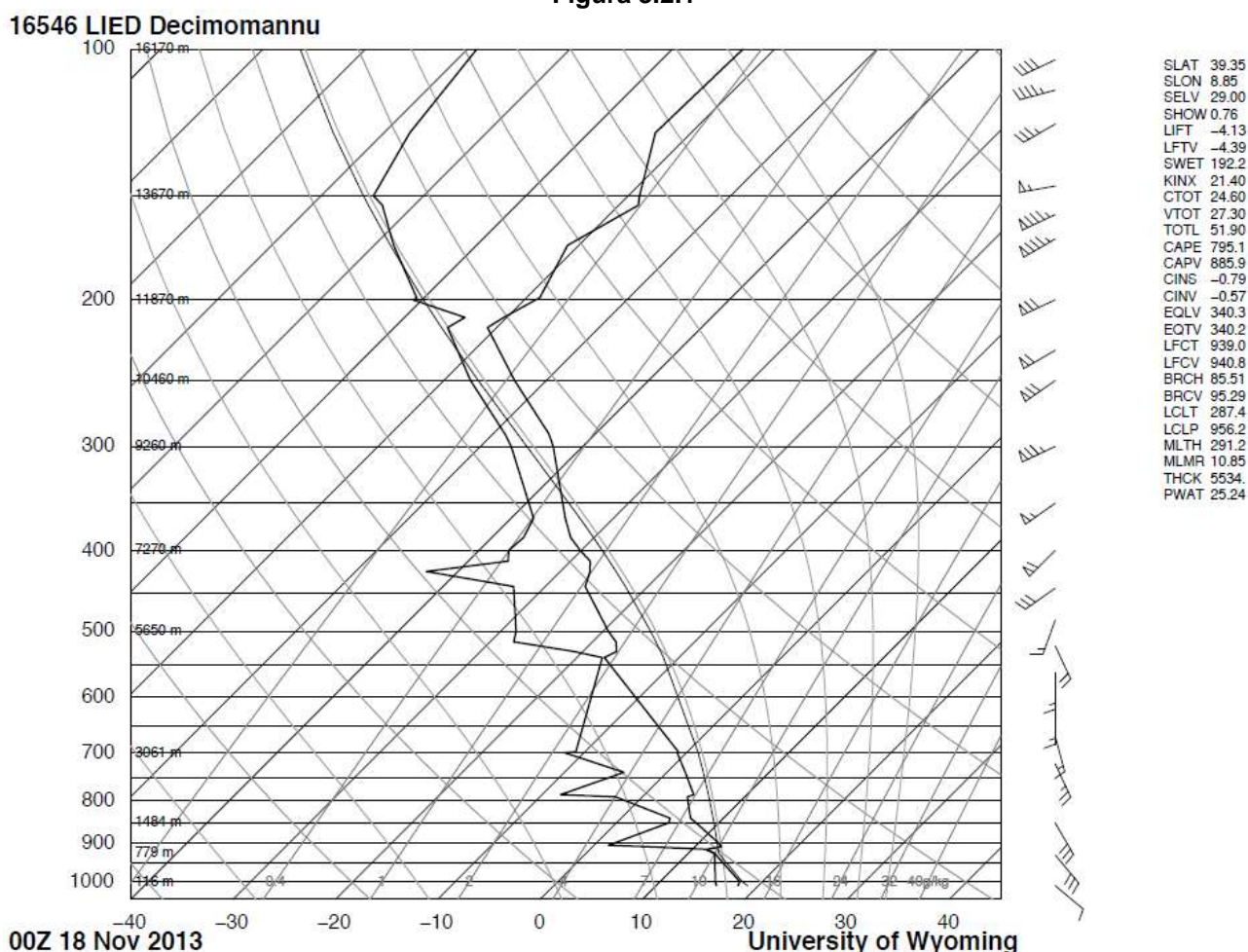


3.2 Analisi dinamica e termodinamica strumentale

Dall'analisi del radiosondaggio di Decimomannu (16546 LIED) delle ore 0000UTC del 18/11, riportato in figura 3.2.1, risulta che in quelle condizioni ambientali una generica particella d'aria che dal suolo fosse forzata a salire in quota raggiungerebbe la saturazione, e quindi il vapore acqueo in essa contenuto condenserebbe, a circa 956 hPa. Il livello di convezione libera (LFC) è a circa 940 hPa, equivalente a una quota prossima agli 800 m, e l'energia necessaria per raggiungerlo risulta inferiore a 1 J; ne consegue che una particella d'aria satura che si trovasse ad una quota superiore agli 800 m, disporrebbe di un'energia per proseguire liberamente la propria ascesa per convezione (CAPE) pari a circa 886 J/kg, (calcolata tenendo conto degli effetti dell'umidità, ovvero utilizzando nel calcolo la temperatura virtuale). L'ascesa sarebbe libera fino a un livello di equilibrio (EL) di 340 hPa, pari alla quota di circa 8500 m.

Nei bassi strati, fin quasi i 900 hPa, si presenta un'avvezione calda e umida da Sud-Est, con temperatura prossima ai 18 °C a livello del mare; inoltre dal suolo fino al livello barico dei 500 hPa, quindi in tutta la medio-bassa troposfera, i flussi si mantengono praticamente sciroccali (generalmente d'intensità moderata al suolo, tra i 10 kn e i 30 kn nello strato considerato), per poi disporsi da Sud-Ovest alle quote superiori.

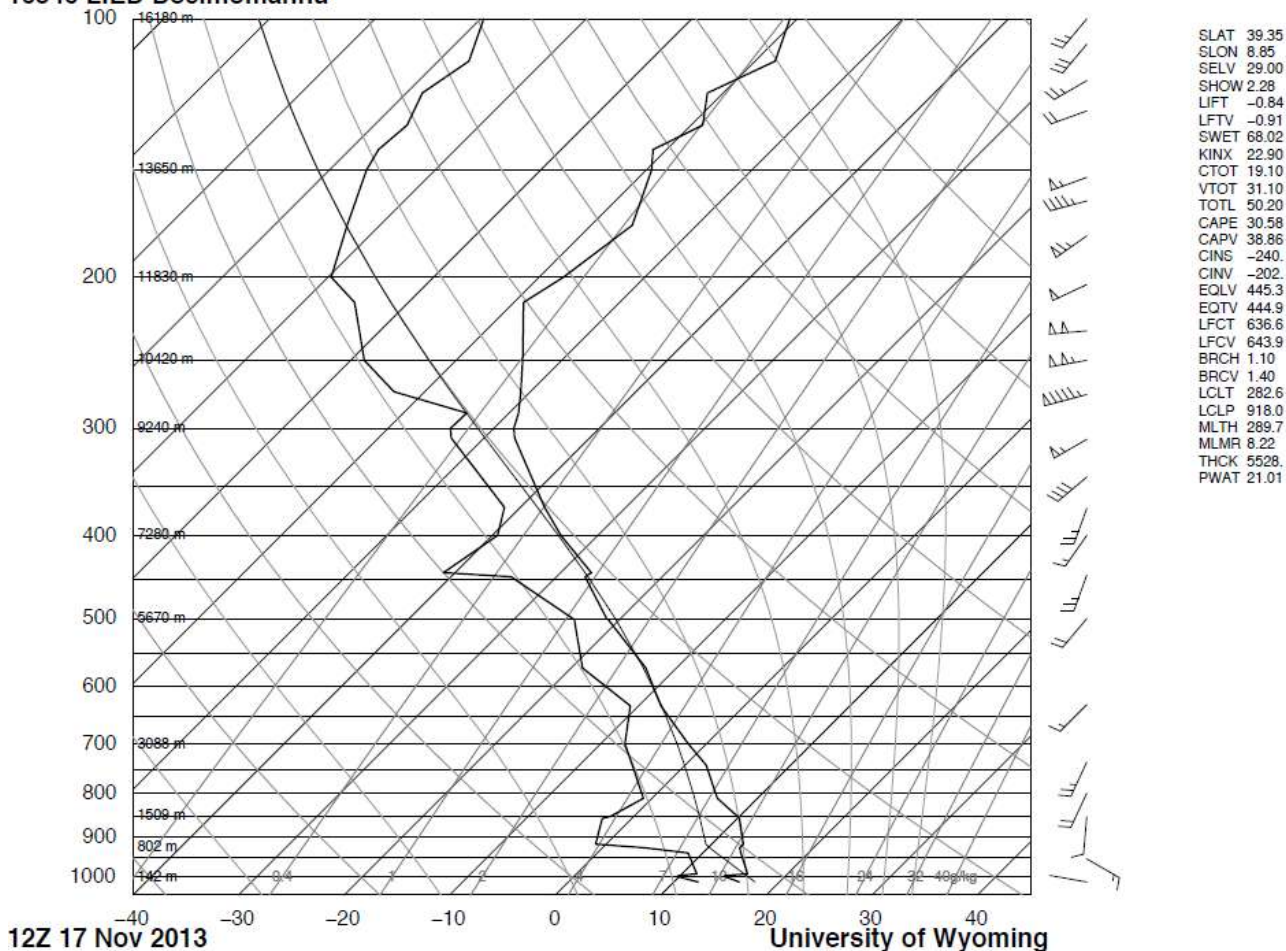
Figura 3.2.1



Di contro il radiosondaggio delle ore 1200UTC del 17/11, riportato in figura 3.2.2, descrive flussi relativamente più freddi e meno umidi, da Sud-Est nei bassi strati che ruotano rapidamente con la quota (dai 900 hPa) da Sud-Ovest. L'ambiente è inoltre notevolmente più stabile con un CIN di circa -200 J/kg e un CAPE di circa 39 J/kg.

Figura 3.2.2

16546 LIED Decimomannu



La figura 3.2.3 riporta, riferite alle ore 0000UTC del giorno 18/11, le isolinee d'altezza geopotenziale al livello di 250 hPa elaborate dal modello a scala globale del ECMWF e l'immagine del *Meteosat Second Generation* (MSG)⁶ dell'infrarosso termico (12,0 μm , risoluzione spaziale 3 km); si osserva nuvolosità stratiforme relativamente alta sull'Isola, infatti la temperatura della sommità della nube sul Nord della Sardegna è nell'intervallo [-50 °C, -55 °C] e intorno ai -45 °C sul Sud dell'Isola. Questa nuvolosità corrisponde all'avvezione calda, come risulta dalle isolinee di temperatura al livello di 850 hPa elaborate dal modello del ECMWF (figura 3.2.4).

⁶ Si allegano le immagini nello spettro del visibile e dell'infrarosso dell'intera giornata.

Figura 3.2.3

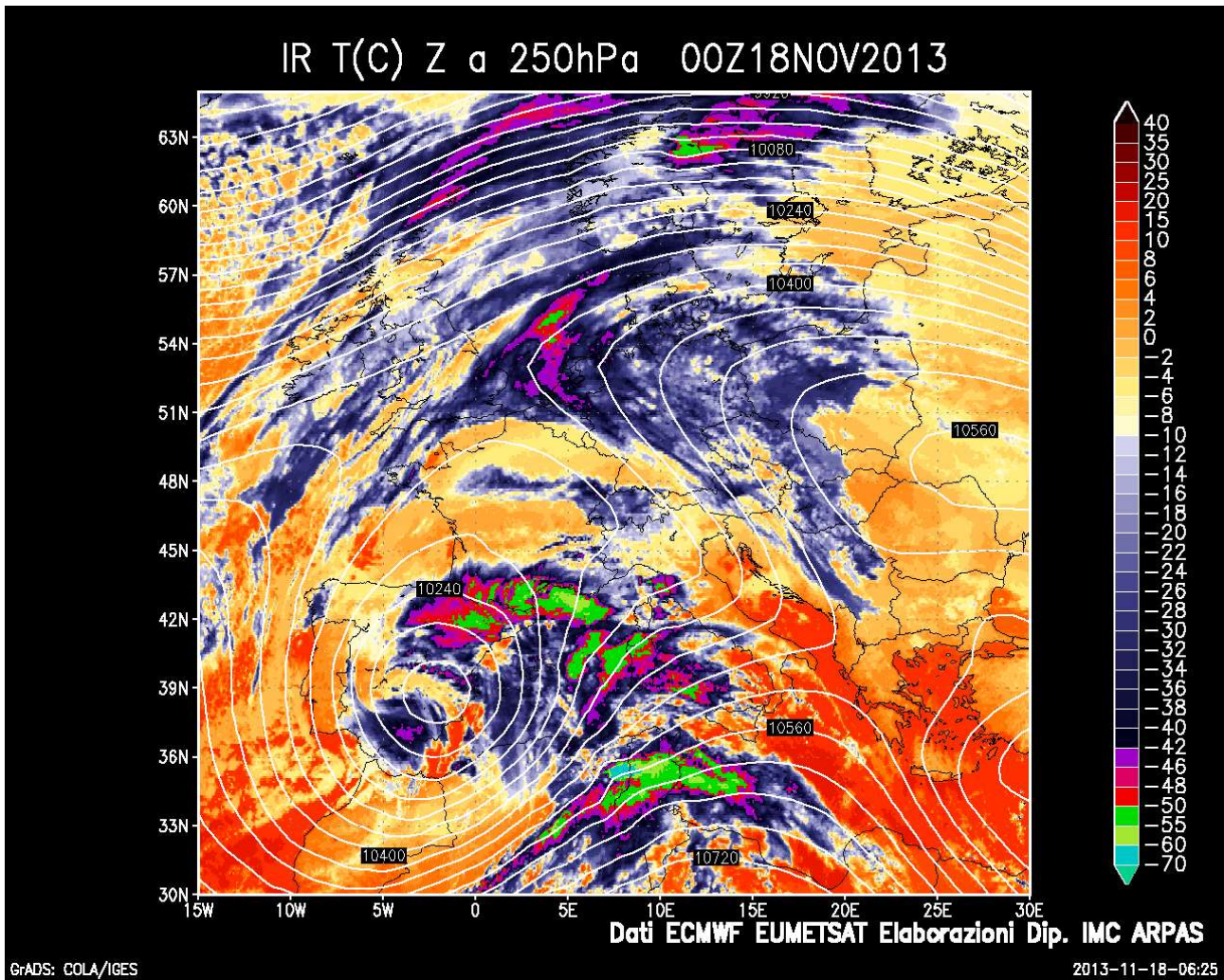
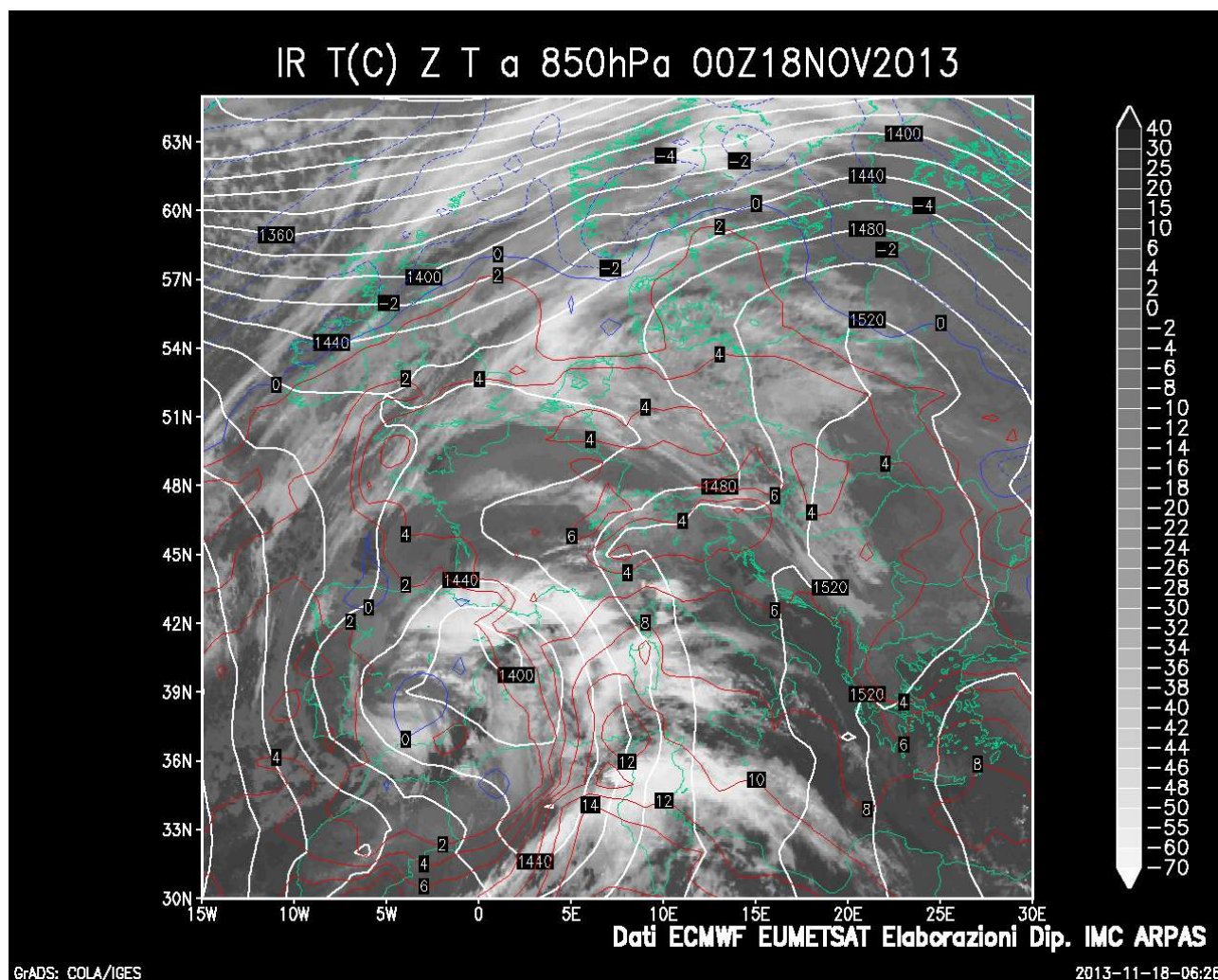


Figura 3.2.4



Dal confronto con i pluviometri a tale nuvolosità non risulta ancora associata significativa precipitazione, ma l'analisi delle mappe del "fattore logaritmico di riflettività" (che nel seguito indicheremo semplicemente come riflettività, esprimendola in dBZ) misurato dal Radar⁷ Meteorologico in quell'arco temporale consente di riconoscere un debole sviluppo convettivo a forzante orografica, dapprima sulla parte occidentale del Campidano di Cagliari (tra le 2015UTC e le 2100UTC del 17/11), e poi sull'Ogliastra (tra le 2100UTC del 17/11 e le 0045UTC del 18/11), con poche celle convettive disaggregate, aventi tempo di vita di circa 45 minuti, alle quali è associata una debole attività elettrica⁸ (figura 3.2.7) e precipitazioni locali in aree non coperte da pluviometri e per questo non registrate (si riproducono nelle figure 3.2.5-6 le scansioni a 0° di elevazione delle ore 2030UTC e 2300UTC).

Più scansioni del radar a diversa elevazione consentono di rappresentare le varie fasi di vita del sistema convettivo nelle tre dimensioni spaziali a intervalli di tempo ragionevolmente brevi rispetto alla scala temporale del fenomeno e alle necessità richieste dalla presente analisi. Come ben noto in letteratura, la misurazione è comunque soggetta a varie tipologie di problematiche, generalmente di non semplice

⁷ Il radar meteorologico della Regione Sardegna è installato sulla cima del Monte Rasu, catena del Goceano, comune di Bono (coordinate UTM-ED50: 500460N - 4474750E; quota antenna: 1300 m slm). Lo strumento è un GPM 250-C di fabbricazione Alenia, operante in banda C (lunghezza d'onda 5.4 cm, frequenza 5.5 GHz), dotato di trasmettitore a *Klystron* con potenza di picco 250 kW, antenna a paraboloide del diametro di 4.2 m, singola polarizzazione, ricevitore del segnale radar digitale, funzionamento in modalità *Doppler*, portata massima sino a 500 km, risoluzione spaziale fino a 75 metri. La configurazione operativa consta di un insieme di nove scansioni ad elevazione crescente (0°, 1°, 2°, 3°, 4°, 5°, 6°, 8°, 10°) per ogni intervallo di quindici minuti.

⁸ Nelle figure 3.2.7, 3.2.10-11, 3.2.39-44, sono rappresentate sia la localizzazione delle fulminazioni tra nube e suolo, sia la loro quantità sull'area rappresentata e sulla Sardegna in particolare, registrate nell'intervallo orario successivo alla scadenza indicata. In allegato sono fornite tutte le rappresentazioni relative alla giornata del 18/11. I dati grezzi sono stati forniti dal Centro Funzionale del Dipartimento Nazionale della Protezione Civile.

identificazione e rimozione, tra le quali si possono citare l'imperfezione della calibrazione elettronica, la contaminazione dell'eco di ritorno da parte di fenomeni di natura non meteorologica, i vari effetti di attenuazione del segnale o di variazione del volume campionato per via di modifiche strutturali del fascio durante il proprio cammino.

La maniera più comune per ottenere una stima della precipitazione che raggiunge il suolo (QPE, *Quantitative Precipitation Estimation*) è il cosiddetto *Metodo Z-R*, che collega con una matematicamente semplice legge semi-empirica di potenze a due parametri⁹ il fattore logaritmico di riflettività (misurato) con il "rate di precipitazione al suolo" (stimato). Tale metodo, però, si accompagna a una vasta serie di errori (oltre a quelli legati alla misura come sopra esemplificato), in maniera che sono possibili sovrastime o sottostime che per fenomeni convettivi particolarmente forti arrivano a comportare errori anche del 400%. Di fatto la QPE è un problema scientifico ancora aperto, tanto più per il monitoraggio di un evento come quello d'interesse, quando cioè si cerca di stimare la precipitazione che raggiunge il suolo in un breve tempo su bacini relativamente piccoli¹⁰ e di confrontarla con il dato registrato da un pluviometro.

Nondimeno, il radar riveste un ruolo¹¹ cruciale nell'analisi dei processi microfisici delle nubi e delle perturbazioni atmosferiche in generale, consentendo un monitoraggio in tempo quasi reale dei fenomeni d'instabilità alla mesoscala e quindi, specie nel caso convettivo, di quelli che sono spesso associati a eventi meteorologici di severo impatto sul territorio. In particolare l'analisi delle mappe di riflettività consente di descrivere almeno qualitativamente la distribuzione delle precipitazioni anche per aree non coperte da pluviometri.

⁹ Marshall, J. S., Palmer, W. McK., *The distributions of raindrops with size*, J. Meteorology, vol.5, 165-166, 1948.

¹⁰ Wilson, J. W., Brandes, E. A., 1979, *Radar measurement of rainfall – A summary*, B. Am. Meteor. Soc., 60, 1048–1058.

Joss, J., Waldvogel, A., 1990, *Precipitation measurement and hydrology*, Radar in meteorology: Battan memorial and 40th anniversary conference on radar meteorology, ed. by Atlas, D., American Meteorological Society, 577–606.

¹¹ Atlas, D., 1990, *Radar in meteorology: Battan memorial and 40th anniversary Radar Meteorology Conference*, Am. Meteor. Soc., pp. 806.

Wilson, J. W., Mueller, C. K., 1993, *Nowcasts of thunderstorm initiation and evolution*, Am. Meteor. Soc., 113-131.

Meischner, P., 2004, *Weather radar, principles and advanced applications*, Springer, ISBN 3-540-000328-2, pp.337.



Figura 3.2.5

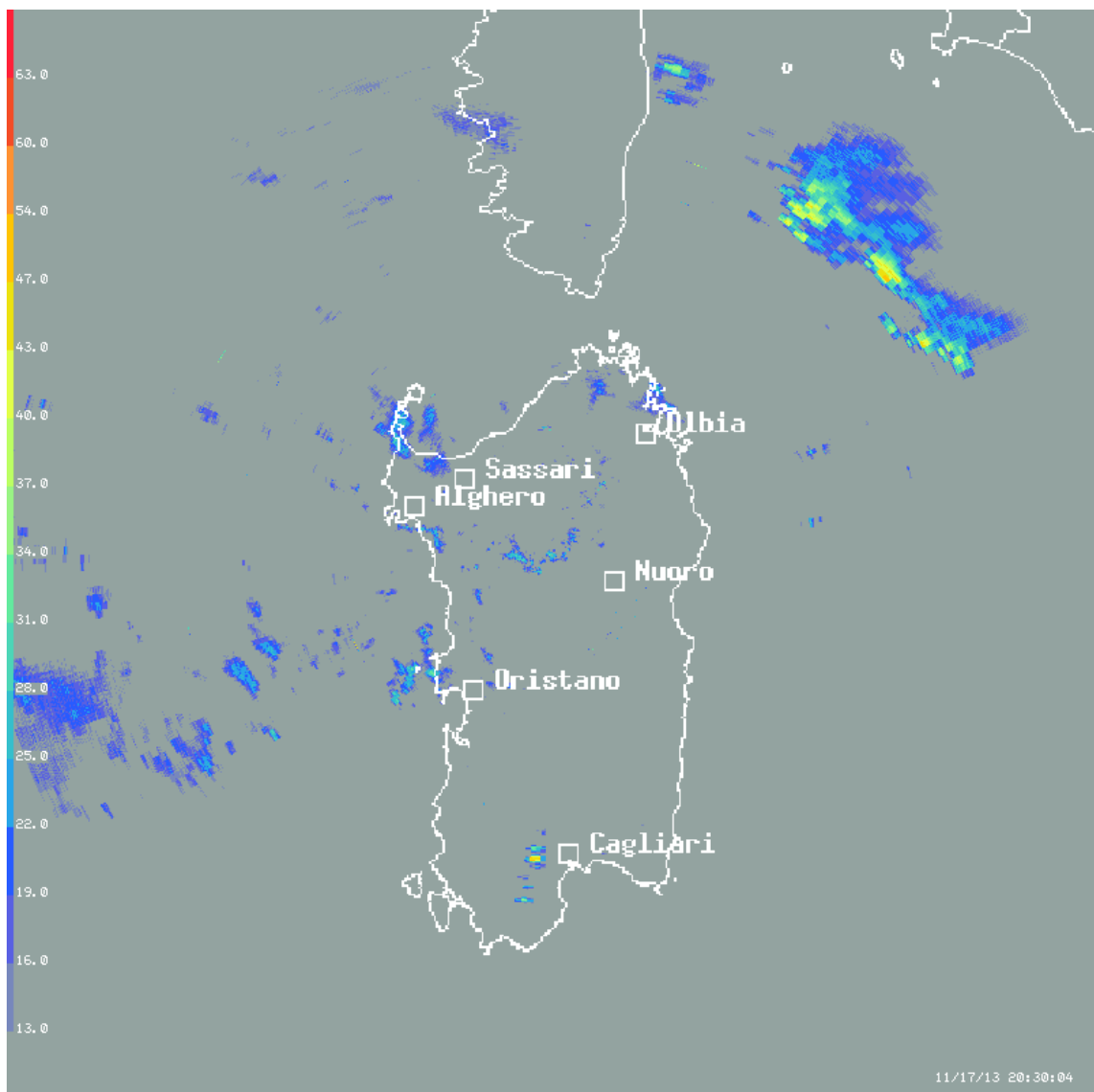


Figura 3.2.6

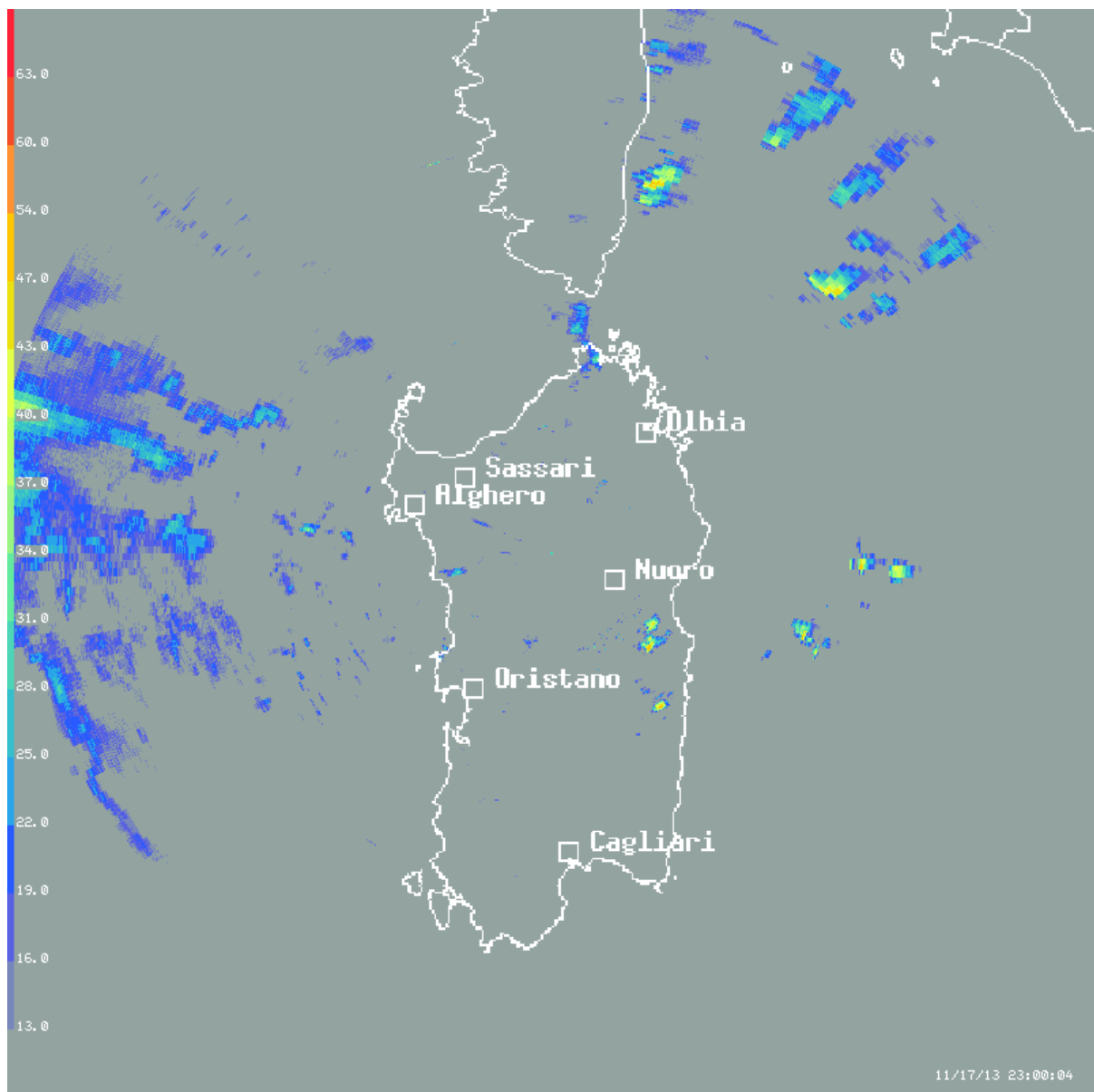
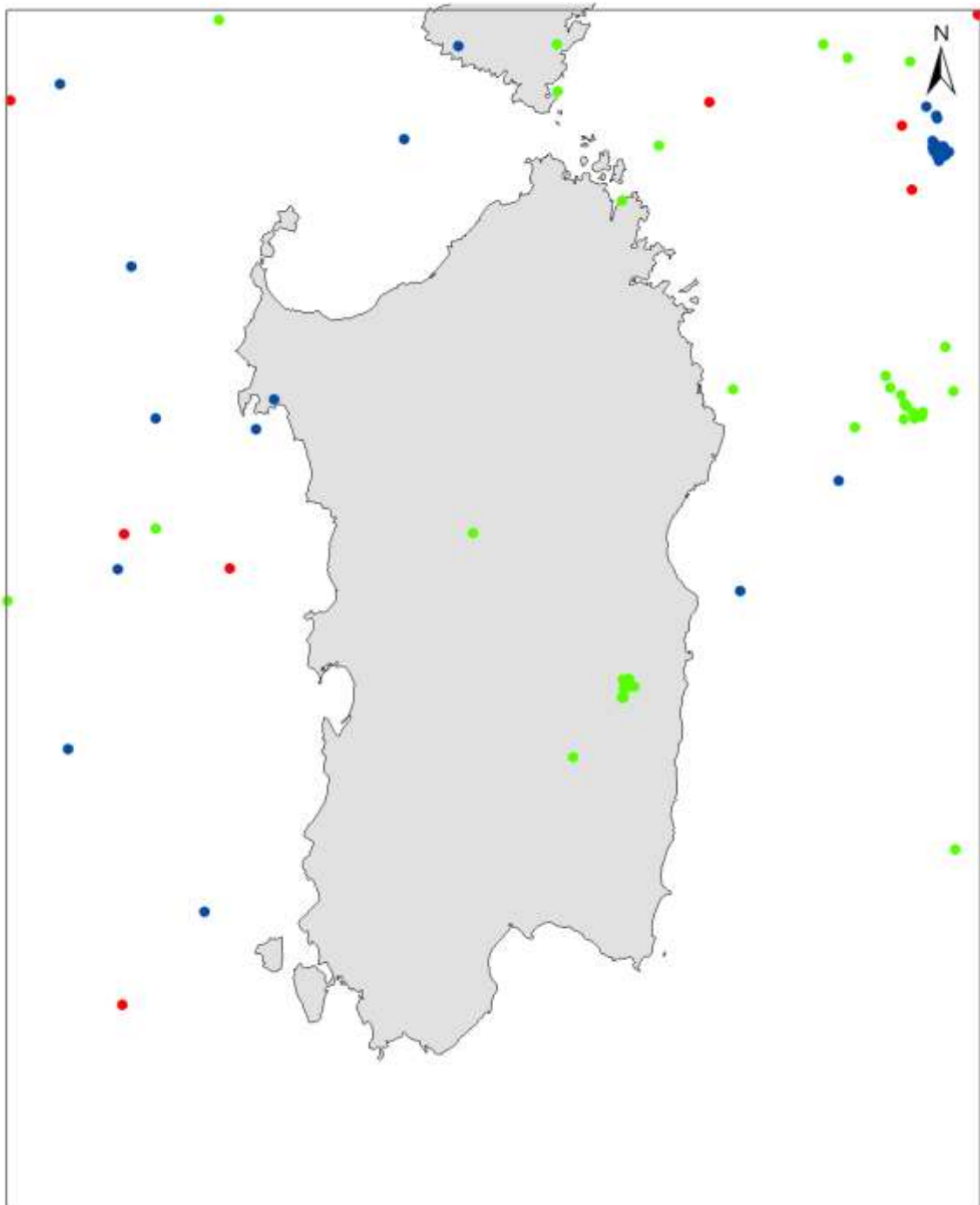
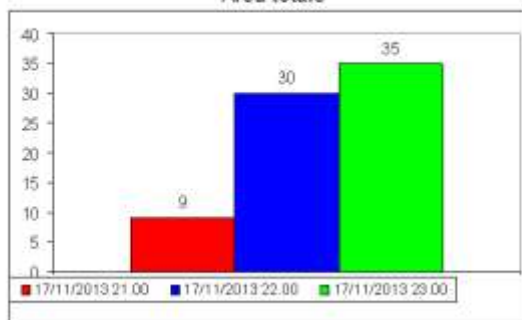


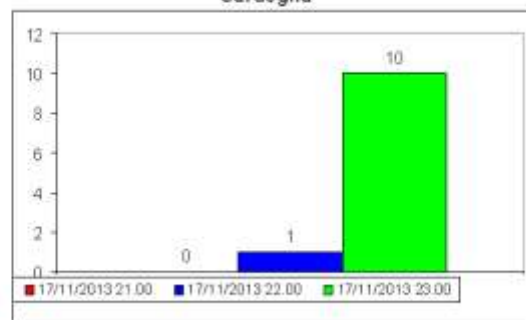
Figura 3.2.7



Area totale



Sardegna



Dopo questo timido innesco dei fenomeni, in seguito all'interazione con l'orografia della Sardegna delle masse d'aria nelle condizioni d'instabilità descritte dal radiosondaggio delle 0000UTC di cui sopra, si rileva un più consistente sviluppo di un sistema convettivo alla mesoscala (MCS) sul Campidano (tra le 2330UTC del 17/11 e le 0415UTC del 18/11), seguito da un altro sul Sarrabus-Gerrei e in rapida estensione all'Ogliastra (tra le 0100UTC e le 0415UTC del 18/11) (figura 3.2.8), costituito da celle convettive aggregate e rigeneranti in grado di produrre piogge intense, attività elettrica (figure 3.2.10-11), eventualmente fenomeni grandinigeni e forti raffiche di vento.

Nell'allegato *composizione sezione cc'* sono composte¹², per la fascia oraria 2315UTC del 17/11 – 0600UTC del 18/11, la riflettività (dBZ) corrispondente al fascio radar a 0° di elevazione, la sezione verticale del campo di riflettività (dBZ) in corrispondenza del transetto cc', il profilo orografico di riferimento ricavato da *Google maps*; in figura 3.2.9, per esempio, si riporta l'immagine delle ore 0200UTC. Dall'analisi dell'intera sequenza di misure si può riconoscere l'innesco dei fenomeni in corrispondenza della forzante orografica e il successivo sviluppo del sistema convettivo secondo la direttrice Sud-Est; si può anche notare l'estensione verticale dei fenomeni sul Medio Campidano con valori di riflettività che corrispondono a intensa precipitazione, pure compatibile con grandinate¹³ per brevi intervalli, anche in ampie zone non coperte da pluviometri e quindi non rappresentate totalmente dalle registrazioni.

La mappa dei pluviometri utilizzabili per i quali si dispone della registrazione del 18/11 è rappresentata in figura 3.2.45. Per seguire nel dettaglio l'andamento delle precipitazioni più significative registrate il 18/11 si rimanda alle figure 3.2.46-55 dove sono riportate sullo stesso grafico la curva cumulata della giornata e lo ietogramma delle altezze di pioggia cumulata ogni dieci minuti (ovvero l'intensità media della precipitazione e la sua variazione) in alcune stazioni, rispettivamente: Campanasissa, Vallermosa, Villacidro, Villasalto, Escalaplano, Villanova Strisaili, Monte Novo, Dorgali Filitta, Mamone, Monti.

In ogni caso la misurazione pluviometrica è soggetta a vari errori sistematici, che rendono comunque più probabile, a meno di avarie e starature, la sottostima dei cumulati rispetto alla loro sovrastima: l'errore indotto dal vento costituisce l'elemento principale¹⁴ e in media è compreso tra il 2% e il 10%. Le dispersioni delle precipitazioni per cause eoliche sono inoltre più evidenti in presenza di fenomeni convettivi, specie nei casi di precipitazione particolarmente intensa, in seguito all'accentuata turbolenza indotta dalle raffiche locali associate alle correnti convettive (*downdraft, inflow, outflow e downburst*).

Tra le 0500UTC e le 0600UTC l'involuppo del sistema convettivo subisce una leggera rotazione in senso orario dapprima sul Campidano e la Marmilla, poi sulla Sardegna orientale; si evidenzia una propagazione discreta, ovvero con nuove celle che si sviluppano a sud di quelle già esistenti in fase matura, la tendenza all'espansione verso latitudini più elevate e all'intensificazione della convezione (figure 3.2.12-13).

¹² La composizione è utile per l'interpretazione fisica del fenomeno a macroscale, ma non si presta per valutazioni quantitative a microscale.

¹³ La presenza di grandine sul Medio Campidano è riportata dal quotidiano "L'Unione Sarda", 19/11/2013, pagina 4.

¹⁴ Nespor, V., B. Sevruk, 1999, *Estimation of wind-induced error of rainfall gauge measurements using a numerical simulation*. J. Atmos. Oceanic Technol., Vol. 16, pp. 450-464.



Figura 3.2.8

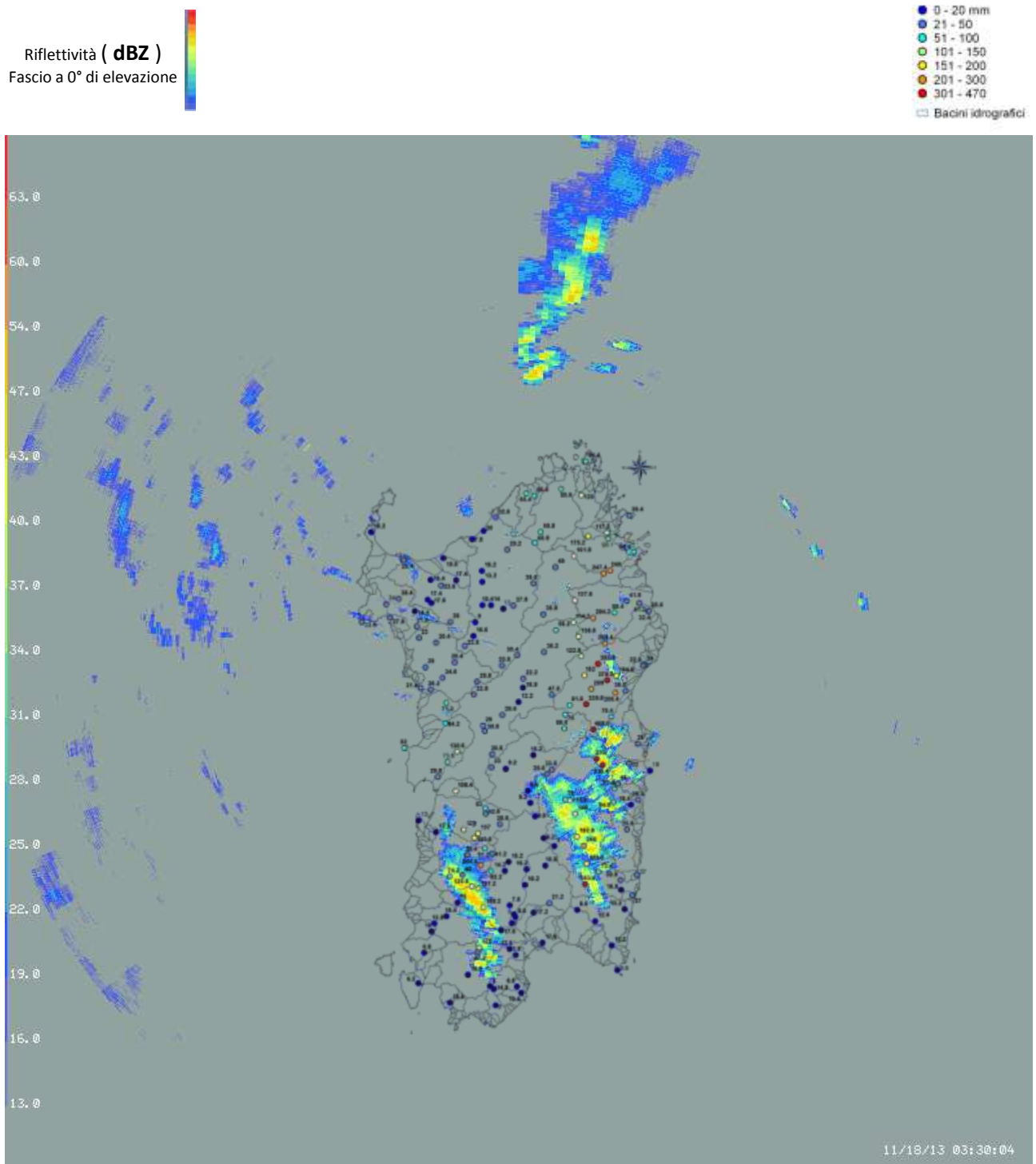


Figura 3.2.9

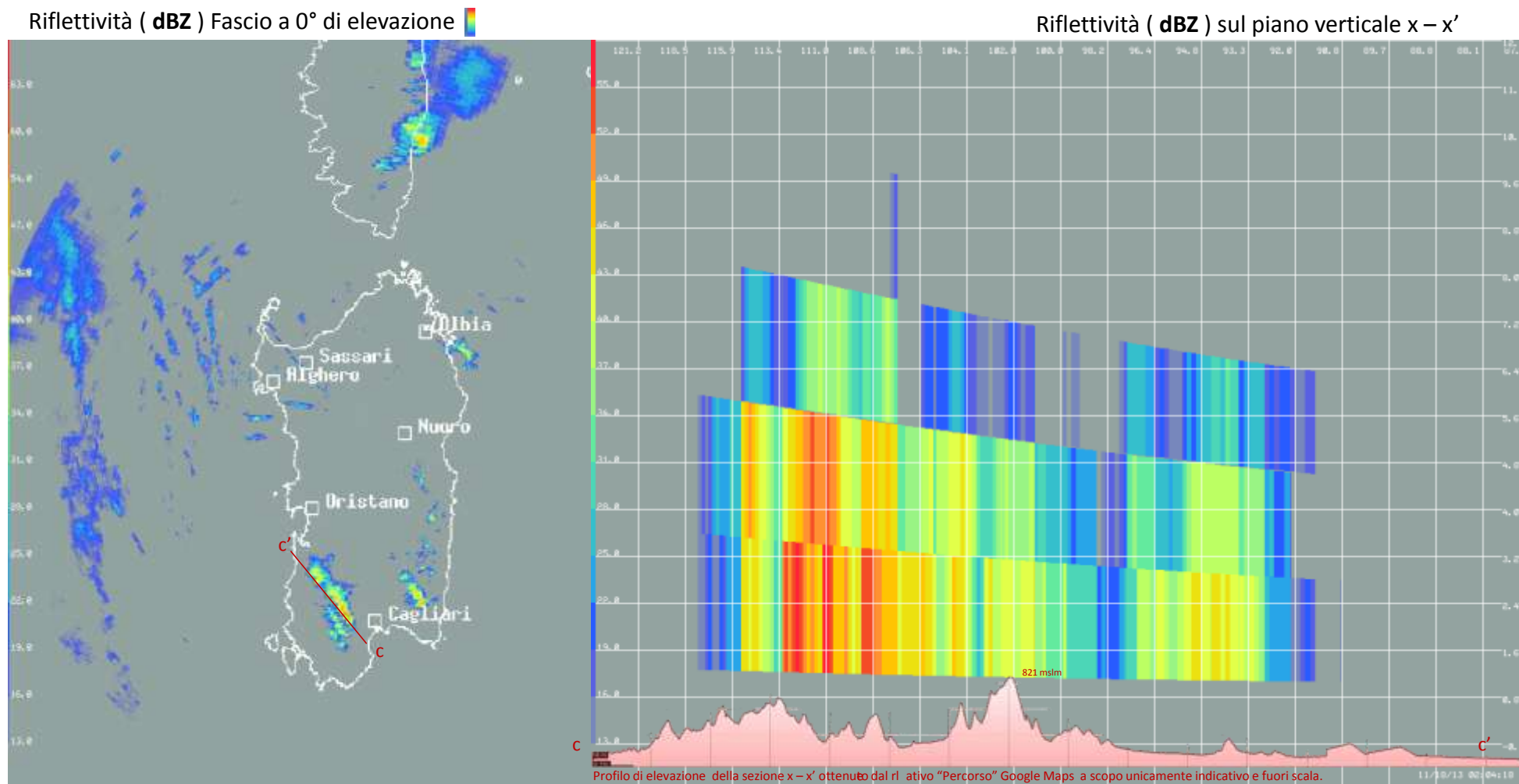
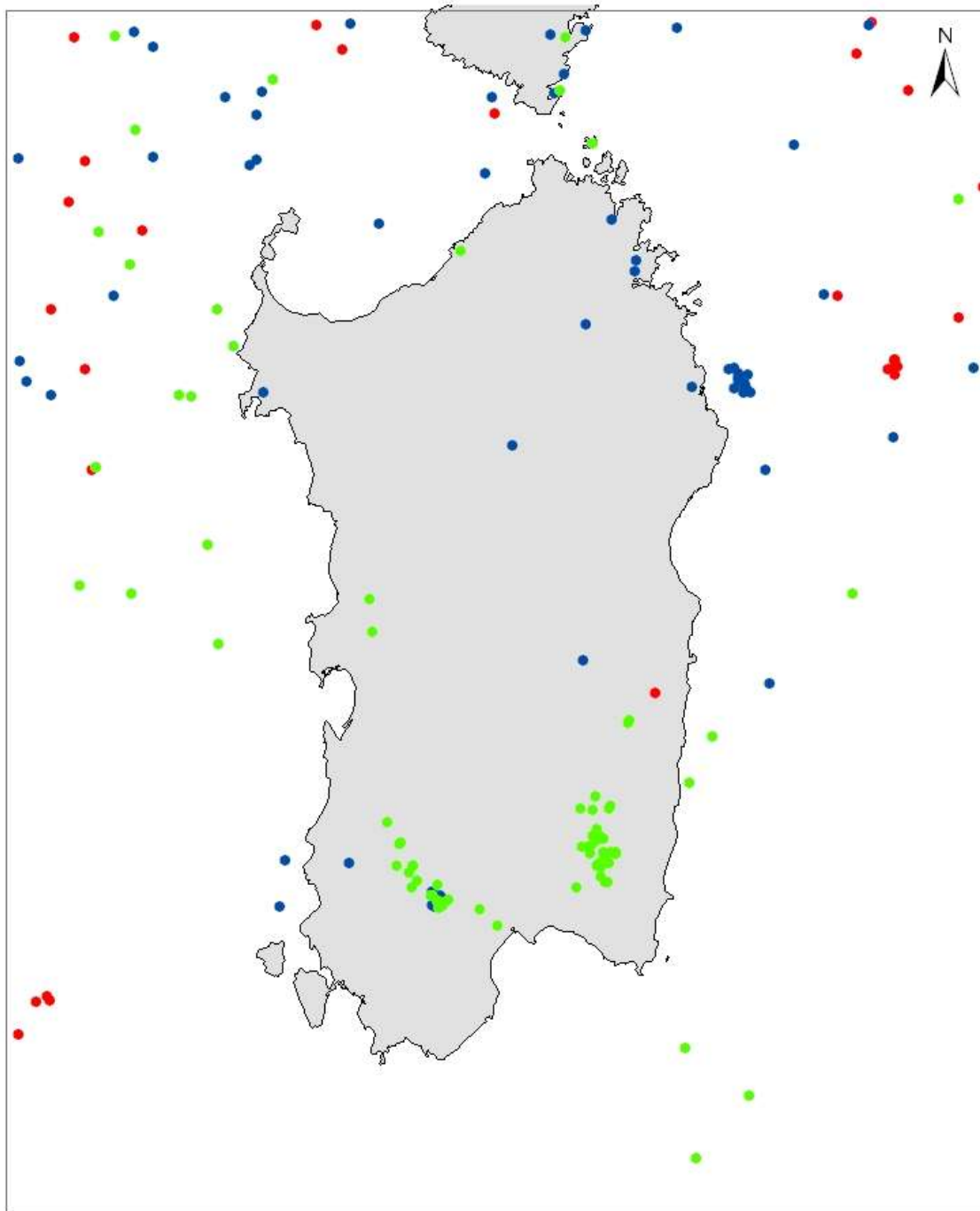
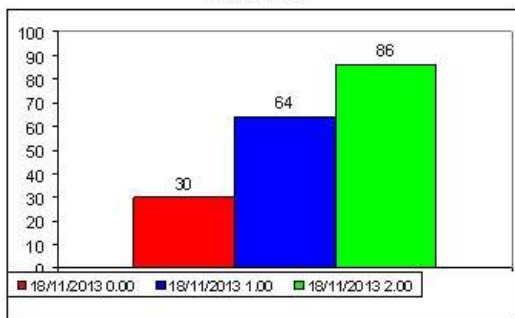


Figura 3.2.10



Area totale



Sardegna

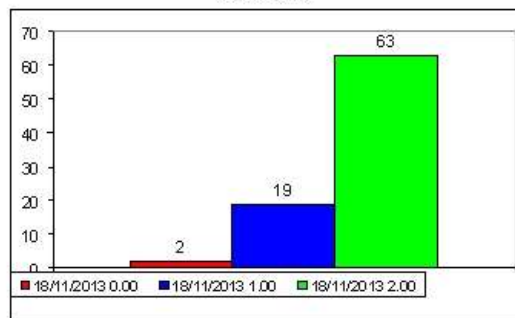
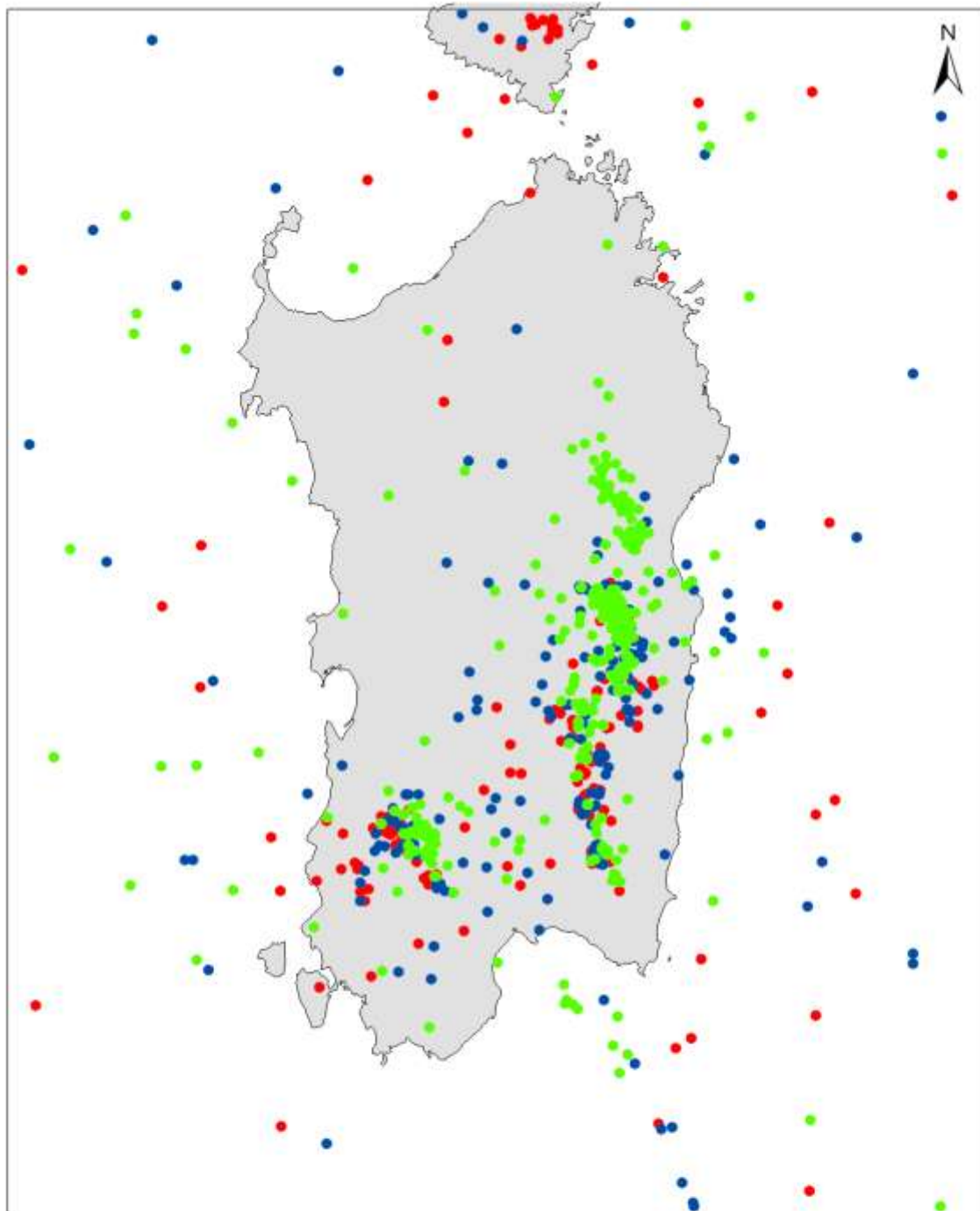
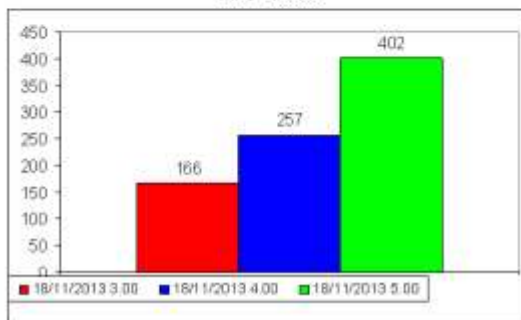


Figura 3.2.11



Area totale



Sardegna

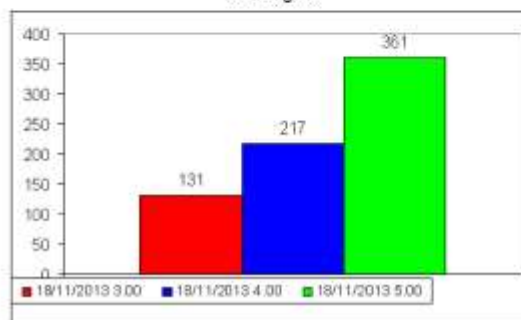


Figura 3.2.12

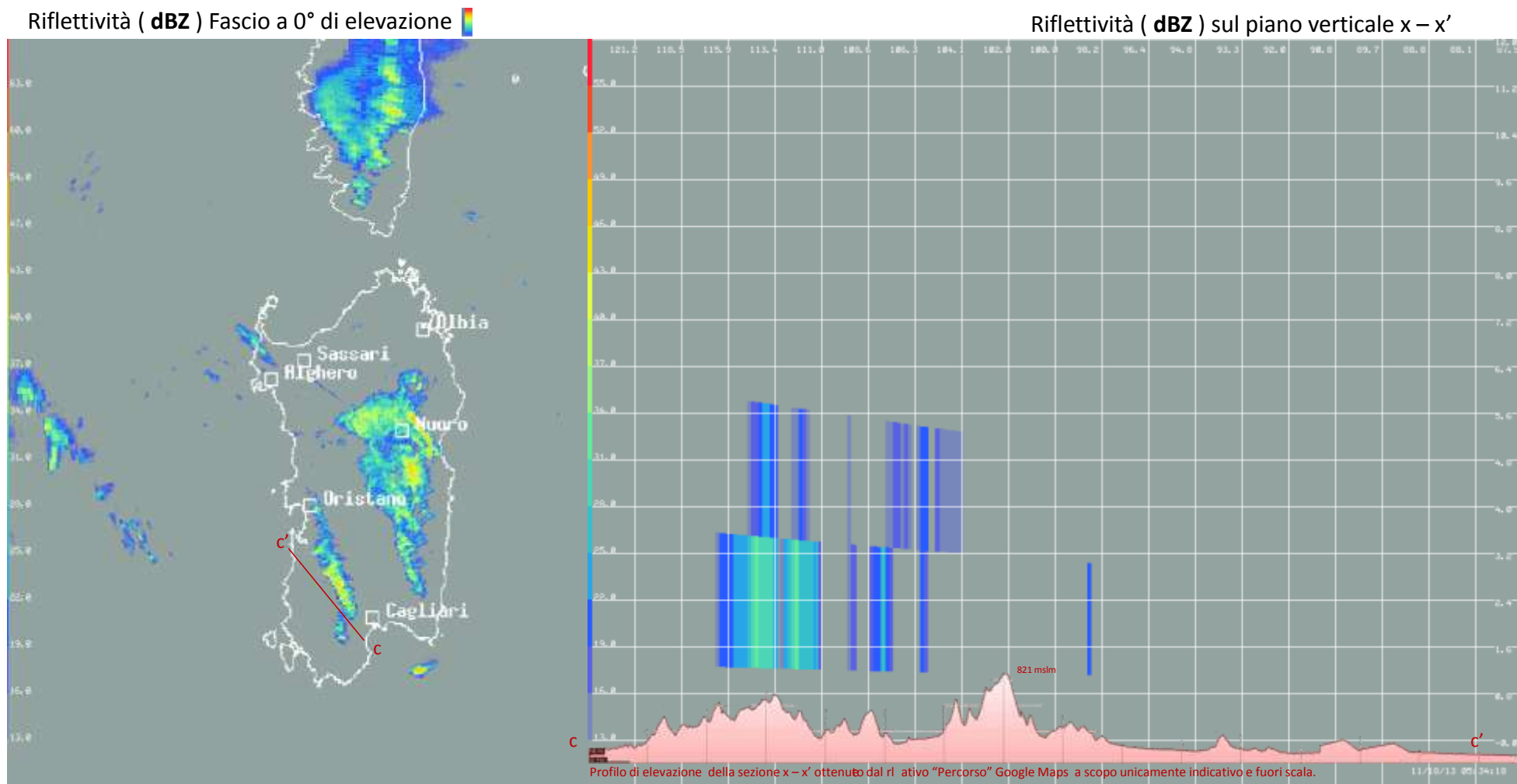
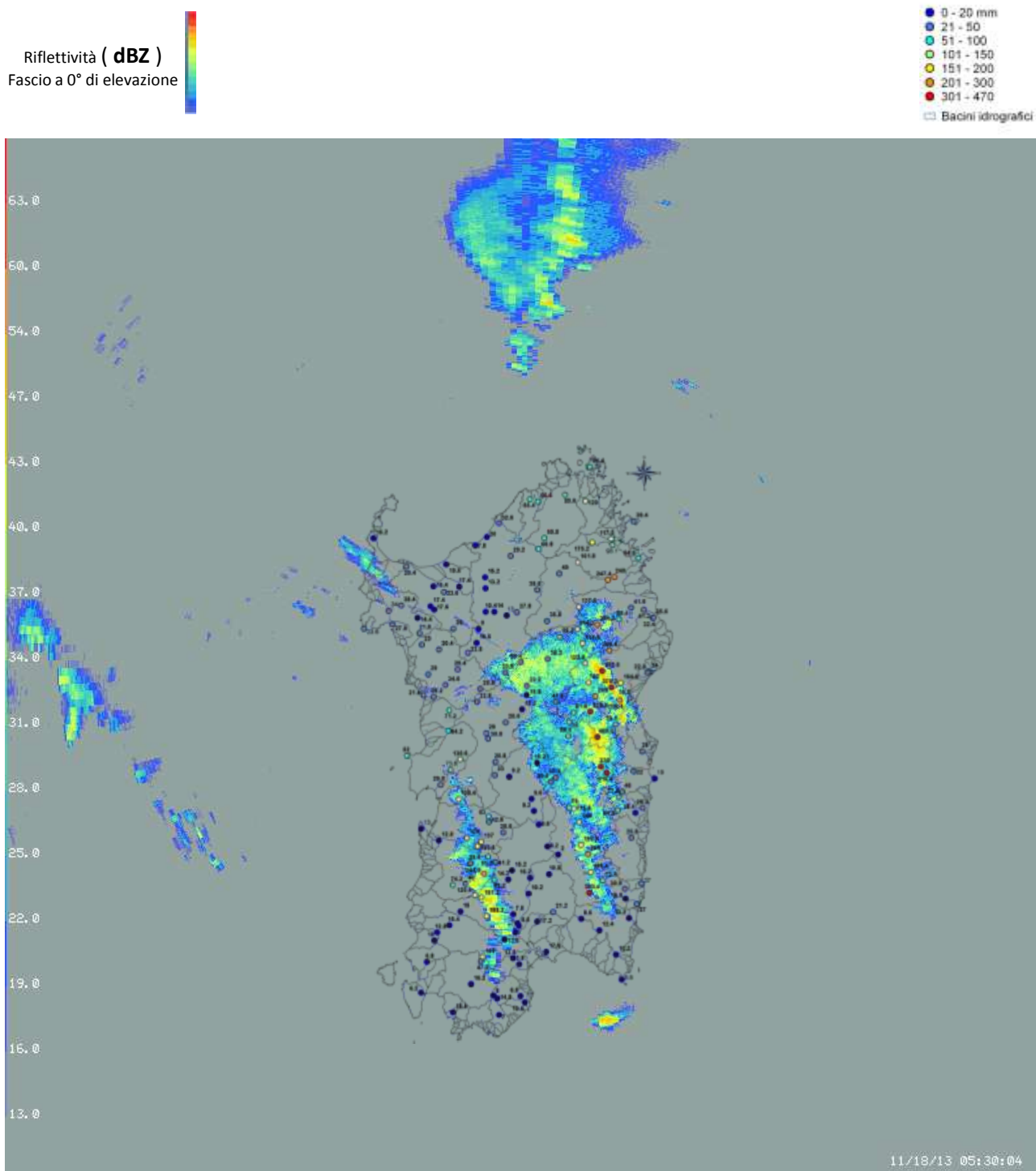


Figura 3.2.13



La prima immagine MSG (figura 3.2.14) disponibile nello spettro del visibile a 1 km di risoluzione è quella delle ore 0600UTC. Benché la luce sia ancora poca e la maggior parte dell'immagine sia scura, s'intravedono sul Campidano le sommità di due nubi cumuliformi che risaltano rispetto al resto di nuvolosità stratiforme. Nell'immagine delle ore 0700UTC (figura 3.2.15) oltre ai cumulonembi del Campidano si osservano altre nubi, di origine orografica, con elevati riflettanza e spessore sul versante orientale del Gennargentu.

Figura 3.2.14

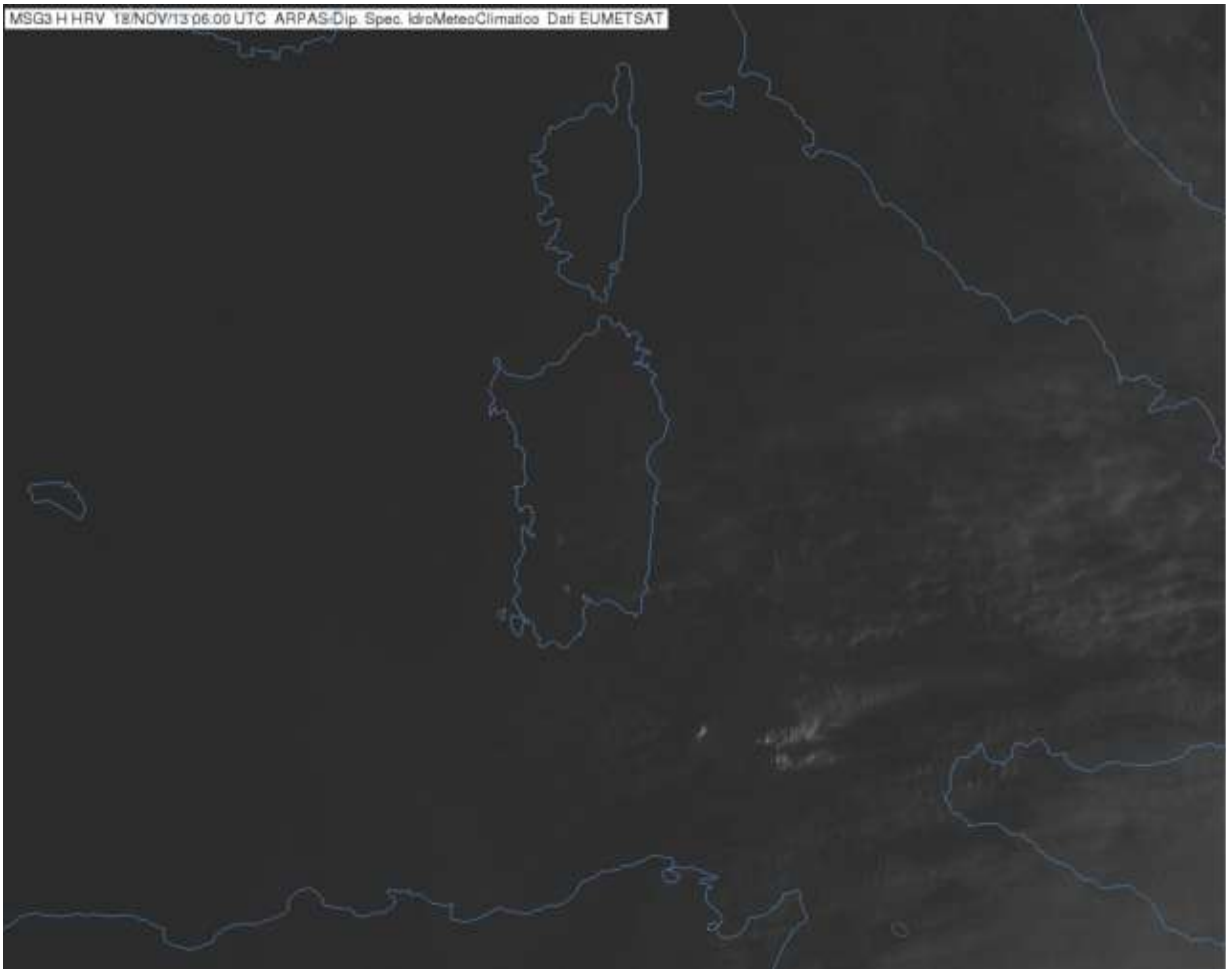
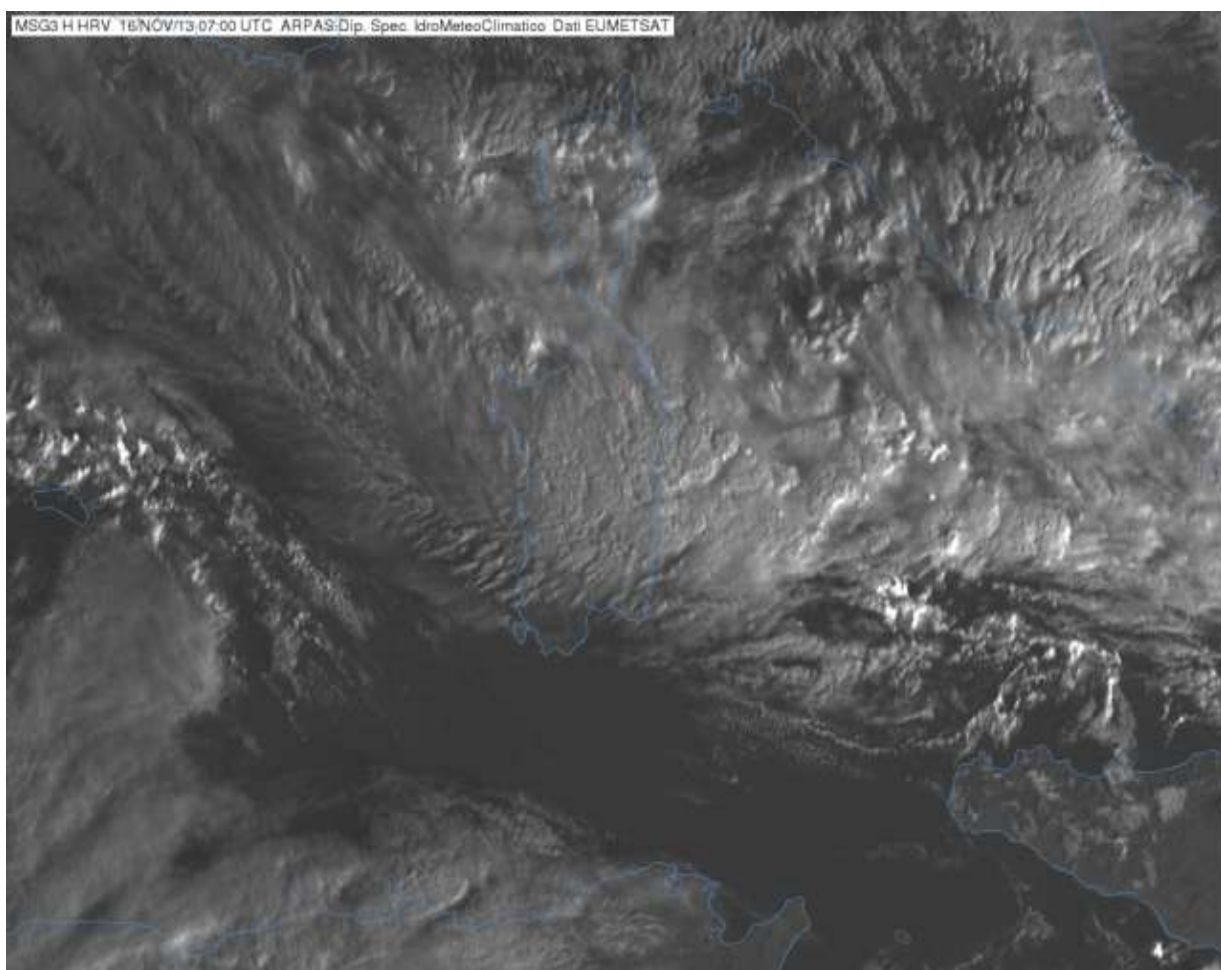
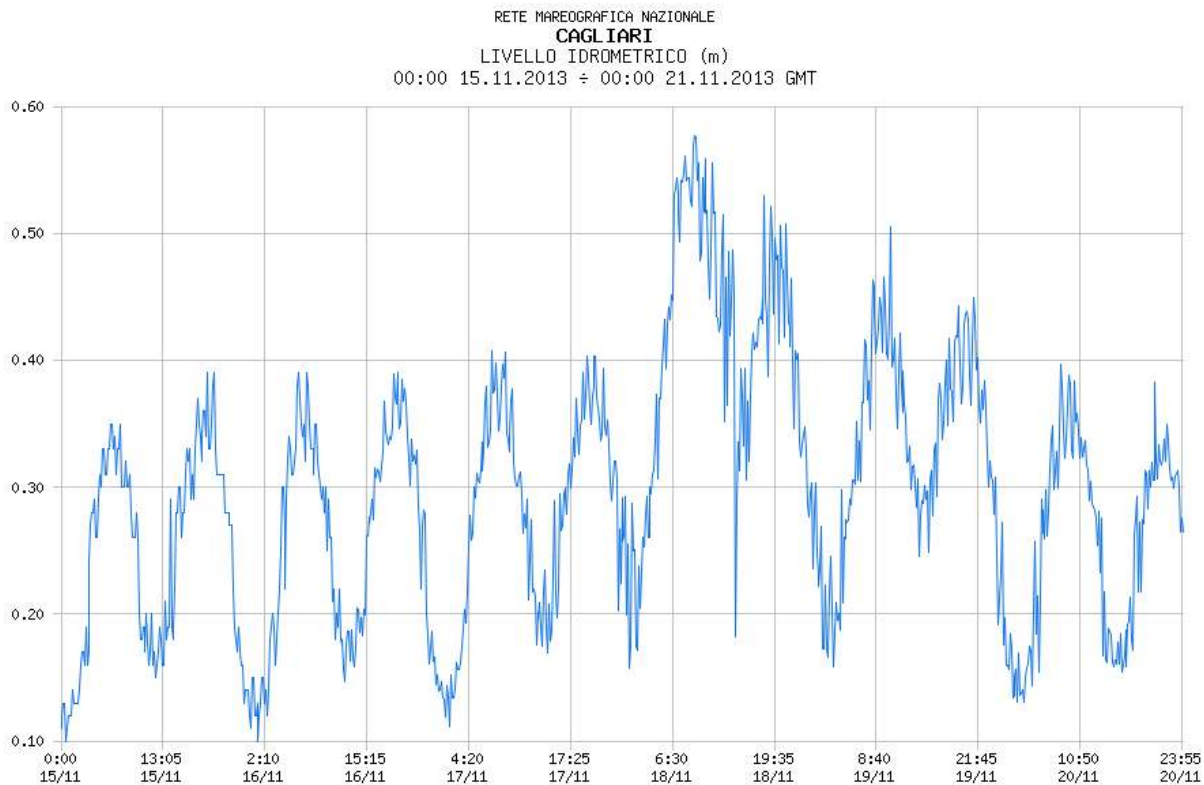


Figura 3.2.15



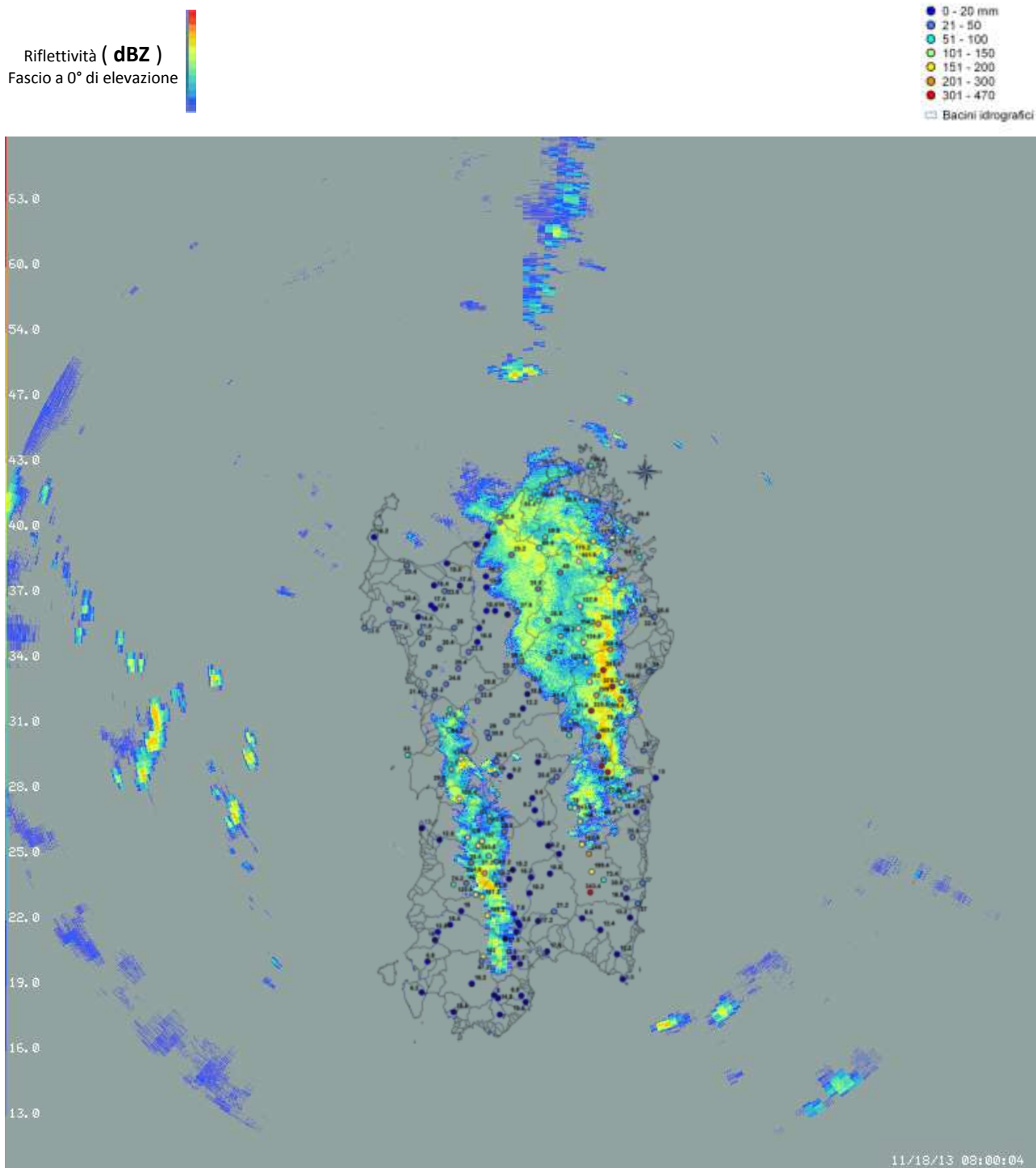
Insieme ai forti venti provenienti da Sud-Est si presenta un mare molto agitato, la boa della rete Ondametrica Nazionale situata a Ovest di Capo Carbonara registra onde di altezza significativa sino a 4 metri e dalla Rete Mareografica Nazionale (figura 3.2.16) si evince che dalle 0630UTC il livello del mare innanzi a Cagliari cresce repentinamente di circa 15 cm, oltre all'effetto di marea, restando elevato per il resto della giornata; a tali condizioni meteo marine corrispondono mareggiate sulle coste esposte e la spiaggia cittadina del capoluogo (Poetto) risulta completamente ricoperta dall'acqua.

Figura 3.2.16



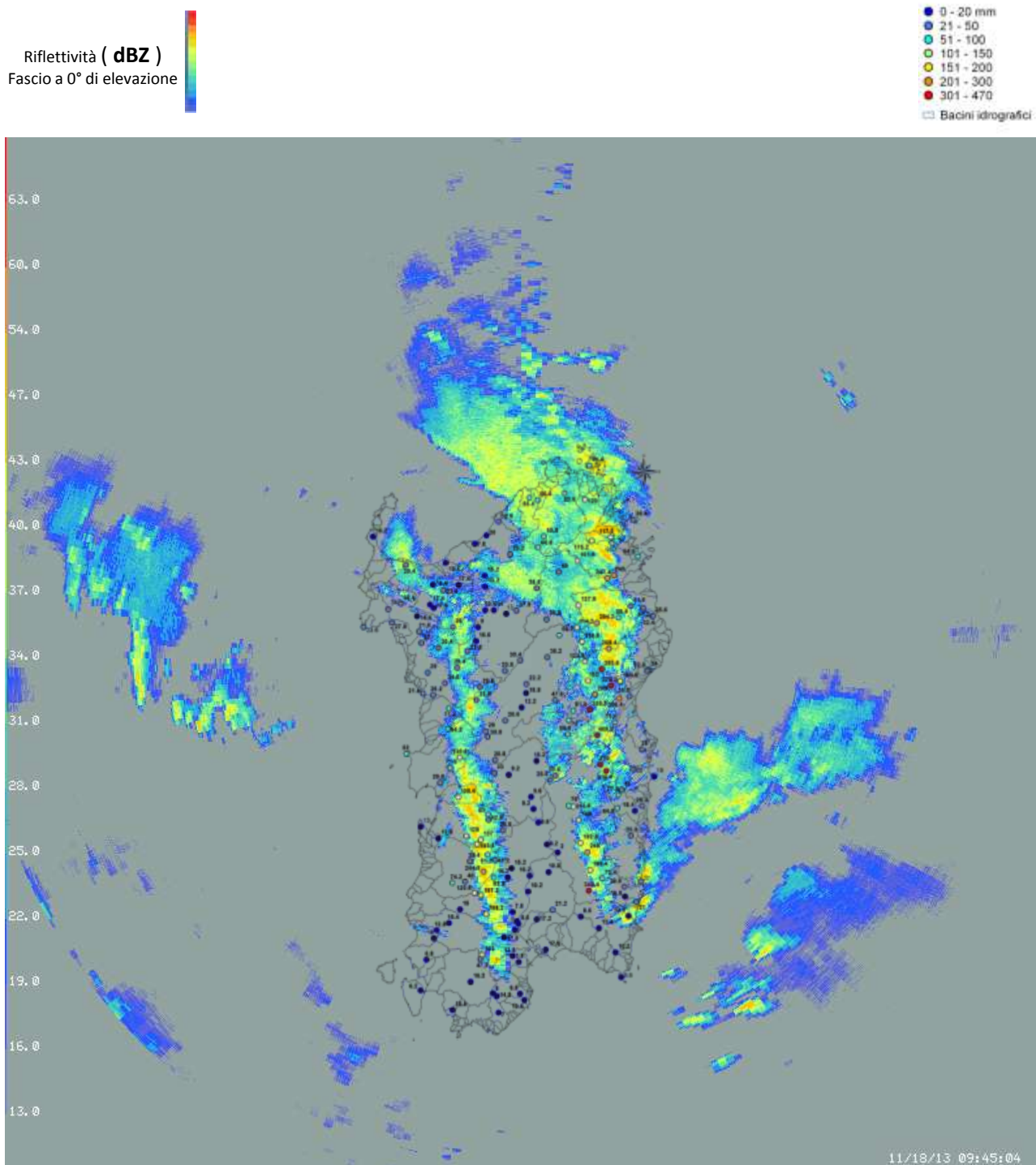
Le scansioni radar (figura 3.2.17) e le immagini MSG successive mostrano che il sistema di celle temporalesche occidentale va a distendersi tra il Sulcis e la catena del Marghine; si ha una momentanea interruzione dei fenomeni sul Sarrabus-Gerrei tra le 0730UTC e le 0800UTC del 18/11, ma allo stesso tempo le nubi con alta riflettanza sul versante orientale del Gennargentu si propagano anche a latitudini maggiori e si sviluppano temporali prima sulla Baronia e poco dopo sulla Gallura orientale. Alle ore 0930UTC un altro sistema convettivo si forma tra Capo Carbonara e il Gennargentu.

Figura 3.2.17



Tra le 0800UTC e le 1330UTC del 18/11 sono presenti sulla Sardegna due sistemi convettivi alla mesoscala (MCS) ben definiti su entrambi i versanti dell'Isola, il primo si estende dal Campidano alle montagne del Marghine, l'altro dai rilievi del Sarrabus sino alle Baronie, e ambedue presentano un marcato carattere stazionario con processi precipitativi molto efficienti (figura 3.2.18). Solo nella tarda mattina il complesso occidentale trasla un poco, molto lentamente, verso Nord-Est.

Figura 3.2.18



L'elaborazione MSG delle ore 1200UTC dell'infrarosso termico sovrapposta con le isolinee di temperatura al livello di 850 hPa elaborate dal modello a scala globale del ECMWF mostra che sulla Sardegna fluisce ancora aria calda (figura 3.2.19). La temperatura della sommità delle nubi risulta compresa tra -60 °C e -70 °C sul Campidano e sulla Sardegna sud-orientale, tra -45 °C e -50 °C sulla Gallura (figura 3.2.20). Dall'immagine MSG a colori delle ore 1200UTC del giorno 18 (figura 3.2.21), ottenuta dalla composizione RGB dei canali *hrv* (del visibile ad 1km di risoluzione, red), ancora *hrv* (del visibile ad 1km di risoluzione, green) e del canale infrarosso 12,0 μm (blue), si osservano sui due MCS le sommità fredde dei cumulonembi (di colore bianco) e contemporaneamente intorno ad esse nubi più basse e quindi più calde (di colore giallo), alcune delle quali sono dei potenziali cumulonembi nella loro fase iniziale di sviluppo; altri sistemi convettivi si osservano sul Canale e sul Mare di Sardegna, invece su gran parte del Tirreno e sull'Italia centrale prevalgono nubi cirriformi alte e poco consistenti (di colore blu) sotto le quali s'intravedono

talvolta nubi basse (di colore giallo).

Nell'allegato " composizione sezione dd' ", del quale si riporta un esempio riferito alle ore 1015UTC in figura 3.2.22 ed un altro riferito alle ore 1400UTC in figura 3.2.27, sono rappresentate, per la fascia oraria 0600UTC – 1545UTC del 18/11, la riflettività (dBZ) corrispondente al fascio radar a 0° di elevazione, la sezione verticale del campo di riflettività (dBZ) in corrispondenza del transetto dd', il profilo orografico di riferimento ricavato da *Google maps*. Dall'analisi della sequenza di misure si riconosce come il sistema convettivo si sviluppi secondo la direttrice Sud-Est e si vada ad estendere sul Medio Campidano fino alla tropopausa; i valori di riflettività corrispondono a intensa precipitazione, pure compatibile con grandinate¹⁵ per brevi intervalli, anche in ampie zone non coperte da pluviometri e pertanto non registrate pienamente.

In maniera analoga sono realizzate le composizioni allegate *composizione sezione ff'* e *composizione sezione ee'* nelle quali si riportano la riflettività (dBZ) corrispondente al fascio radar a 0° di elevazione, la sezione verticale del campo di riflettività (dBZ) in corrispondenza dei transetti rispettivamente ff' (per la fascia oraria 0500UTC – 1815UTC) ed ee' (per la fascia oraria 13:30UTC – 19:30UTC), gli omologhi profili orografici di riferimento ricavati da *Google maps*; in figura 3.2.23, per esempio, è riportata l'immagine delle ore 1015UTC del transetto ff' e nella figura 3.2.24 quella delle ore 1330UTC del transetto ee'. Analizzando le sequenze si possono notare l'estensione verticale dei fenomeni e le precipitazioni a carattere convettivo sulla Sardegna orientale e sulla Gallura, con valori di riflettività che corrispondono, a tratti, a intensa precipitazione anche in zone non coperte da pluviometri, ovvero non misurate del tutto, sia ad Ovest di Olbia sia in diverse aree della Sardegna centro-orientale.

In particolare per l'area a Sud-Ovest di Olbia, particolarmente sguarnita di pluviometri, compresa tra il capoluogo e le stazioni di Putzolu, Monti, Sa Pianedda e Padru, l'analisi dei campi radar porta a concludere che la riflettività misurata corrisponde a precipitazioni molto copiose con cumulata giornaliera almeno pari a quella registrata a Putzolu (175,2 mm/d).

¹⁵ Una registrazione di grandine sul Medio-Campidano è riportata dal quotidiano Unione Sarda, 19/11/2013 pagina 4.



Figura 3.2.19

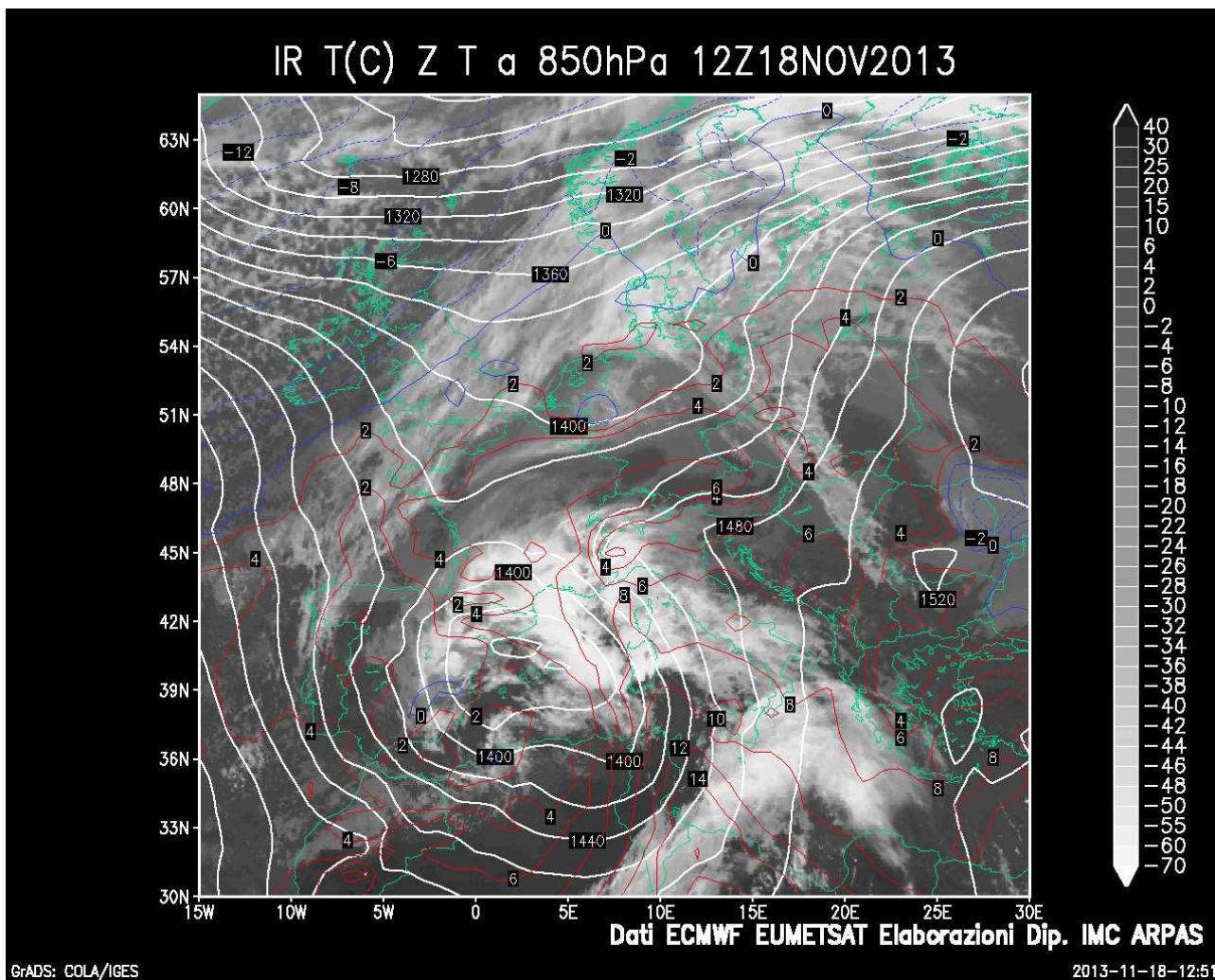


Figura 3.2.20

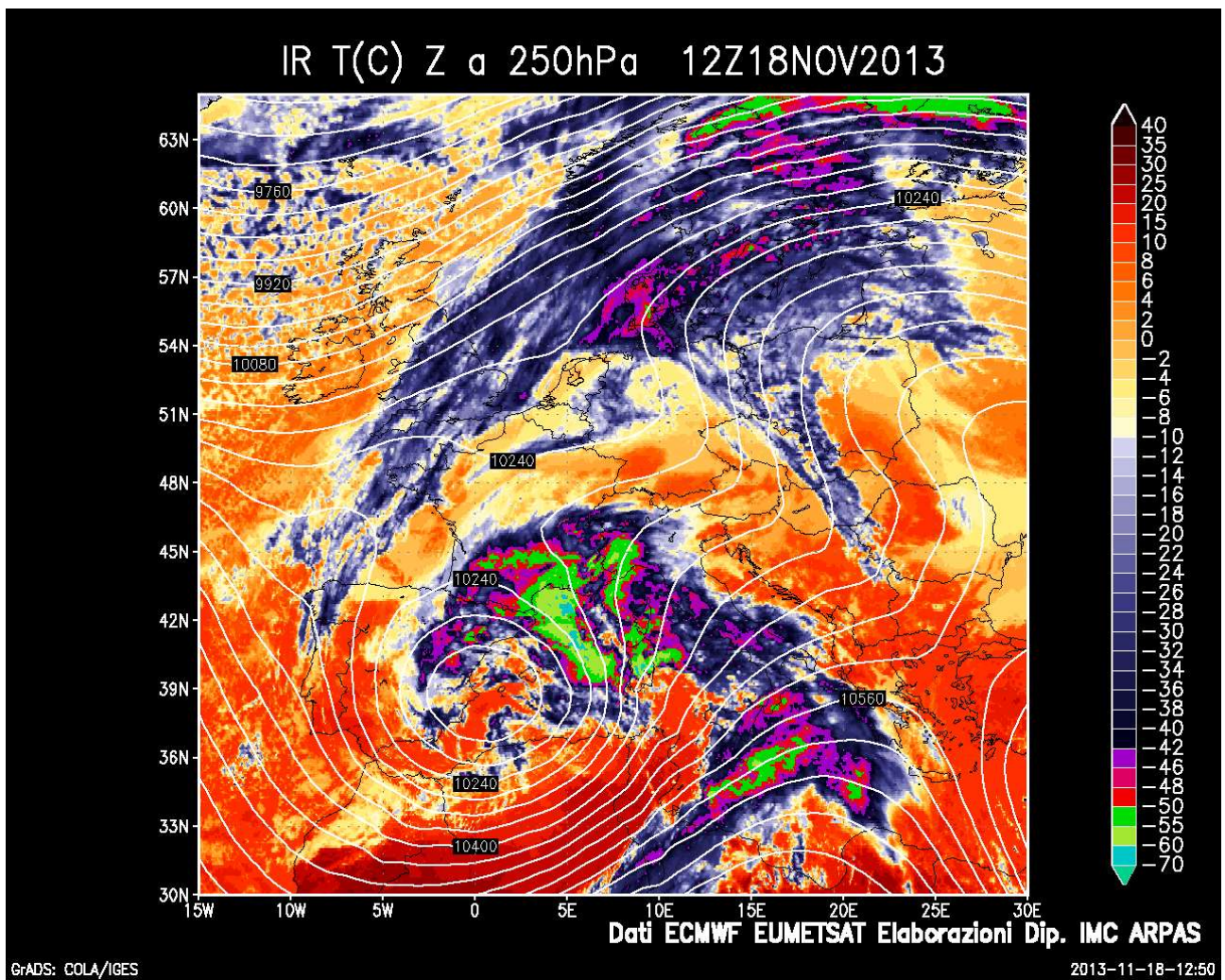


Figura 3.2.21

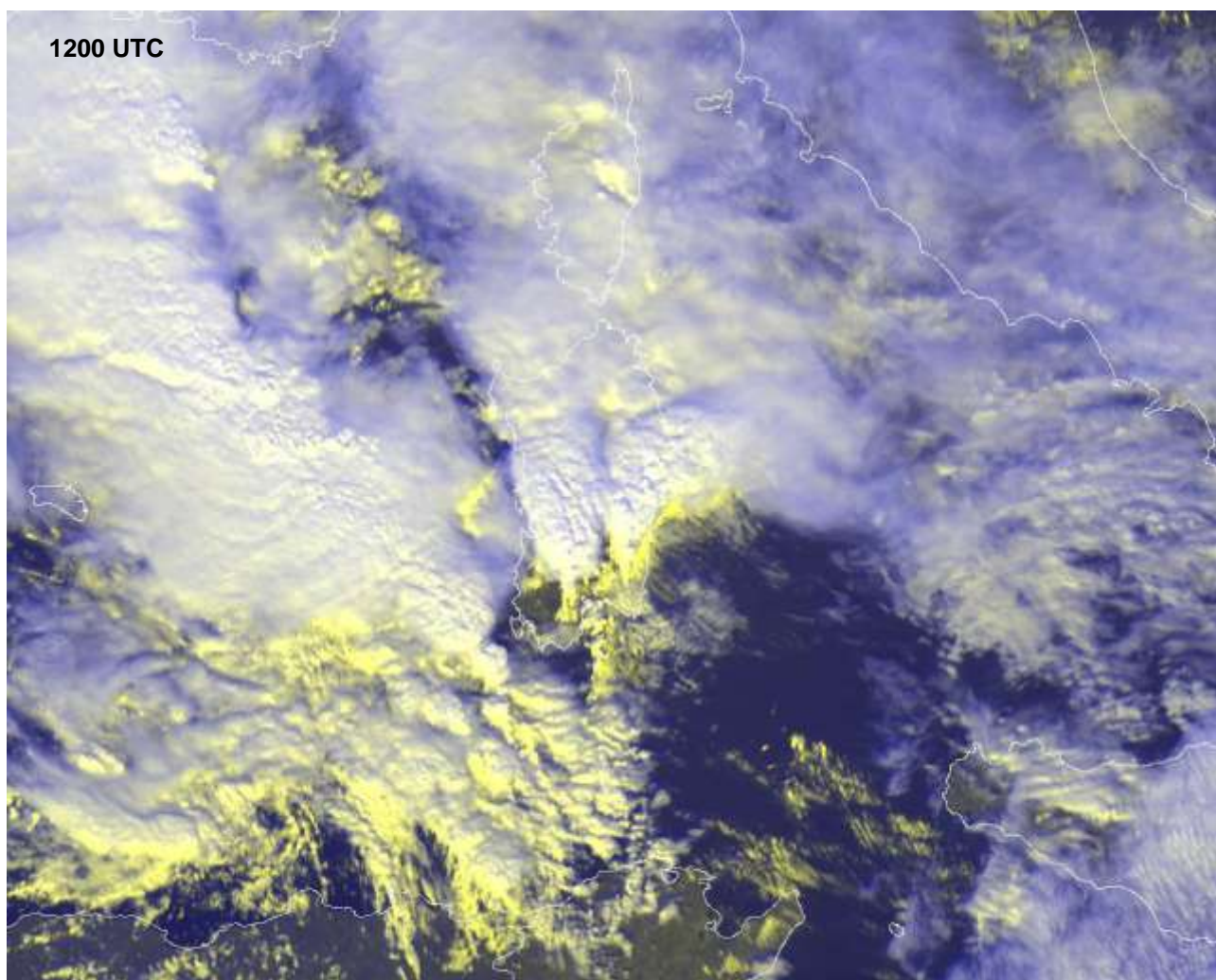


Figura 3.2.22

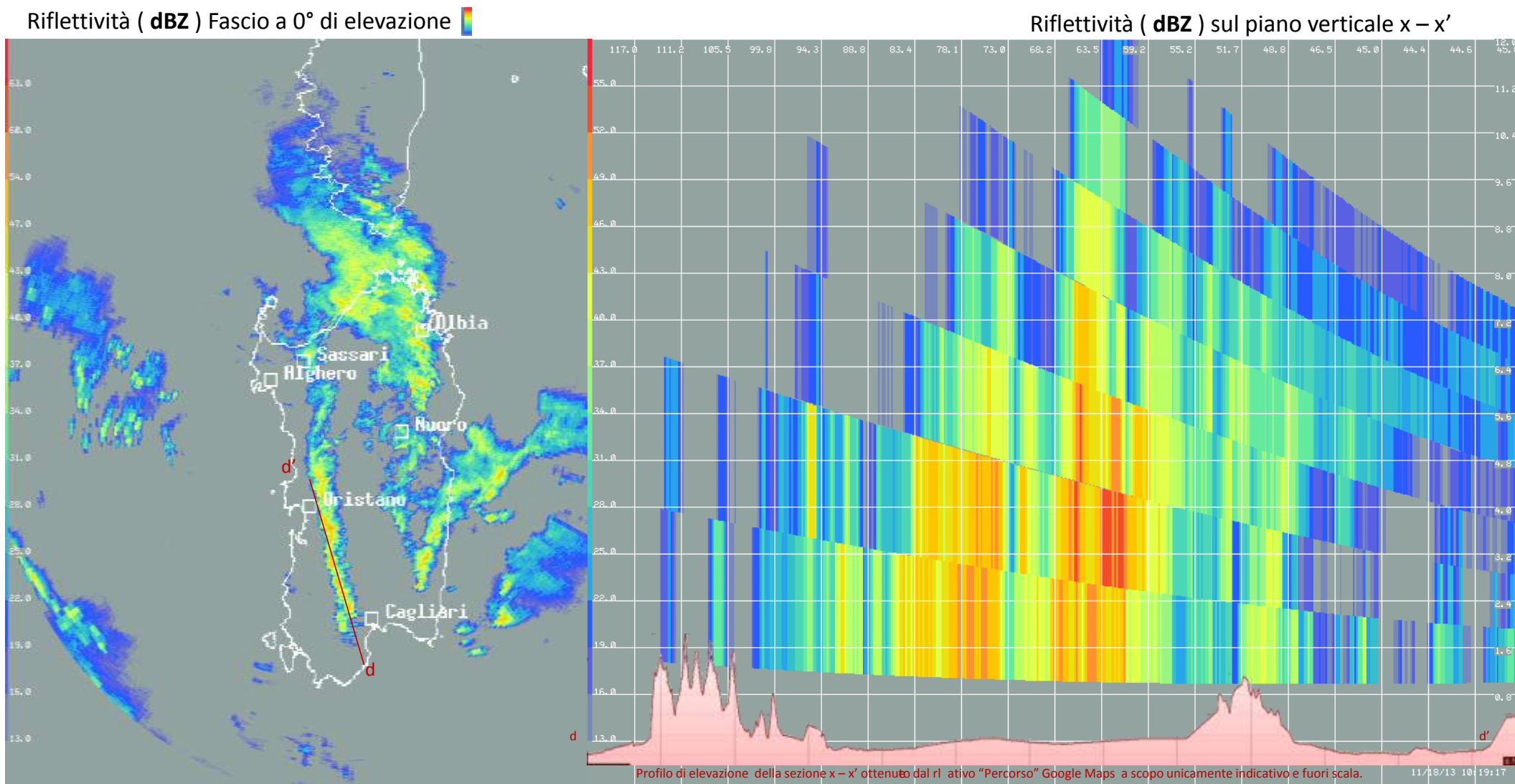


Figura 3.2.23

Riflettività (dBZ) Fascio a 0° di elevazione

Riflettività (dBZ) sul piano verticale x – x'

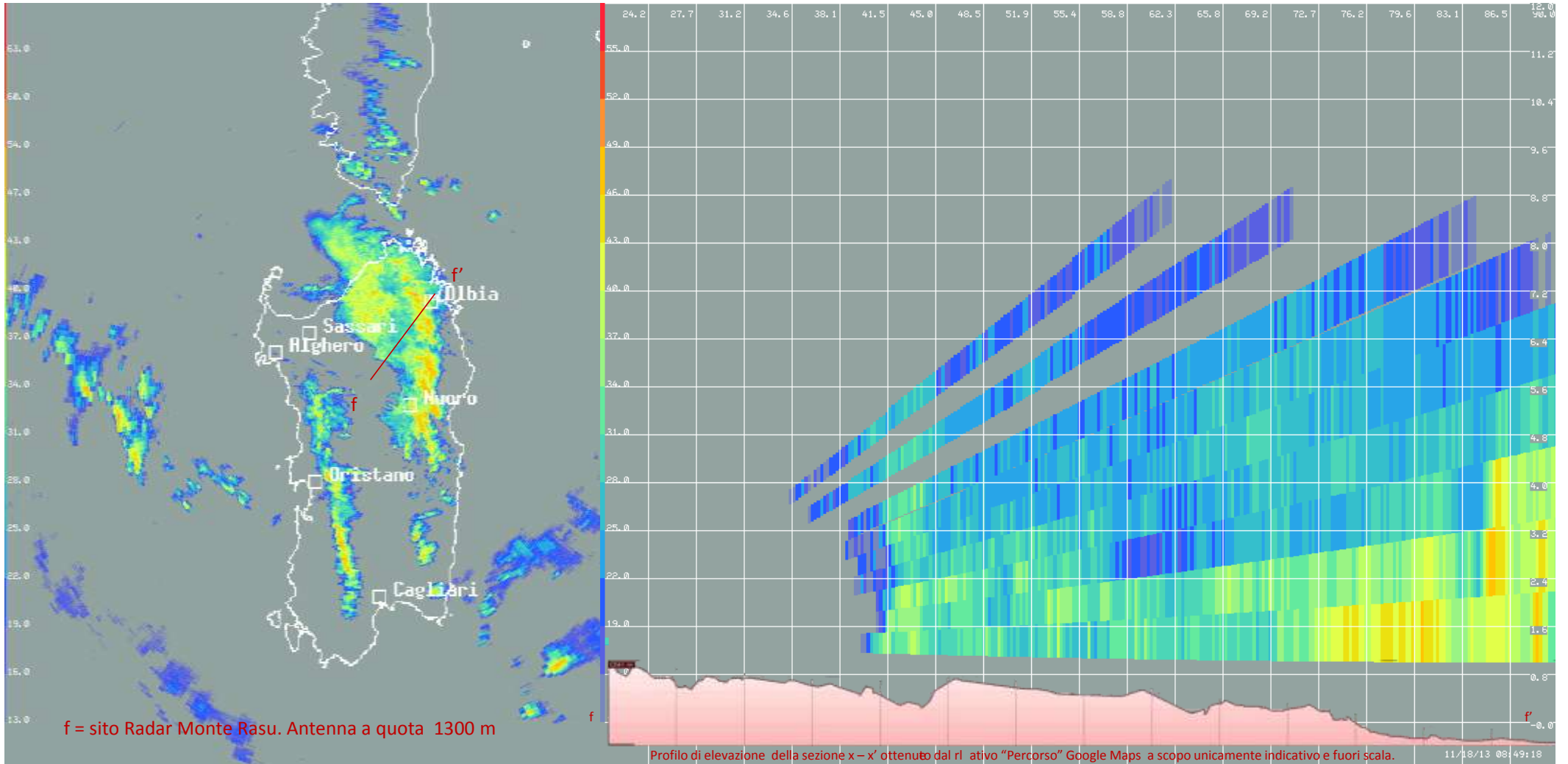
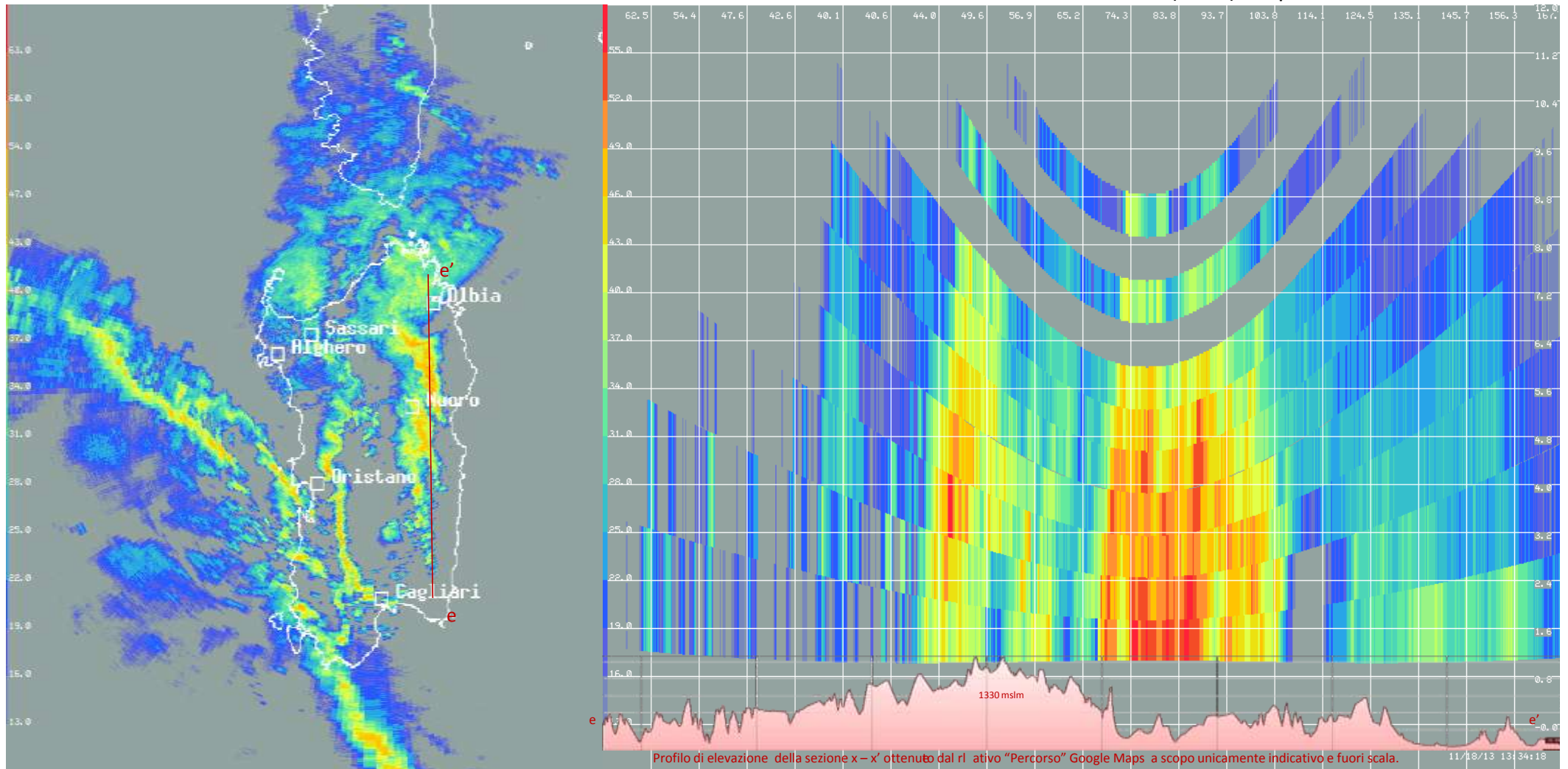


Figura 3.2.24

Riflettività (dBZ) Fascio a 0° di elevazione

Riflettività (dBZ) sul piano verticale x – x'



Tra le 1245UTC e le 1800UTC del 18/11 il progressivo passaggio sull'Isola del fronte freddo, da Sud-Ovest a Nord-Est, vede una rapida risposta dinamica del sistema convettivo con l'esaltazione dei fenomeni temporaleschi, subito seguita dalla brusca interruzione degli stessi.

Le immagini MSG del visibile a 1km di risoluzione mostrano che alle ore 1300UTC (figura 3.2.25) è presente un sistema convettivo a sud del Sulcis e le celle sviluppatesi sul Canale di Sardegna sono spinte dal vento in quota verso il meridione dell'Isola, e che alle ore 1500UTC (figura 3.2.26) sul Canale di Sardegna, ad Ovest del sistema, la convezione risulta inibita per l'arrivo di aria stabile.

Nelle figure 3.2.27-28 s'illustra il passaggio del fronte sulla Sardegna sud-occidentale tramite alcune scansioni radar; invece nelle figure 3.2.30-34 sono riportati gli andamenti dell'intensità del vento a dieci metri (istantanea misurata ogni dieci minuti) e della temperatura a due metri (istantanea misurata ogni ora) registrati in alcune stazioni meteorologiche (rispettivamente Domus de Maria, Iglesias, Nurallao, Atzara, Siniscola): in corrispondenza del passaggio della struttura sull'Isola si nota la sensibile e rapida diminuzione delle temperature al suolo e la raffica massima della giornata (rappresentata in ciascuna figura da un triangolo; l'intervallo di acquisizione è di un minuto, quindi in generale non coincide con il massimo dell'intensità del vento misurata ogni dieci minuti).

Figura 3.2.25

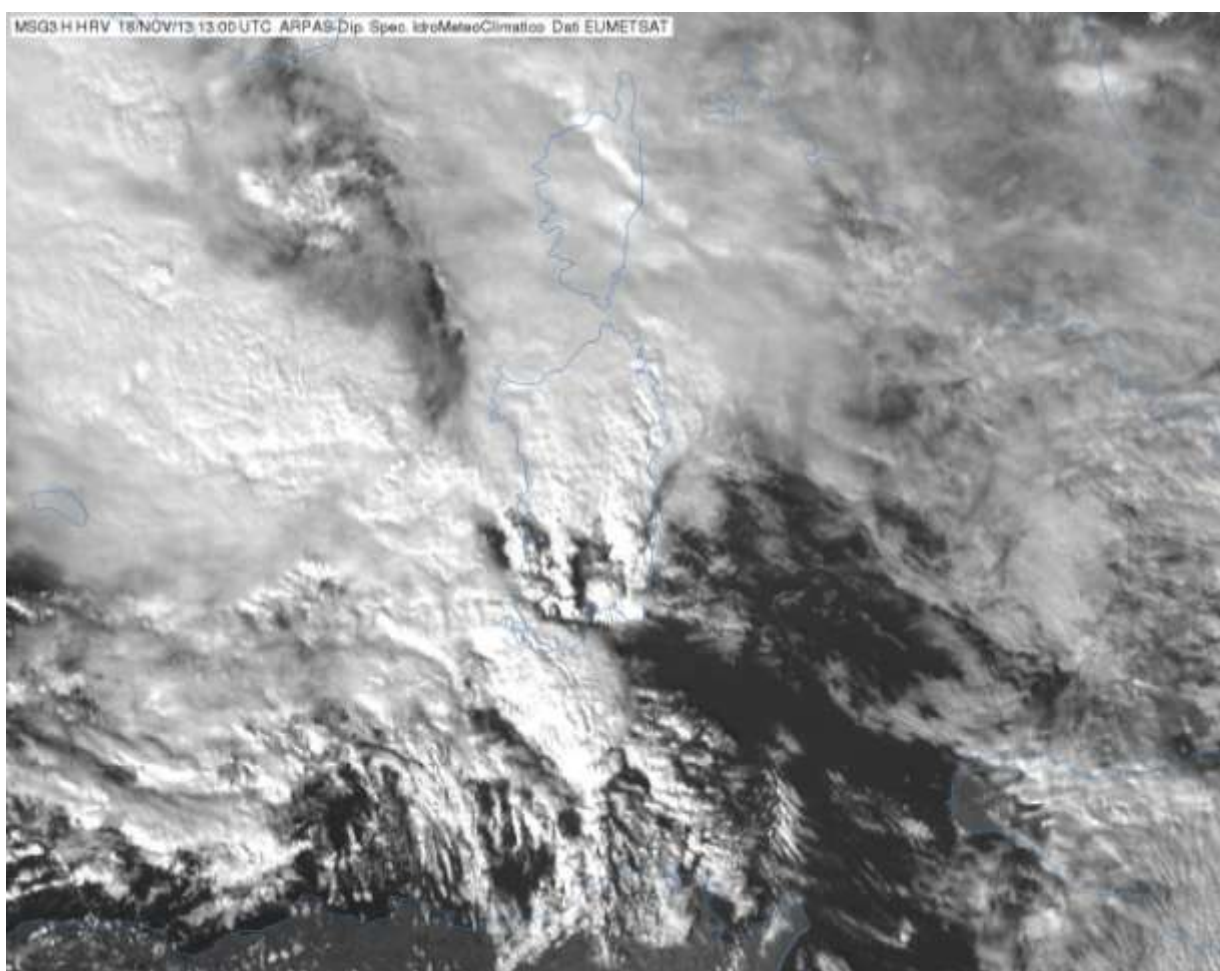


Figura 3.2.26

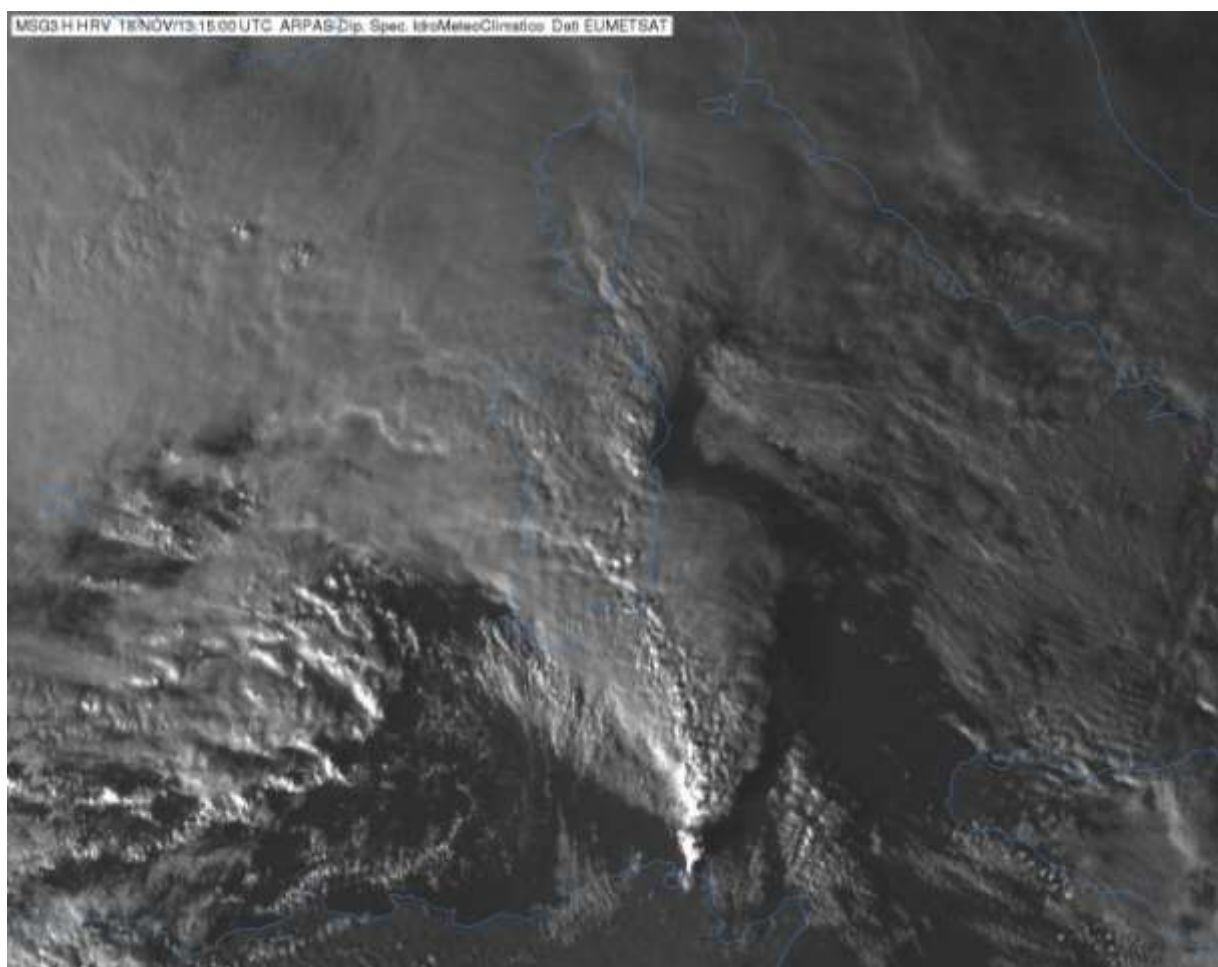


Figura 3.2.27

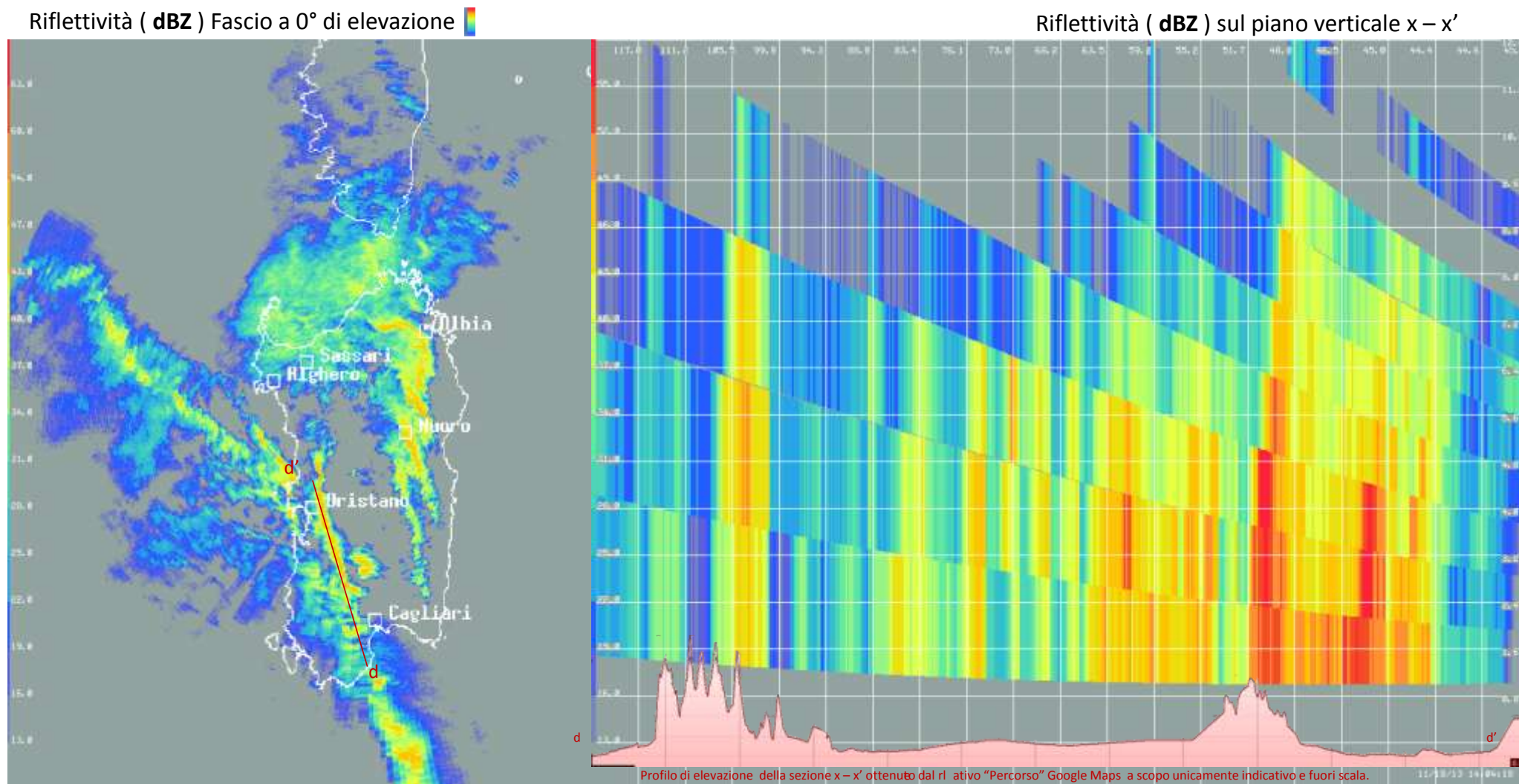


Figura 3.2.28

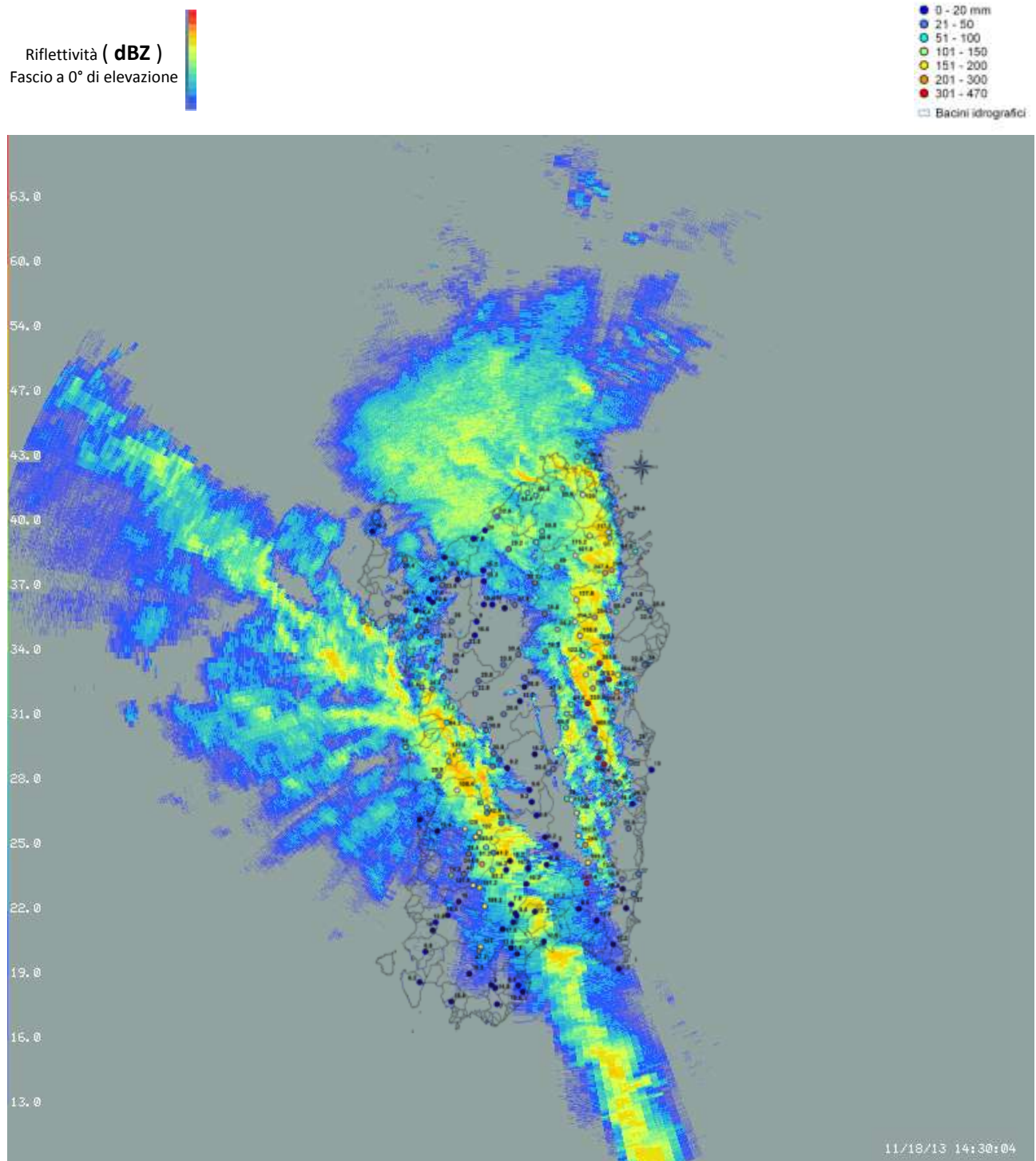


Figura 3.2.29

Riflettività (dBZ) Fascio a 0° di elevazione

Riflettività (dBZ) sul piano verticale x – x'

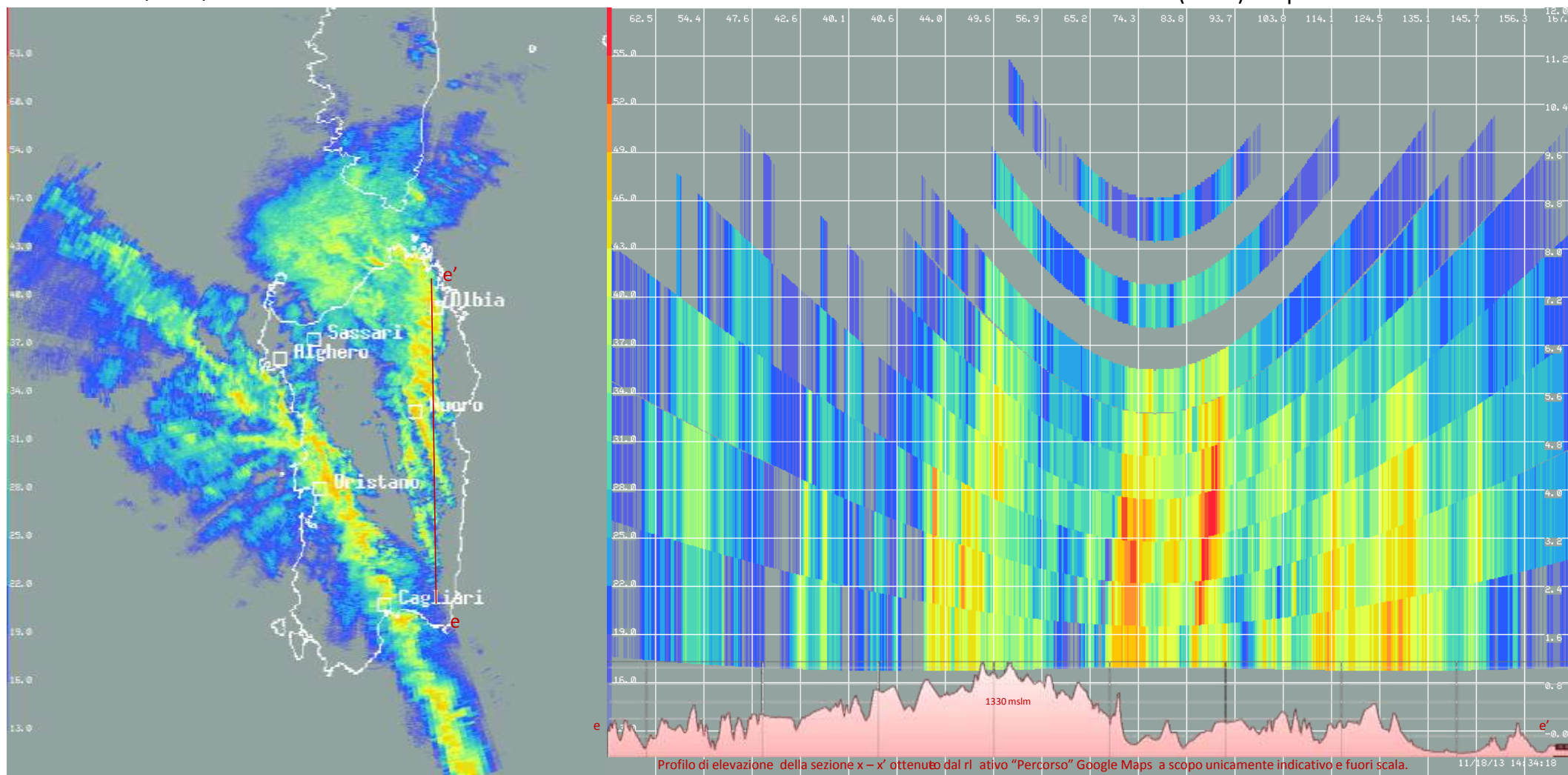


Figura 3.2.30

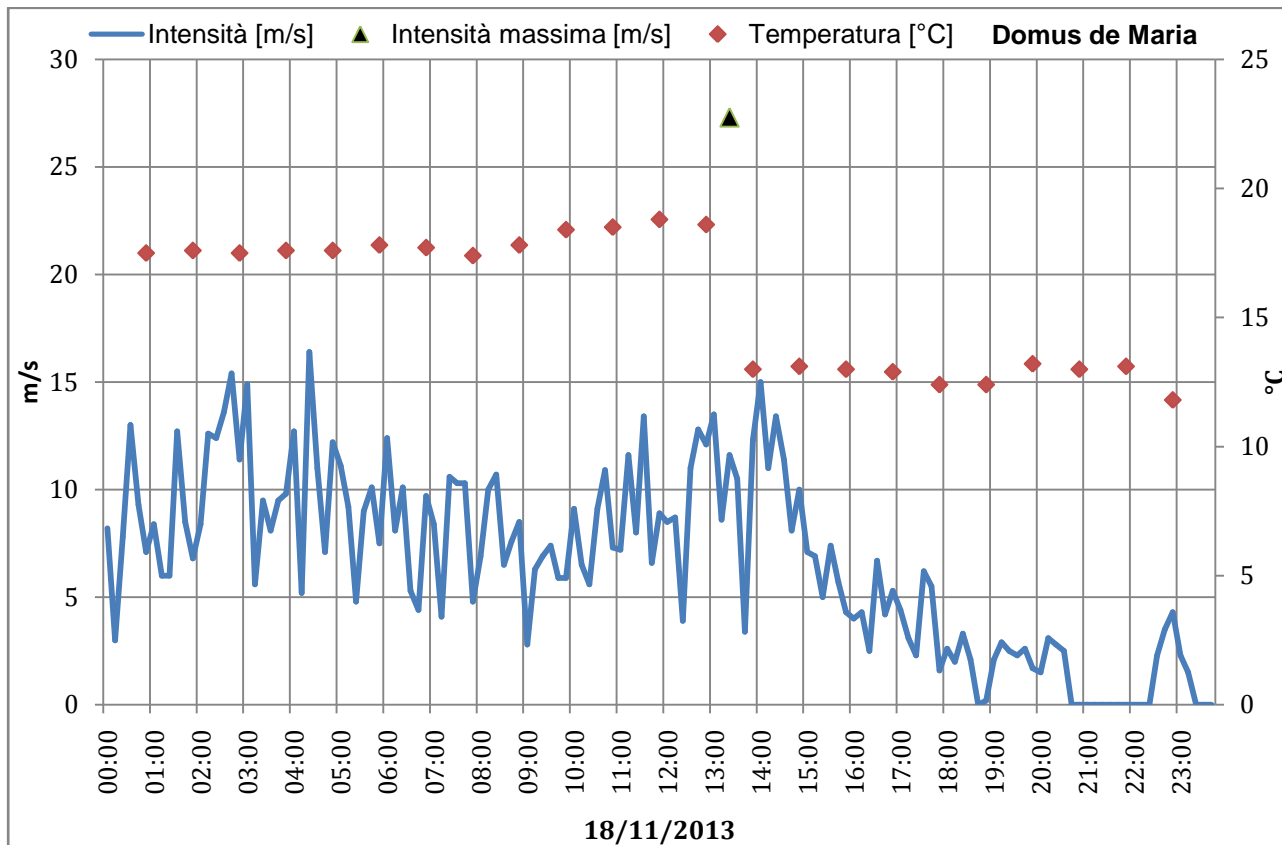


Figura 3.2.31

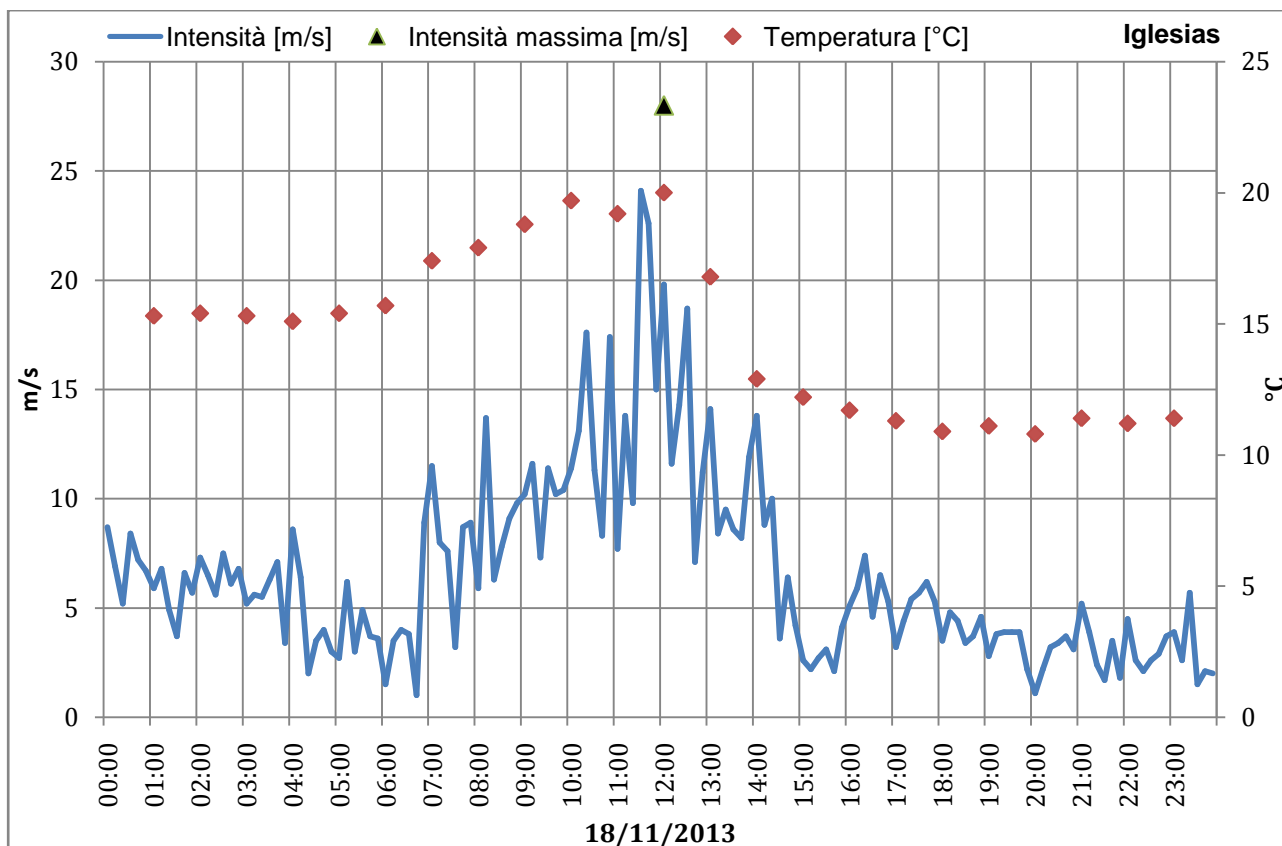


Figura 3.2.32

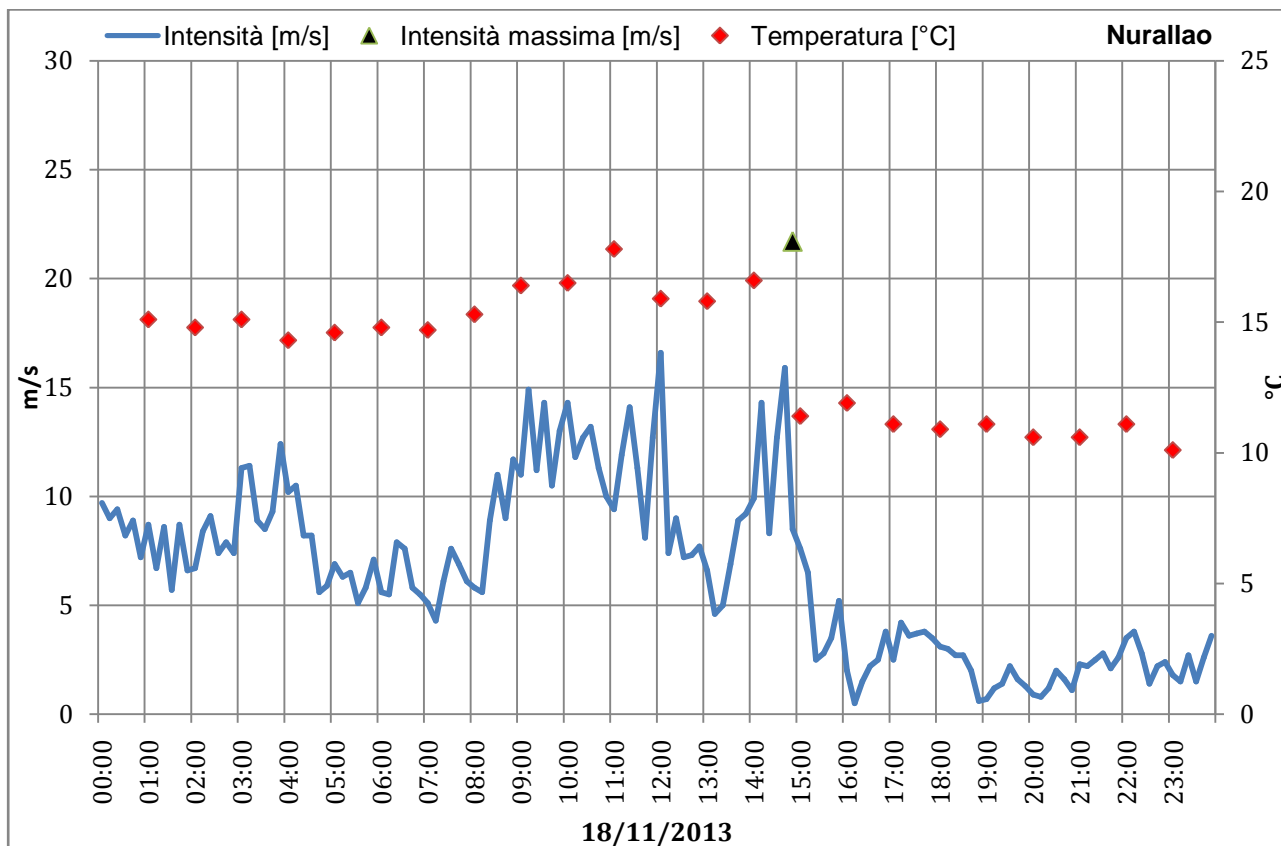


Figura 3.2.33

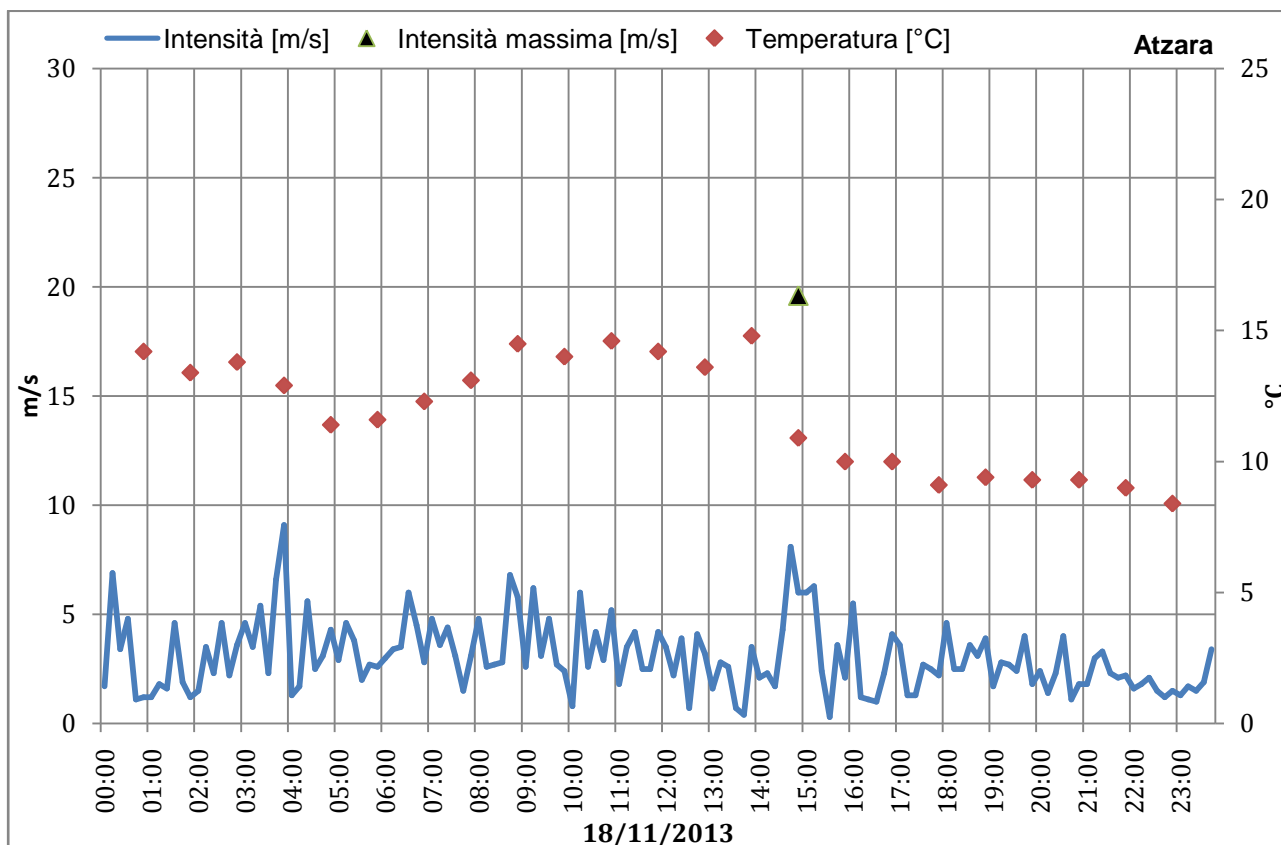
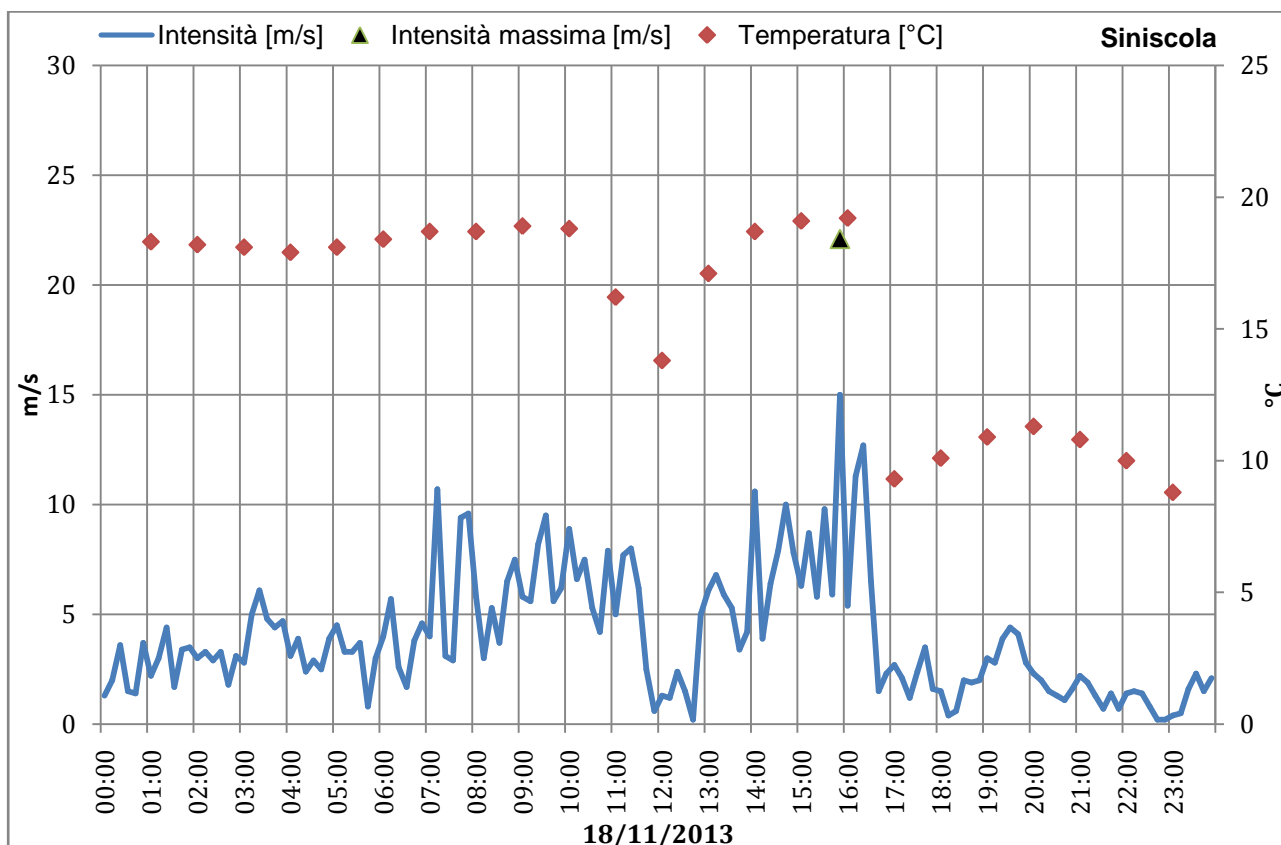


Figura 3.2.34



L'immagine MSG dell'infrarosso termico delle ore 1800UTC (figura 3.2.35) mostra che la maggior parte dell'Isola è sgombra da nubi mentre nuvole di una certa consistenza si osservano ancora sulla Gallura e qualche nube bassa è presente sull'oristanese; nell'elaborazione delle ore 21:00 (figura 3.2.26) si vede che i cumulonembi e le nubi più consistenti hanno lasciato la Sardegna, dove sono ora presenti solo nubi basse isolate.

La composizione dell'immagine MSG dell'infrarosso termico delle ore 0000UTC del giorno 19/11 insieme alle isolinee di temperatura a 850 hPa elaborate dal modello a scala globale del ECMWF (figura 3.2.37) mostra come la Sardegna sia ormai nel settore freddo del fronte. Si osservano delle nubi medio-basse tra il Sarrabus e la Trexenta e lungo la costa occidentale. Le mappe di riflettività radar (a titolo d'esempio la figura 3.2.38) evidenziano la presenza sulla Sardegna occidentale di locale attività convettiva non persistente e non rigenerante; si registra inoltre attività elettrica prevalentemente sul settore sud-occidentale (figura 3.2.39).

Figura 3.2.35

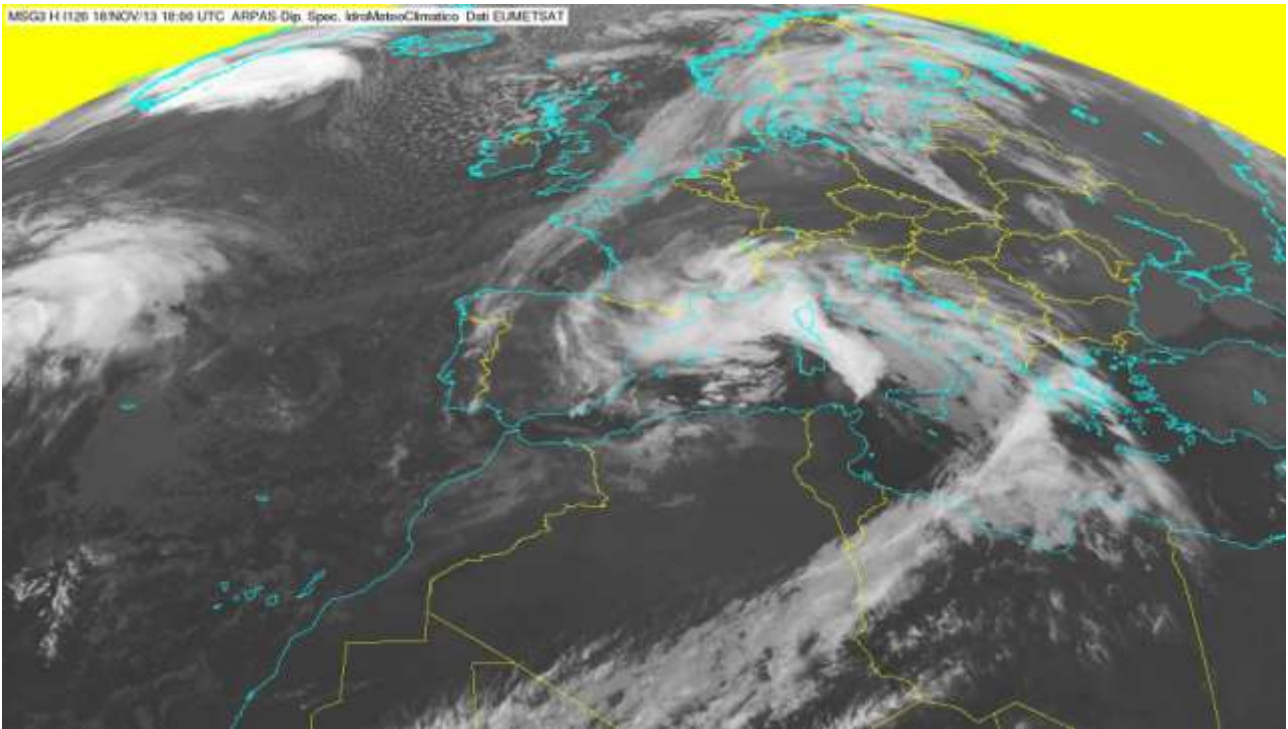


Figura 3.2.36

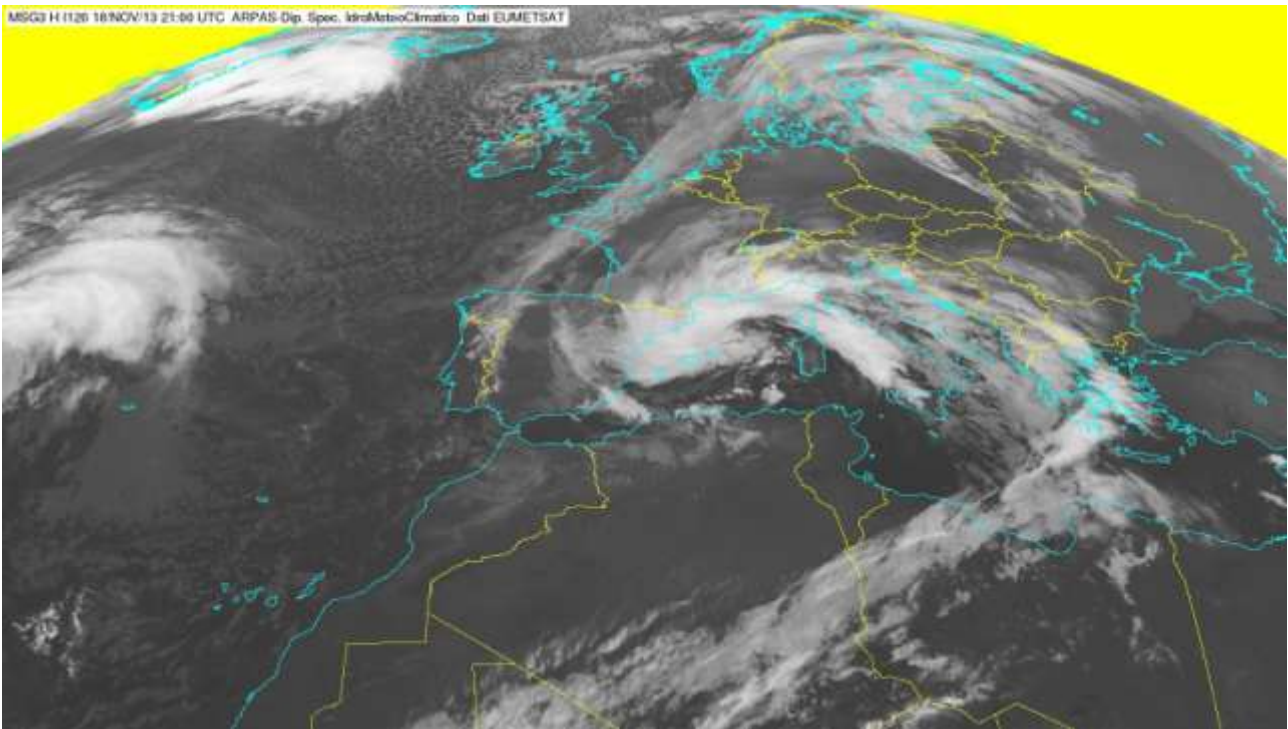


Figura 3.2.37

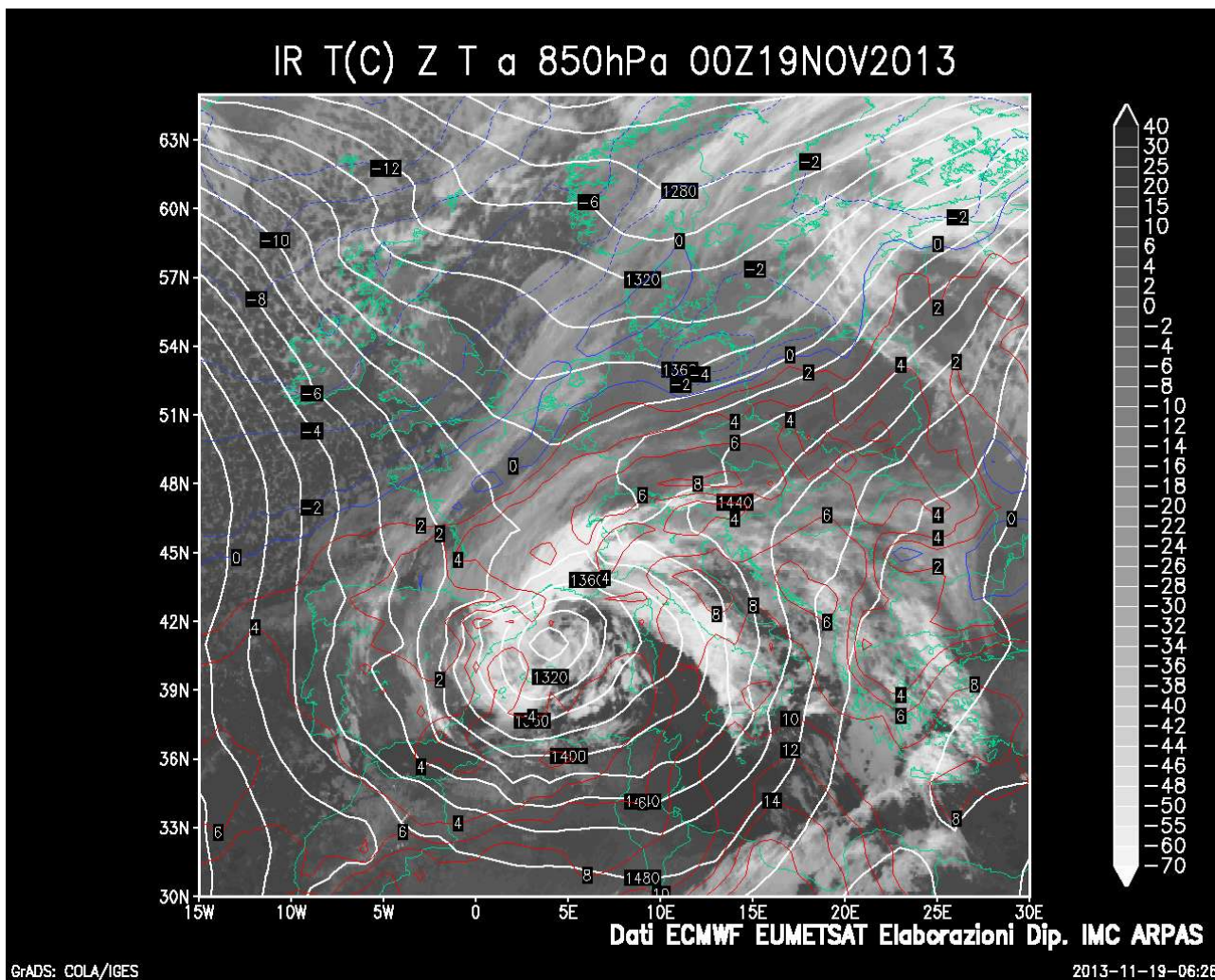


Figura 3.2.38

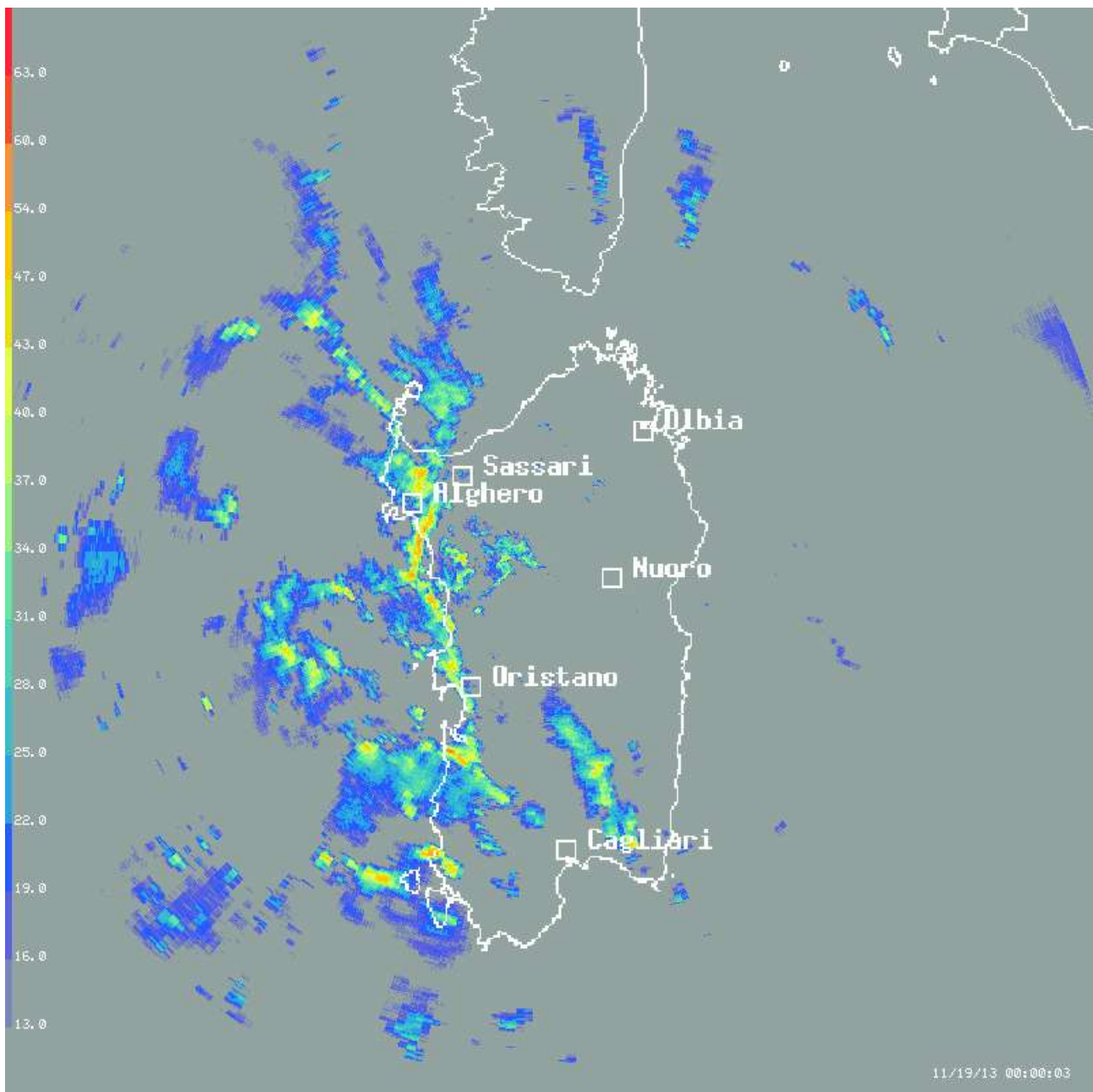
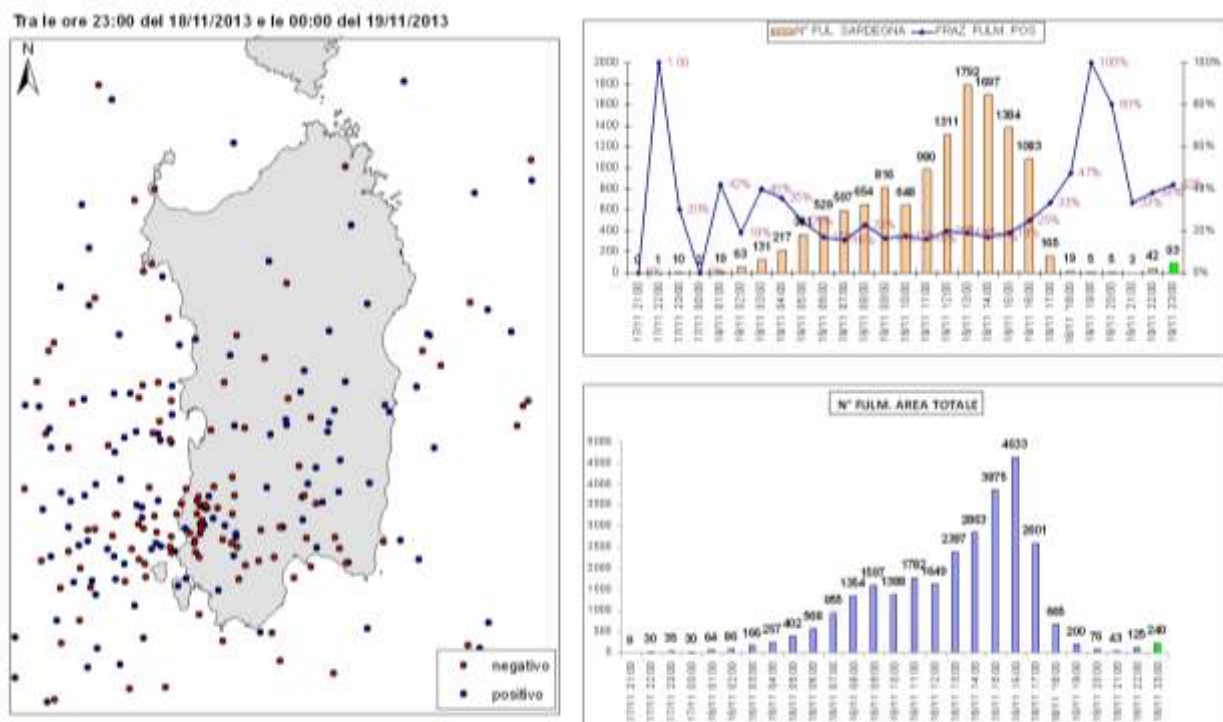


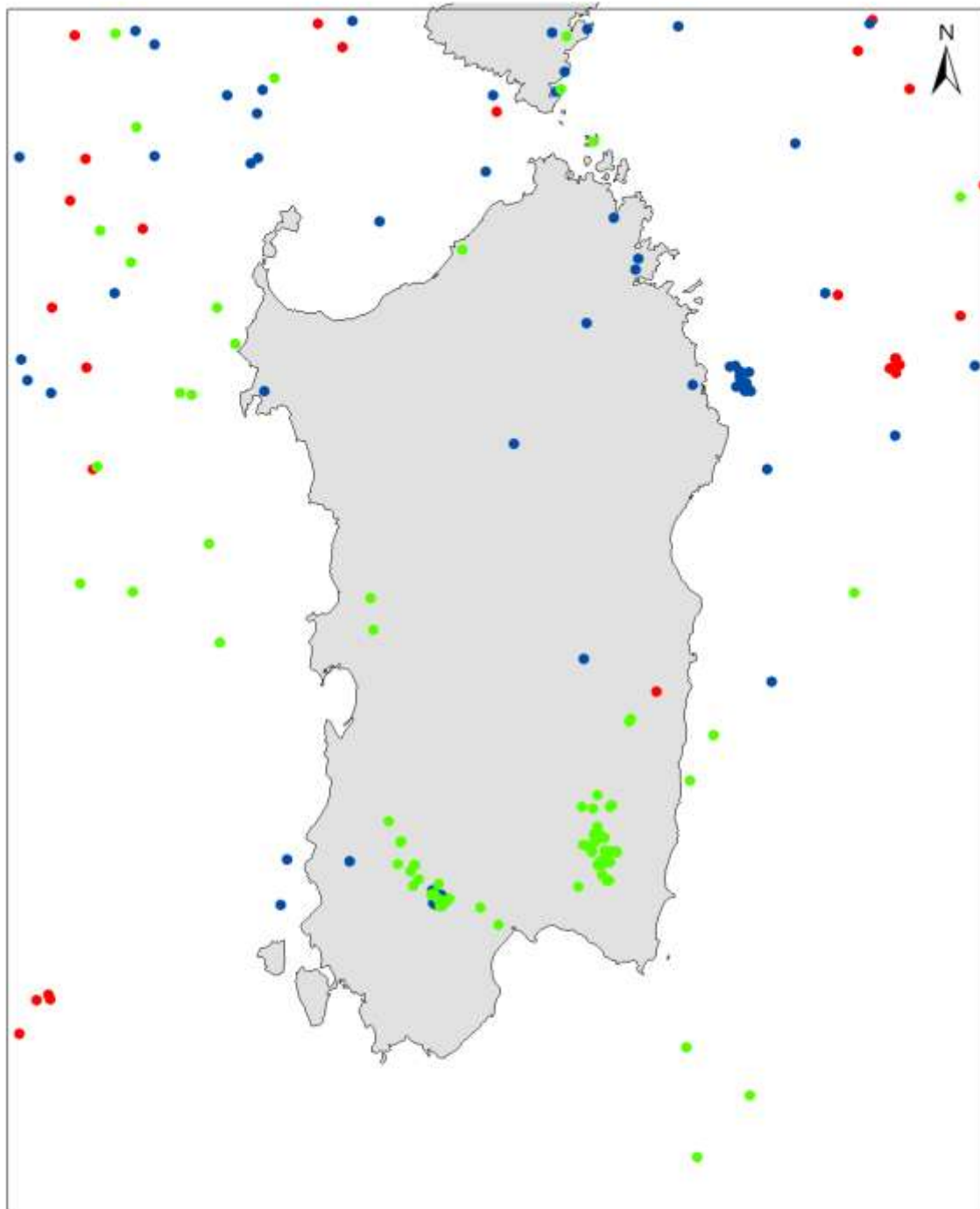
Figura 3.2.39



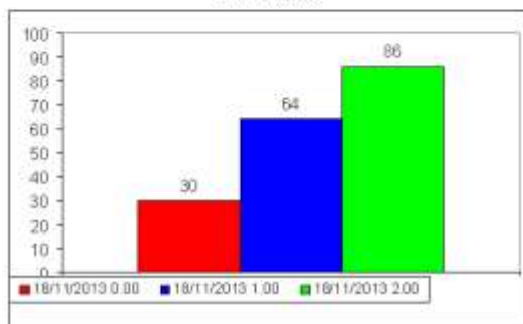
Complessivamente il 18 novembre sono stati registrati sulla Sardegna 12616 fulmini fra nubi e suolo (di cui 2536 positivi, ossia quelli la cui scarica pilota ha origine in una regione della nube con carica positiva). Nelle figure 3.2.40-44 seguenti sono rappresentate sia la localizzazione delle fulminazioni (orarie e triorarie) tra nube e suolo, sia la loro quantità sull'area rappresentata e sulla Sardegna in particolare (in allegato sono fornite tutte le rappresentazioni relative alla giornata del 18/11). A parità di fattori, la presenza di *wind shear* verticale tende a incrementare¹⁶ il numero di fulmini al suolo positivi; questo è compatibile con l'instabilità dell'ambiente in cui si sono sviluppate le precipitazioni temporalesche e con le analisi dalla modellistica numerica.

¹⁶ Brook M., M. Nakano, P. Krehbiel and T. Takeuti, 1982, *The electrical structure of the Hokurika winter thunderstorms*, J. of Geophys. Res., Vol. 87, pp. 1207-1215.

Figura 3.2.40



Area totale



Sardegna

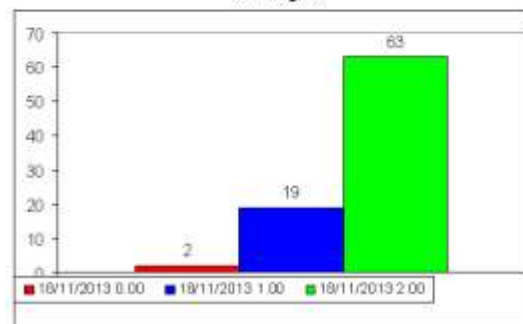


Figura 3.2.41

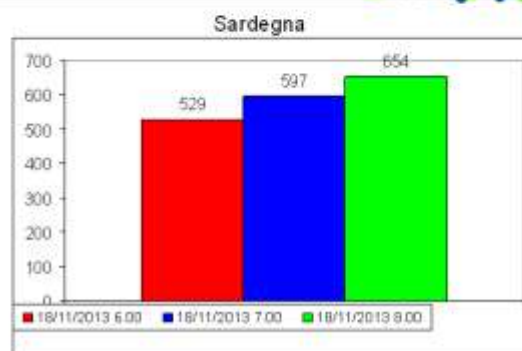
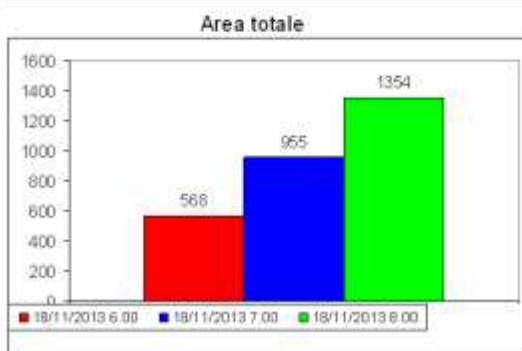
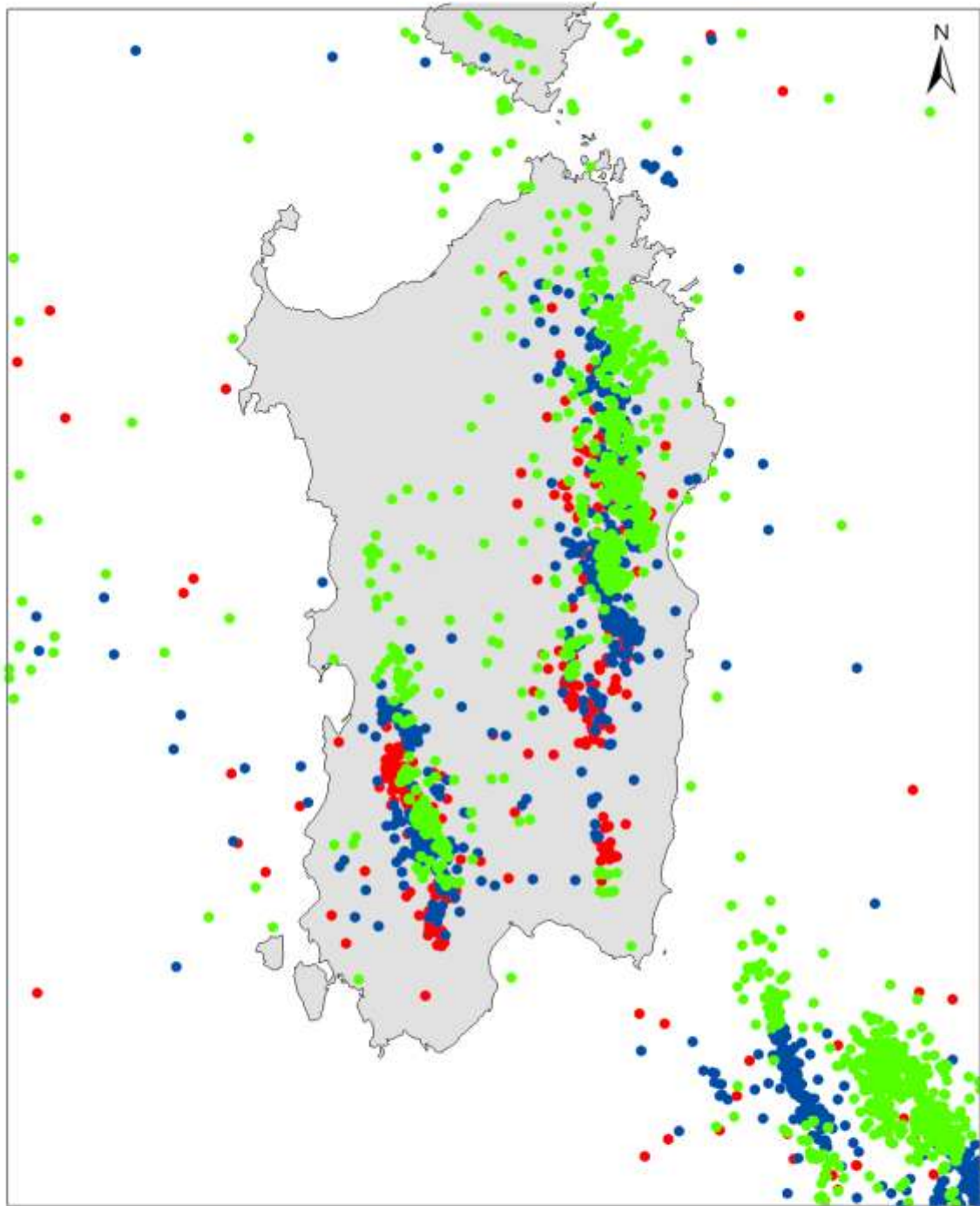


Figura 3.2.42

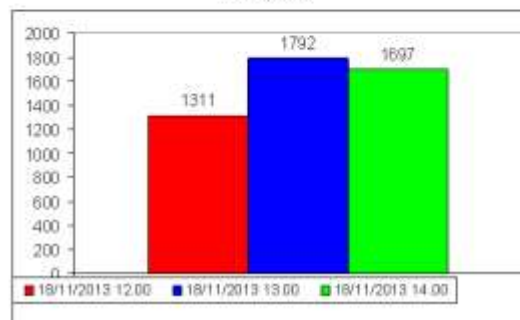
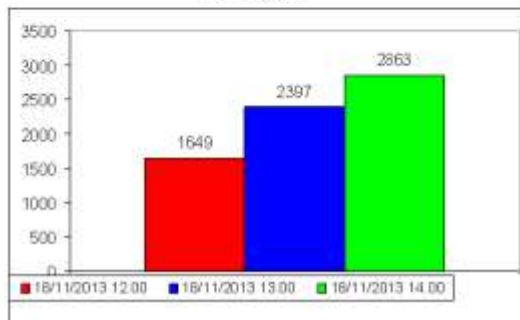
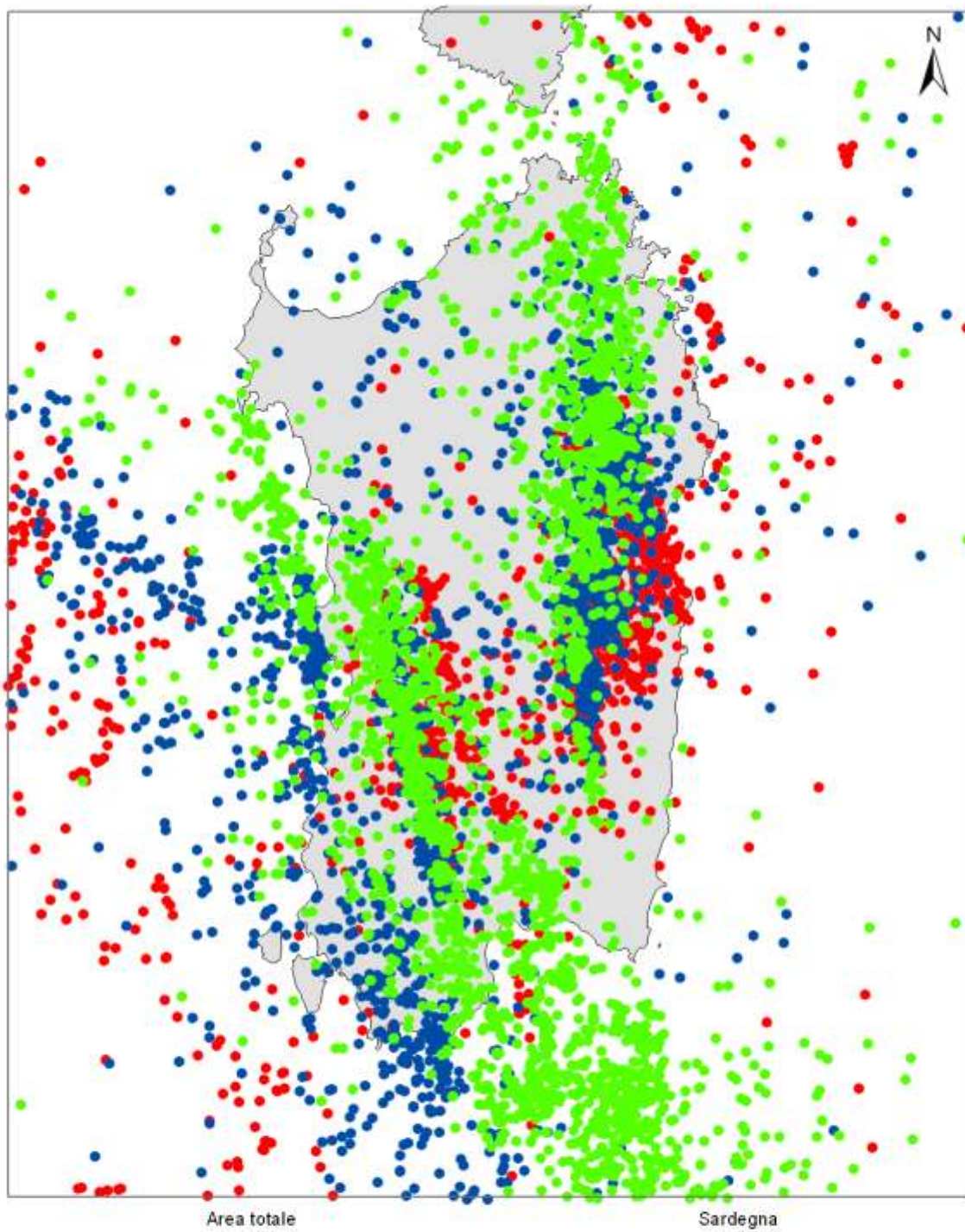


Figura 3.2.43

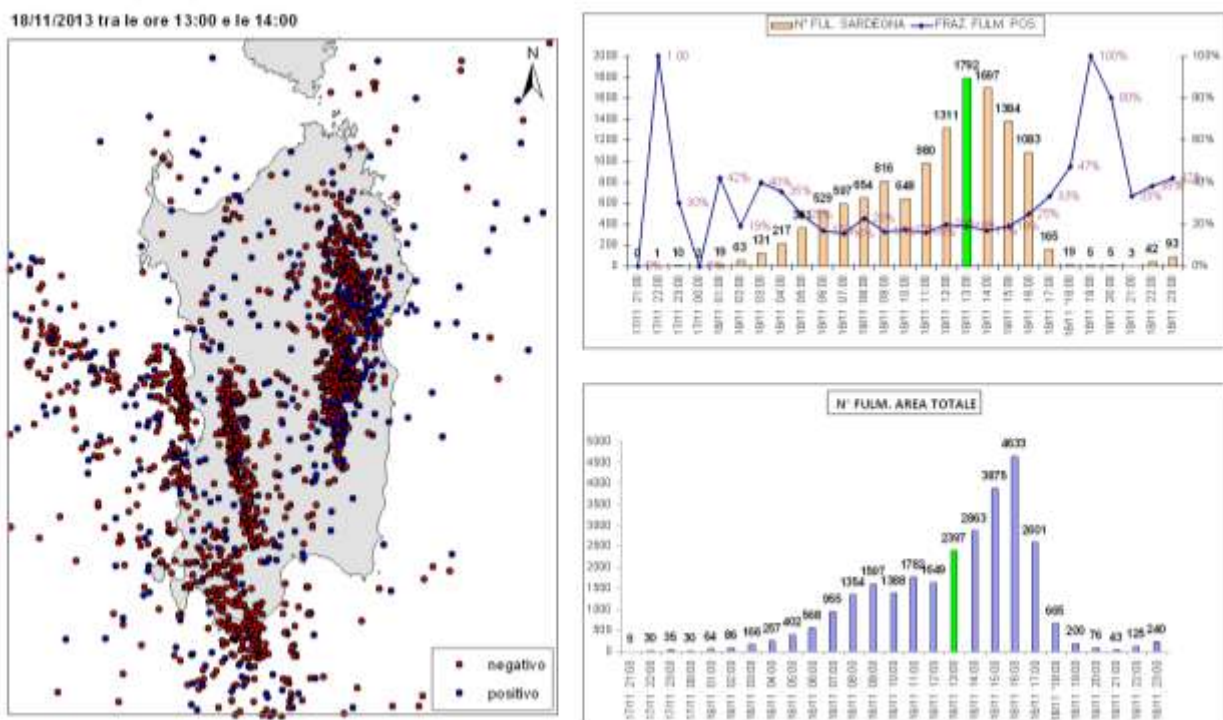


Figura 3.2.44

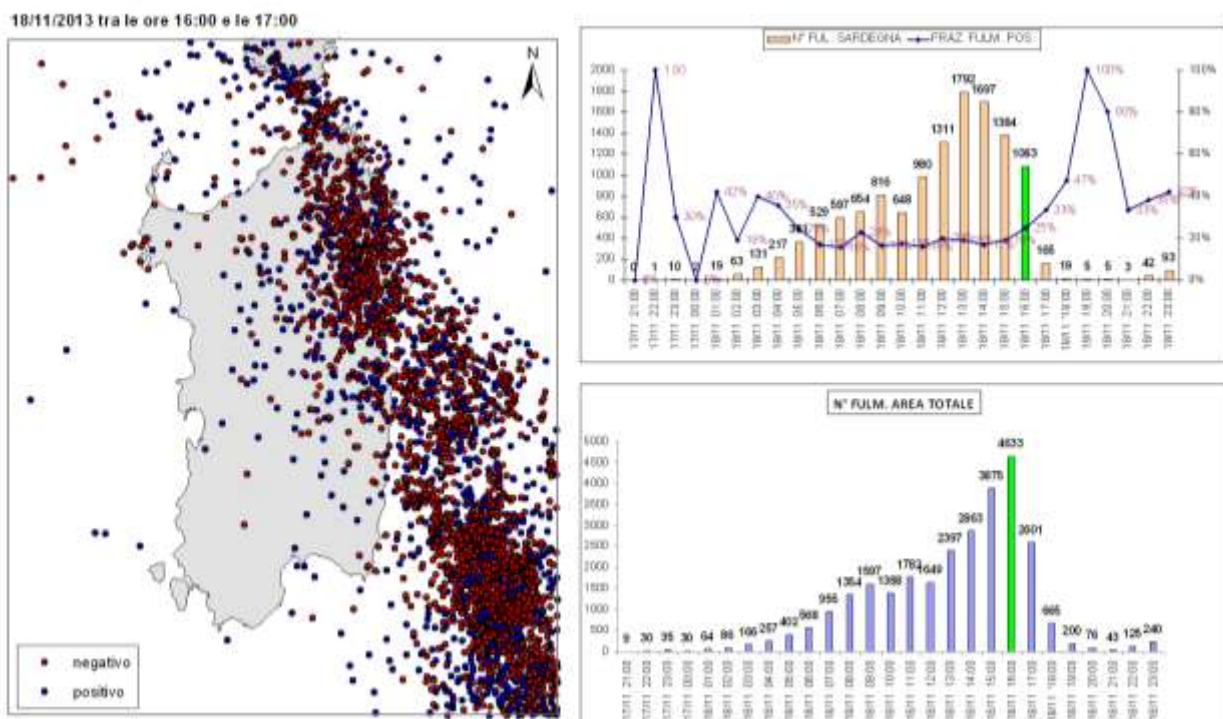


Figura 3.2.45

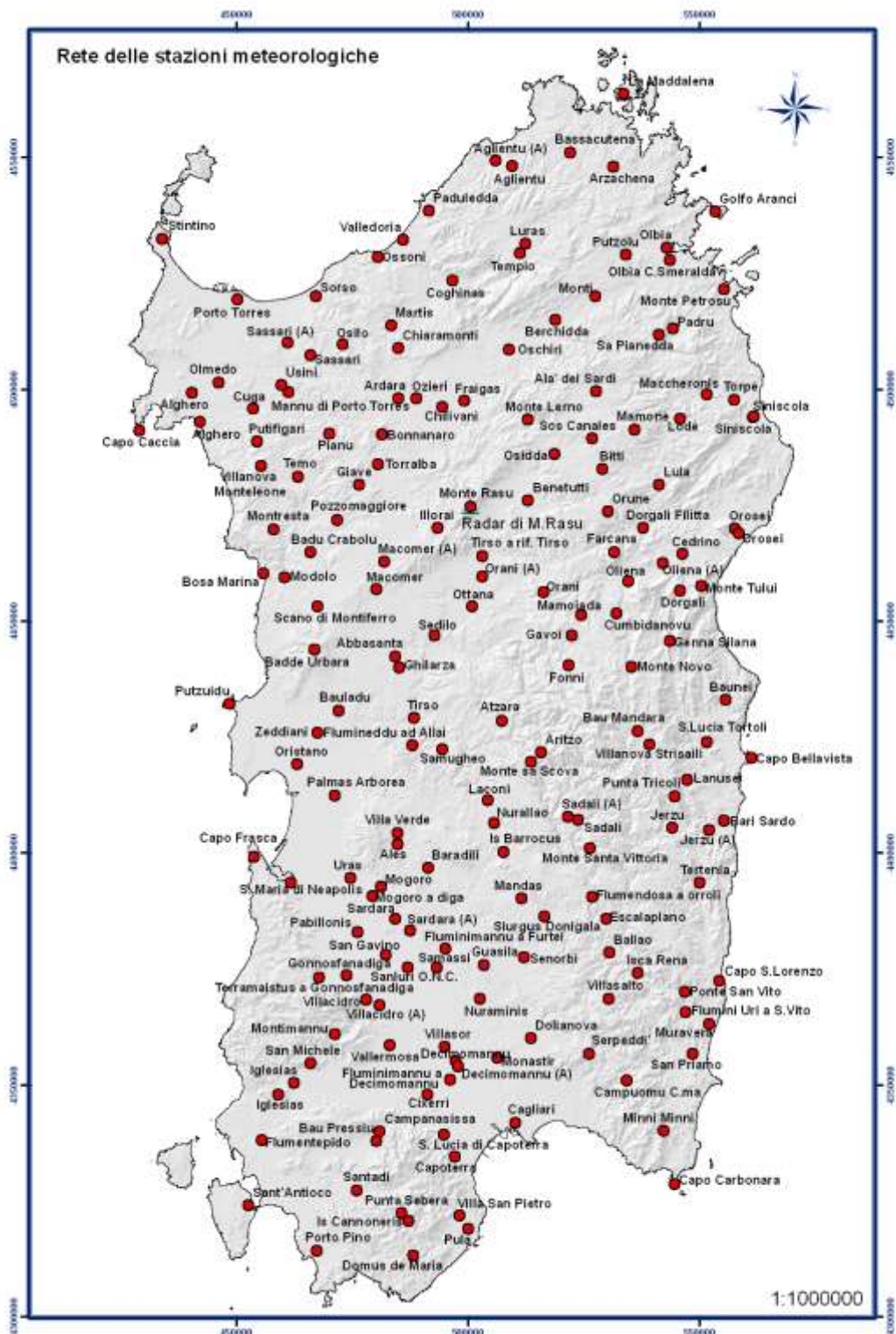


Figura 3.2.46

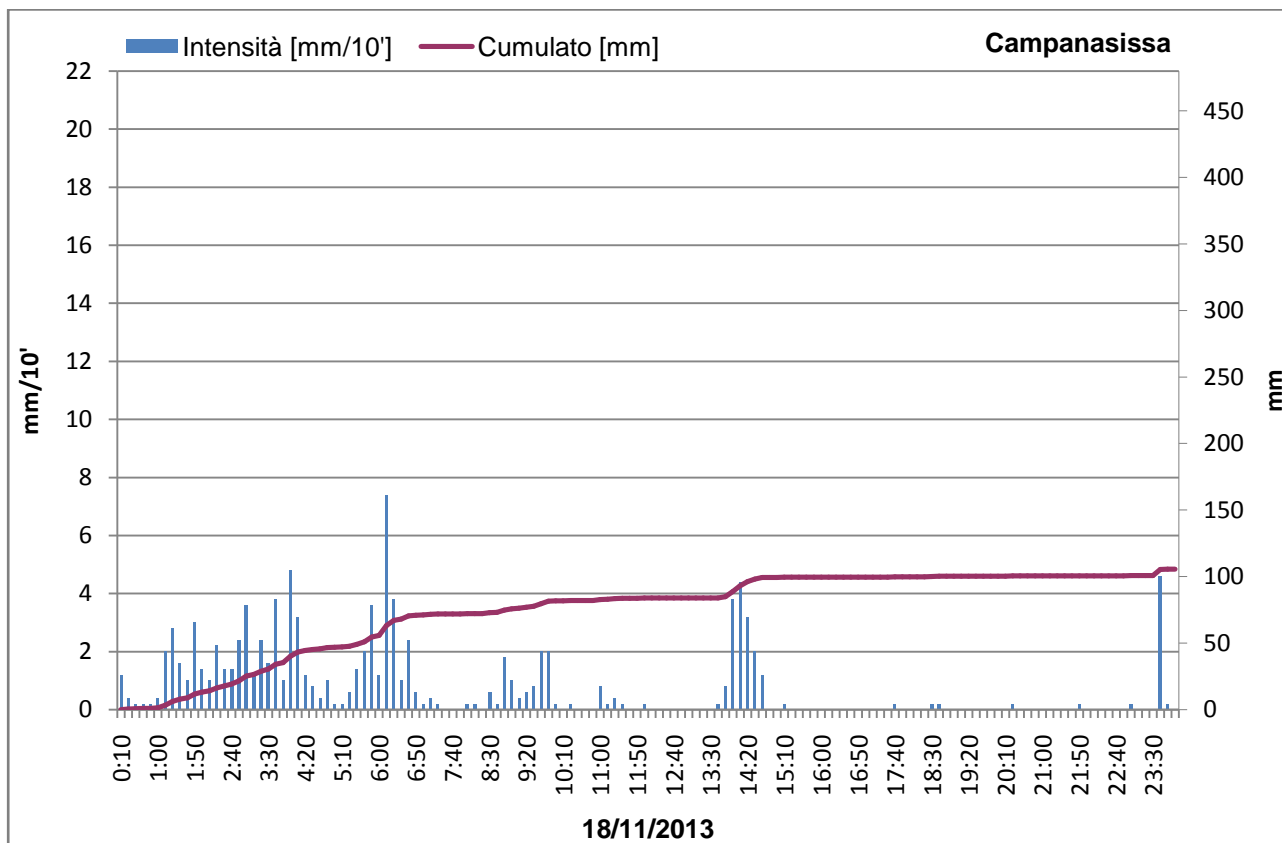


Figura 3.2.47

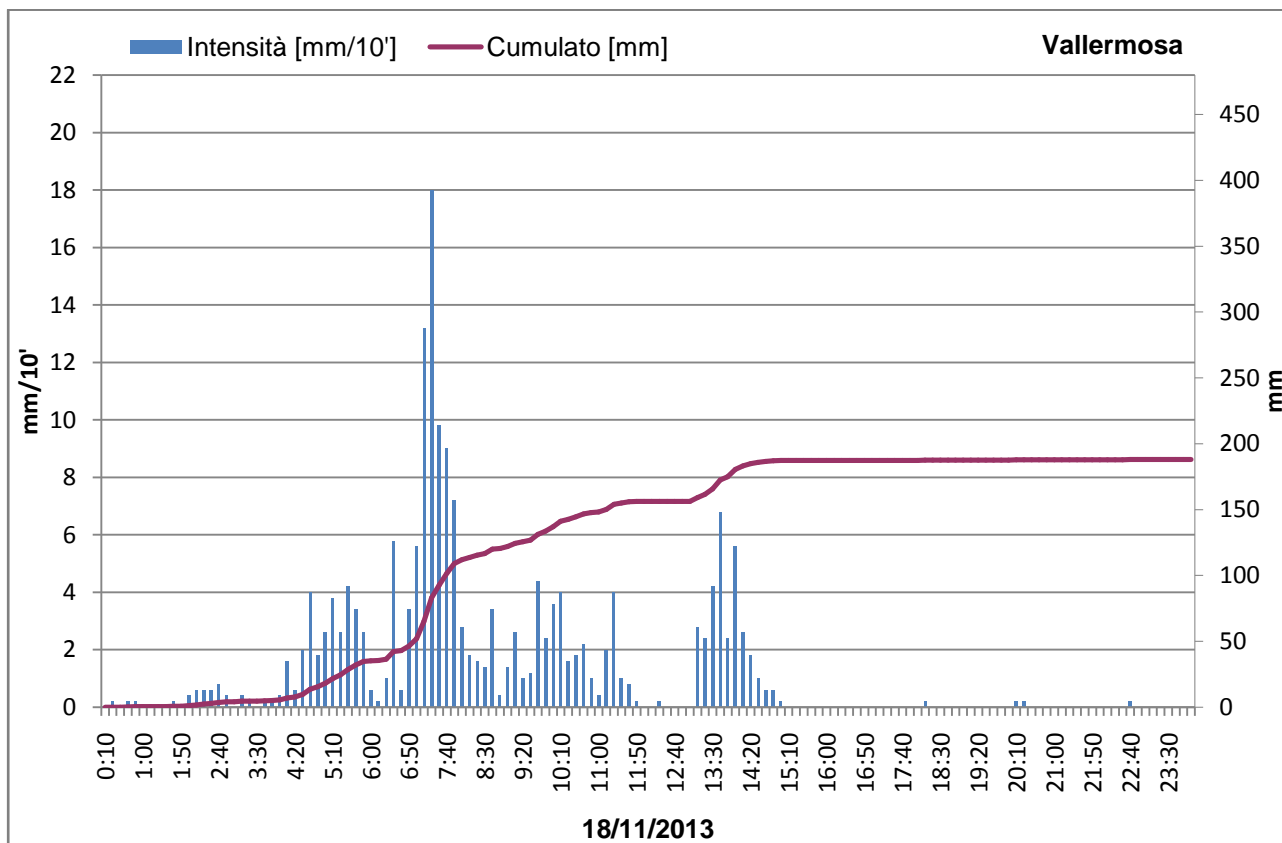


Figura 3.2.48

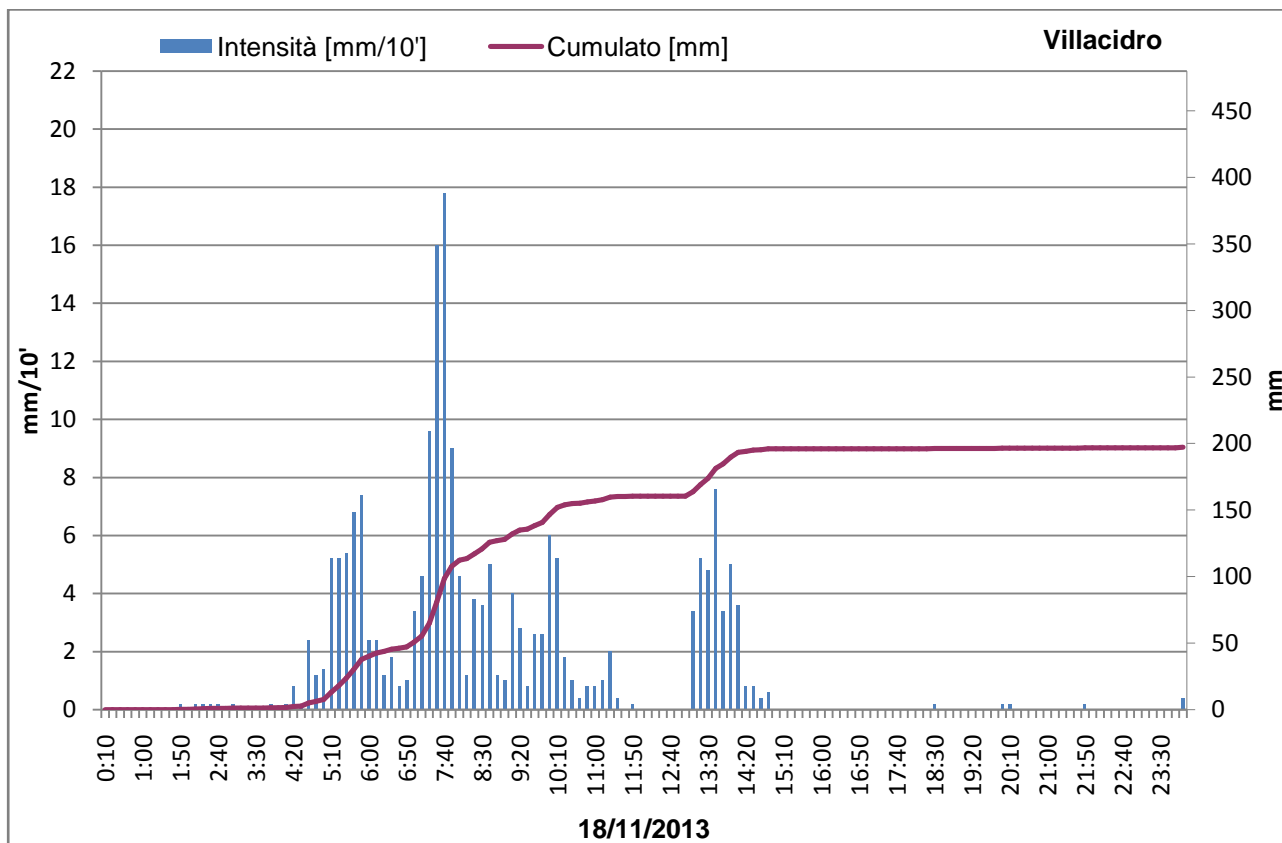


Figura 3.2.49

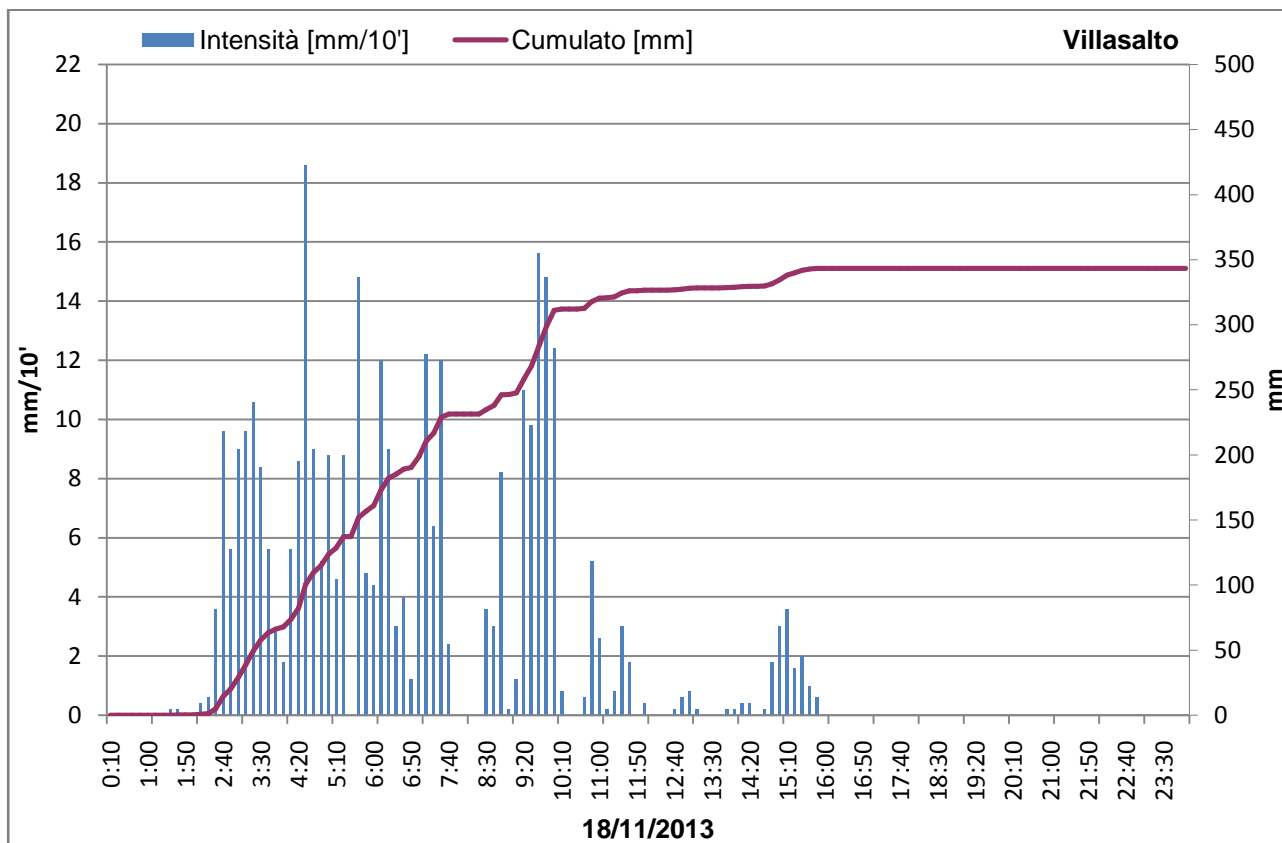


Figura 3.2.50

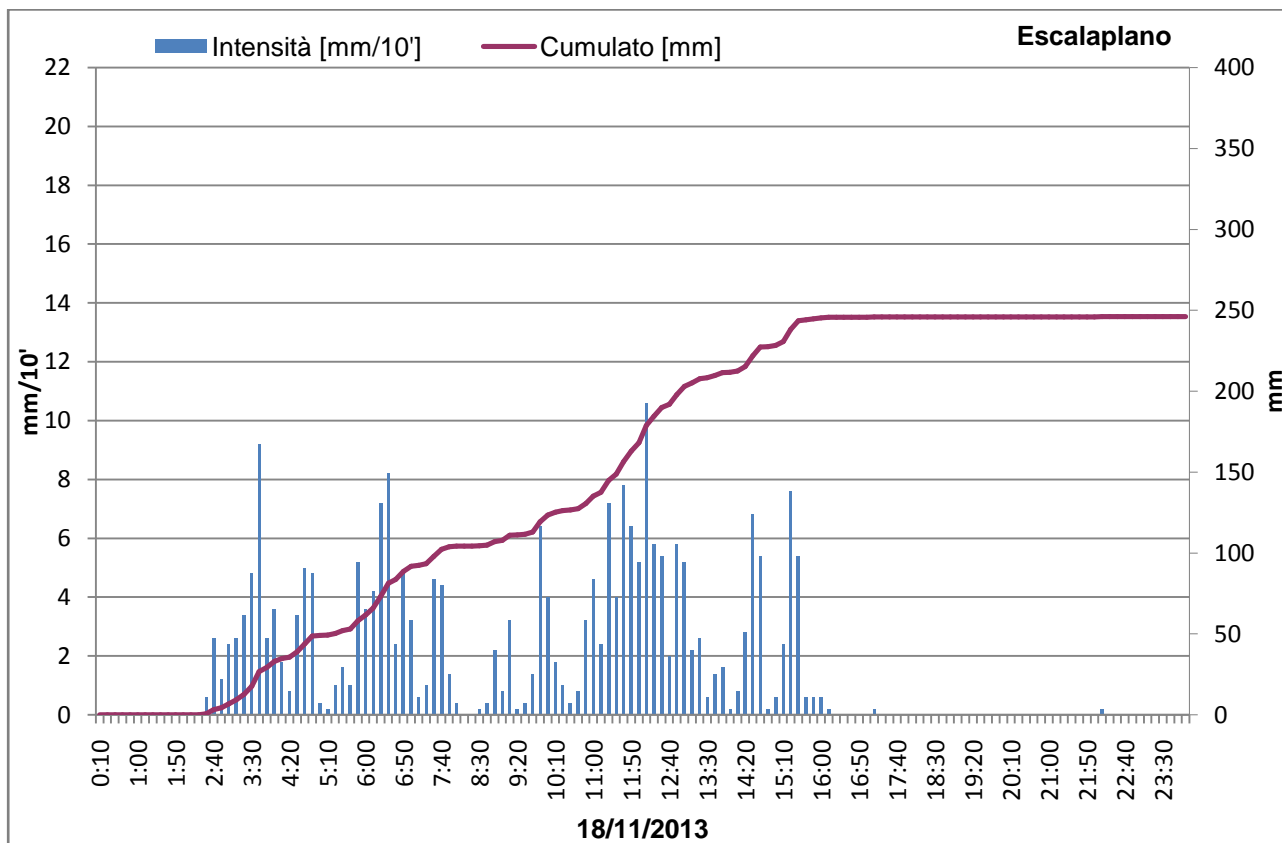


Figura 3.2.51

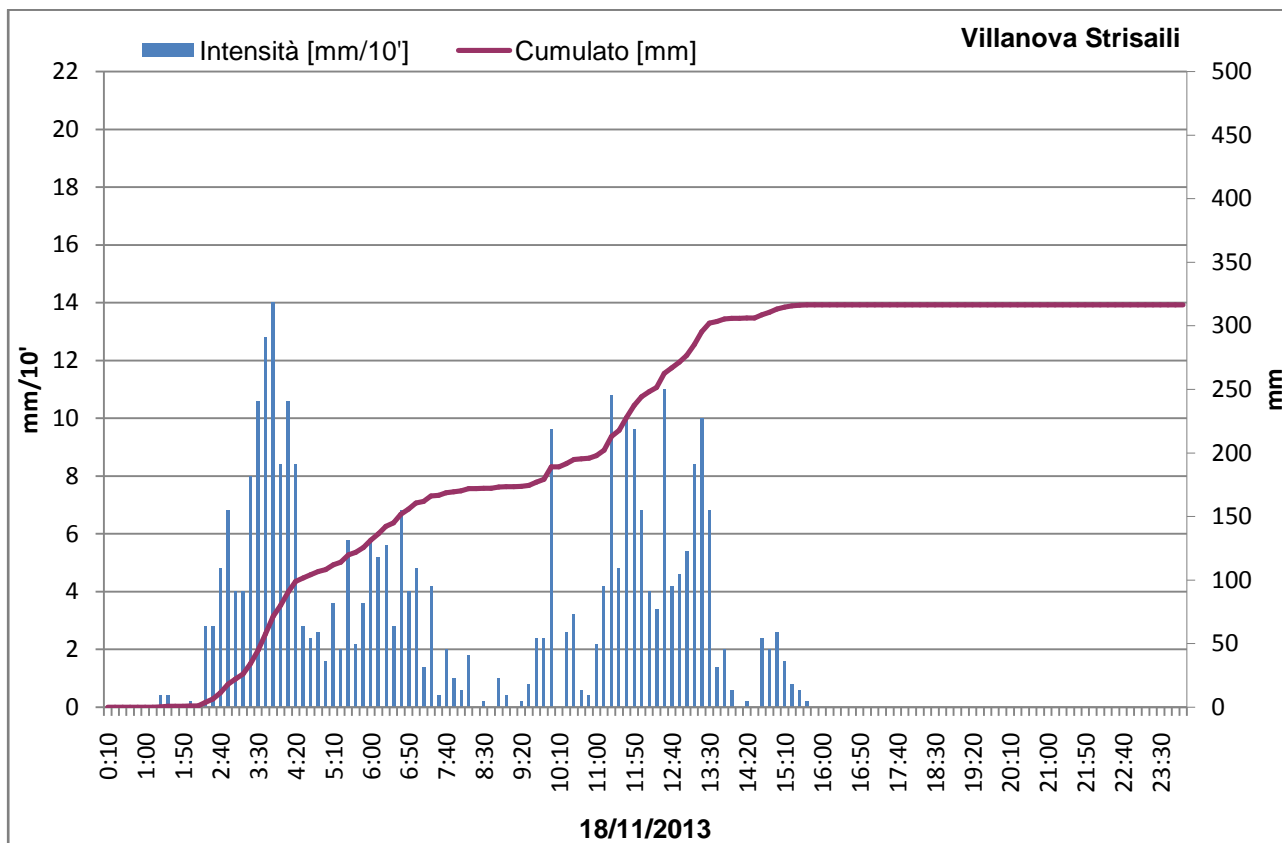


Figura 3.2.52

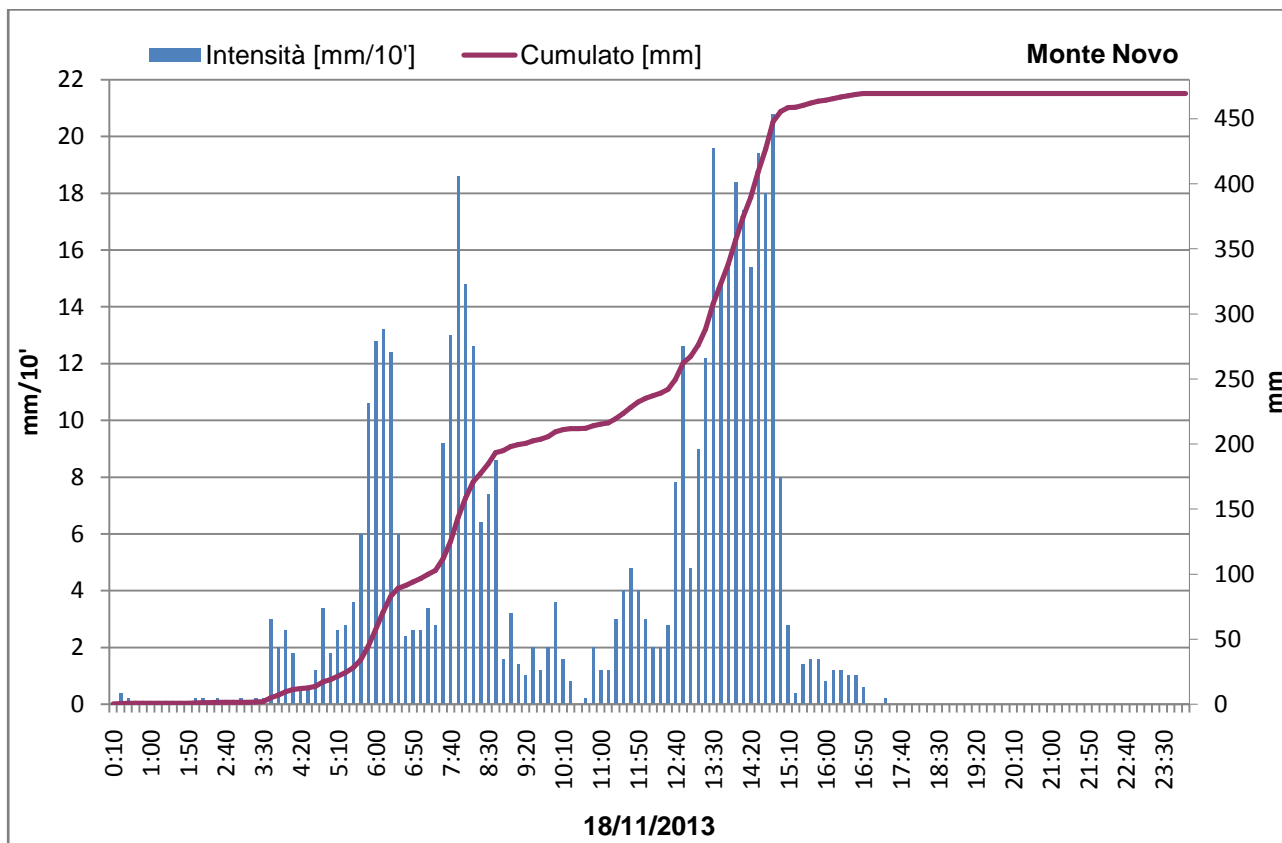


Figura 3.2.53

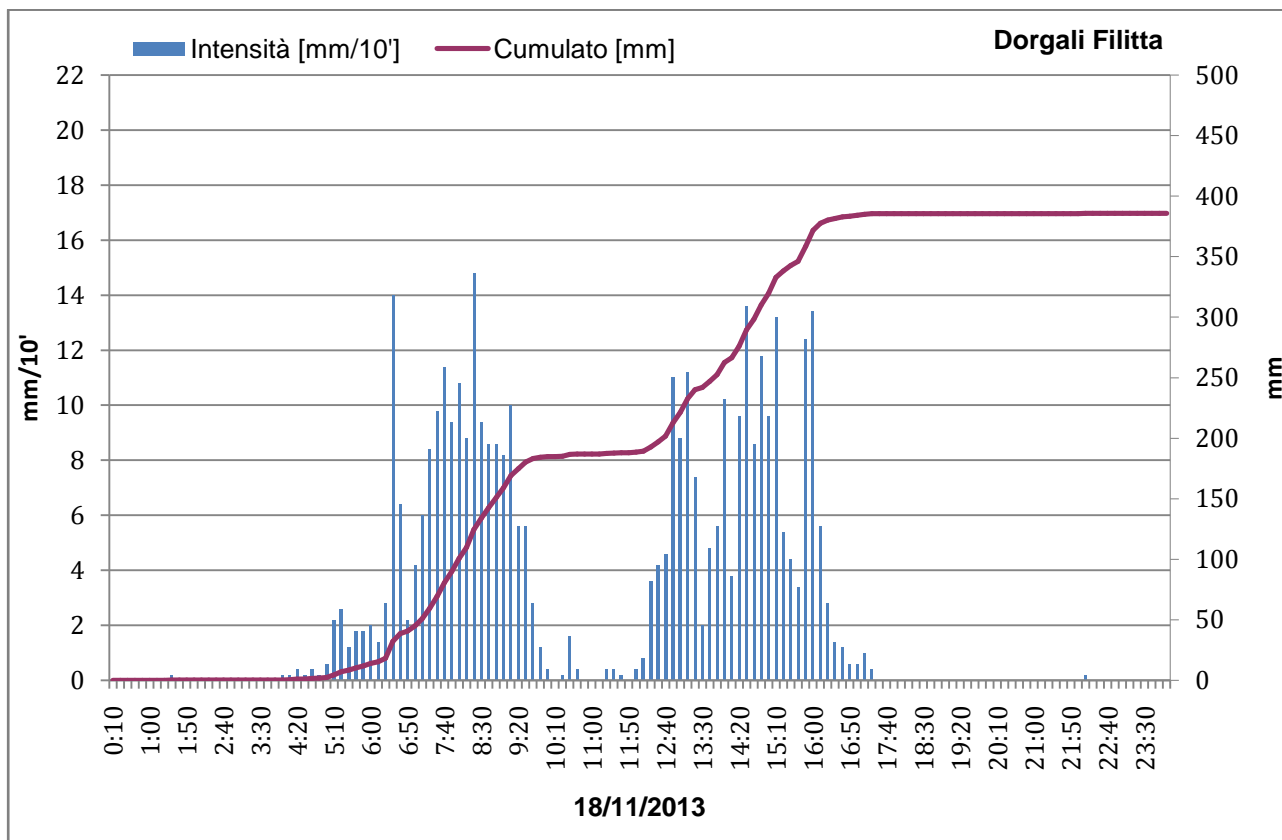


Figura 3.2.54

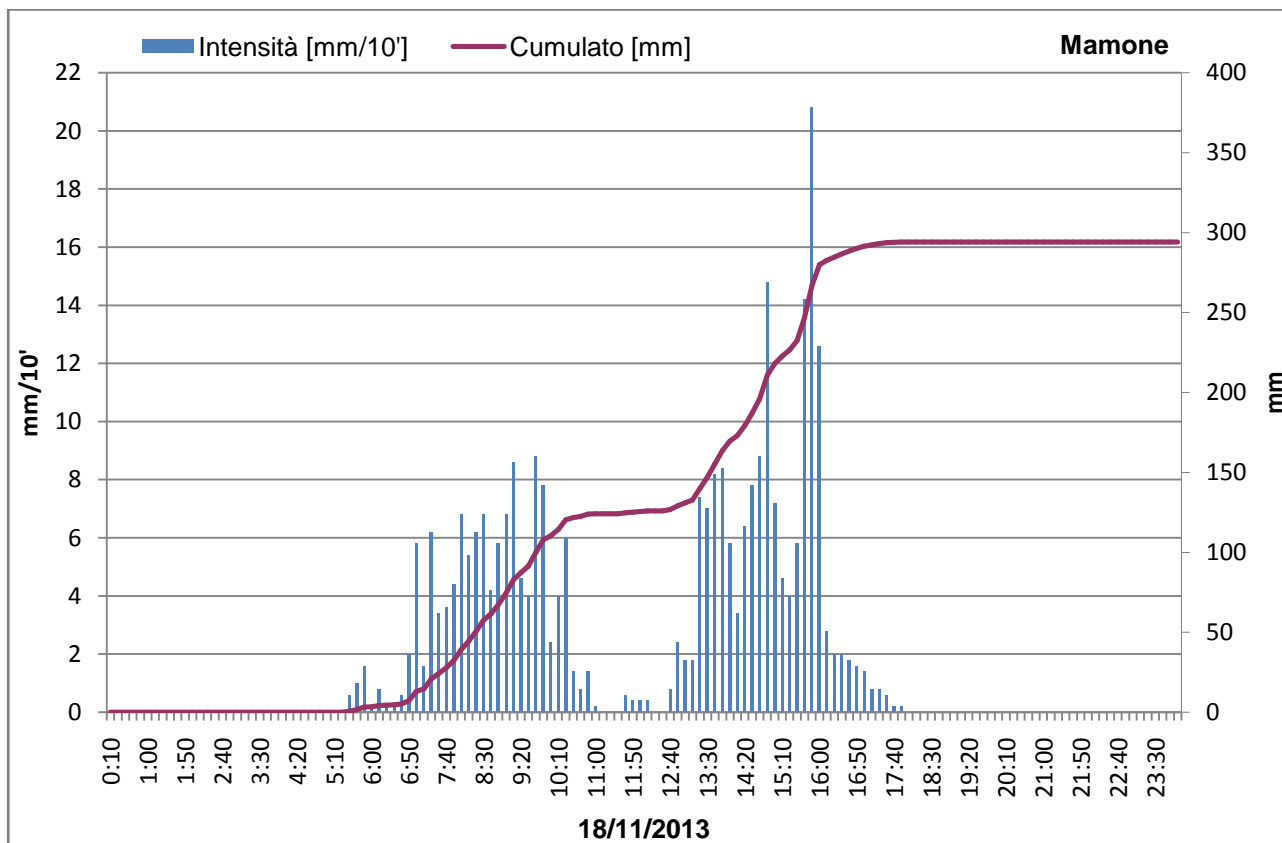
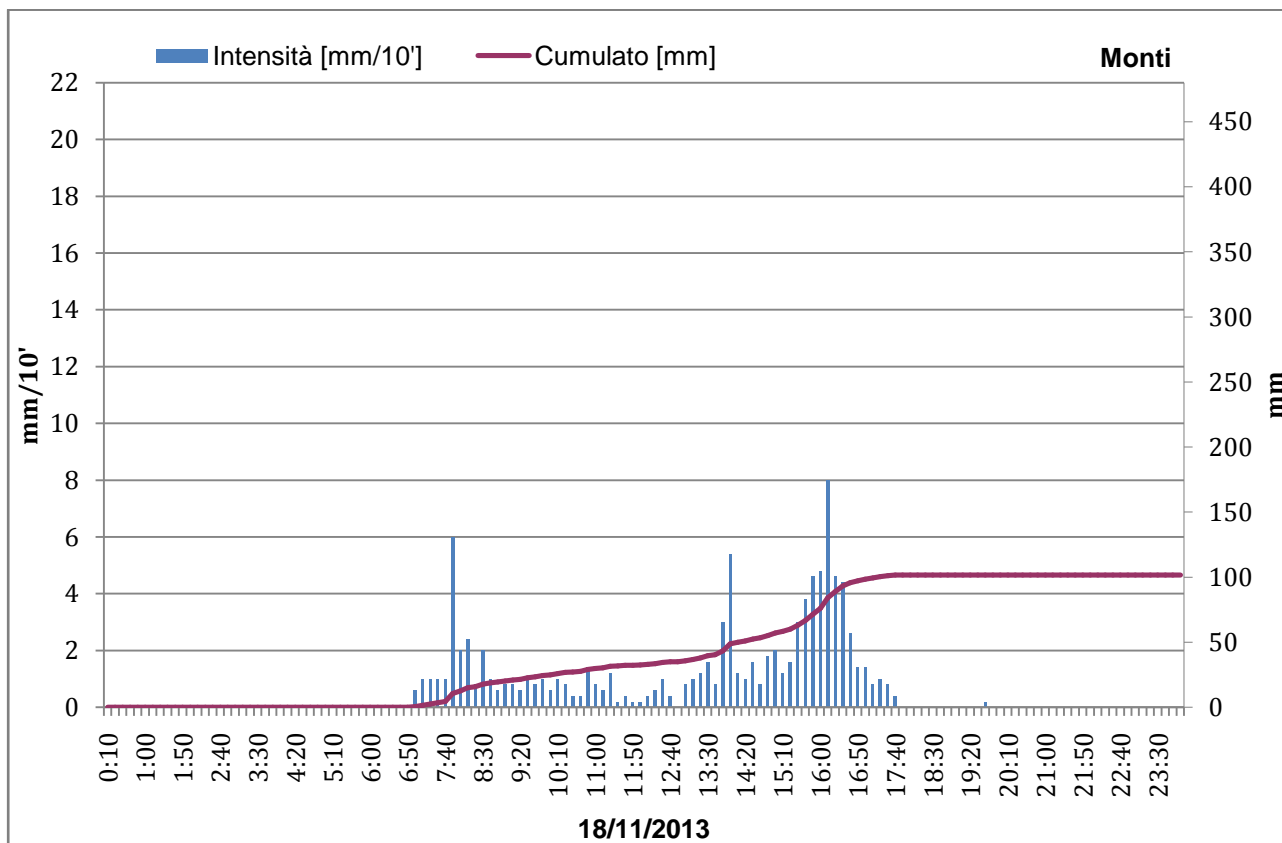


Figura 3.2.55



La massima intensità oraria di precipitazione della giornata del 18/11 è stata registrata sul Bacino del Cedrino: 99,0 mm/h a Monte Novo e 61,0 mm/h a Dorgali Filitta. Molto intense anche le piogge orarie nelle altre zone interessate dall'evento: Medio Campidano (60,4 mm/h a Villacidro), Flumendosa (53,4 mm/h a Villanova Strisaili), Rio Posada (62,0 mm/h a Mamone), zona di Olbia (50,8 mm/h a Sa Pianedda).

Non si dispone di una serie storica dell'intensità di pioggia, dunque non sono possibili raffronti; negli eventi recenti il massimo assoluto è stato registrato il 22 ottobre del 2008 a Capoterra, quando tra le 0600UTC e le 0700UTC furono raggiunti i 150 mm/h.

4 CLASSIFICAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI DEL 18 NOVEMBRE

Gli eventi meteorologici come quello del 18/11 sono senz'altro molto particolari e si possono verificare al presentarsi nello stesso tempo di determinati fattori come quelli descritti nel capitolo precedente; tali circostanze possono apparire eccezionali o straordinarie¹⁷ per un dato luogo ma in un'area vasta come quella mediterranea sono anzi eventi tipici¹⁸ del periodo autunnale, con precipitazioni molto intense che tendono a risultare superiori alla norma nella regione colpita e che spesso sono associati a importanti fenomeni alluvionali e/o franosi d'impatto drammatico sulle vite e le opere umane.

In ambito scientifico un evento può essere classificato in base al superamento di una certa frequenza, o intensità o soglia, oppure rispetto agli impatti fisici indotti sull'ecosistema. La definizione dipende quindi dalla finalità d'uso con cui lo si valuta, ma anche dalla scala temporale presa in esame: per esempio l'arco di tempo delle serie storiche pluviometriche disponibili è evidentemente ben poca cosa in termini geologici.

Secondo lo "Intergovernmental Panel on Climate Change" (IPCC) si è in presenza di un *evento meteorologico estremo*¹⁹ in un dato luogo quando la misura di una qualche grandezza fisica risulta al di sopra (o al di sotto) di una certa soglia individuata vicino al valore più alto (o a quello più basso) tra i valori di quella variabile osservati in quel luogo fino a quel momento.

Si tratta quindi, per definizione, di un evento *raro* rispetto alla distribuzione statistica associata a una certa grandezza meteorologica (da considerare come variabile casuale) in una particolare località e le cui caratteristiche possono variare da luogo a luogo; stabilire una soglia fissa sarebbe poco sensato giacché aree diverse possono essere caratterizzate da elevate variazioni della grandezza d'interesse. La capacità di riconoscerlo e di individuarlo è fortemente dipendente dalla lunghezza e dall'affidabilità delle serie osservative disponibili, che dovrebbero anche rispettare le condizioni di omogeneità e stazionarietà.

Nel caso delle piogge occorre notare che i valori di precipitazione non si distribuiscono in modo simmetrico attorno al valore medio e che la distribuzione di probabilità (PDF) dei cumulati delle precipitazioni non segue una distribuzione di Gauss. La PDF delle precipitazioni è invece descritta molto bene da una distribuzione Gamma, nella cui coda ricadono gli eventi estremi.

In relazione agli eventi del 18/11, per l'indagine del comportamento dei valori della coda di distribuzione attraverso gli appropriati modelli statistici forniti dalla Teoria dei Valori Estremi, e per la classificazione rigorosa di aree con regimi pluviometrici simili attraverso tecniche di cluster analysis, si deve rimandare a futuri studi.

Nella presente valutazione si utilizza invece, per la sua semplicità, una metodologia²⁰, comunque ben fondata teoricamente, che stabilisce un criterio per classificare gli eventi di precipitazione precisando così il senso dei termini *vicino* e *raro* utilizzati nella definizione di evento estremo dell'IPCC. La precipitazione registrata in una data giornata in una certa località sarà considerata *abbondante* (heavy rain) se, nella scala ordinata in senso crescente della serie storica degli accumuli giornalieri²¹ di quella località, risulta superiore al 95-esimo percentile, *molto abbondante* (very heavy rain) se supera il 99-esimo percentile, *estrema* se supera il 99,9-esimo percentile (la più rara e la più abbondante): vale a dire che sarà considerato *evento estremo di precipitazione* quello che, sull'intervallo temporale di 24 ore, si presenta con frequenza minore dello 0,1% nella più lunga serie storica disponibile.

Scelte quindi le aree d'interesse e, anche sulla base dell'esperienza, le stazioni ivi più rappresentative dell'andamento pluviometrico della zona, si determina la funzione di ripartizione empirica della precipitazione

¹⁷ Grotjahn, R., Faure, G., 2008, *Composite Predictor Maps of Extraordinary Weather Events in the Sacramento, California, Region*, Weather and Forecasting Vol. 23, pp. 313-335.

¹⁸ Jansa, A., Genoves, A., Garcia-Moya, J.A., 2000, *Western Mediterranean cyclones and heavy rain. Part 1: Numerical experiment concerning the Piedmont flood case*, Meteorol. Appl. 7, pp. 323-333.

Jansa, A., Genoves, A., Picornell, M.A., Campins, J., Rioslaido, R., Carretero, O., 2001, *Western Mediterranean cyclones and heavy rain. Part 2: Statistical approach*, Meteorol. Appl. 8, pp. 43-56.

¹⁹ IPCC, 2012: Glossary of terms. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 555-564.

²⁰ Groisman, P.Ya, Knight, R. W., Easterling, D. R., Karl, T. R., Hegerl, G. C., Razuvaev, V. N., 2005, *Trends in Intense Precipitation in the Climate Record*, Journal of Climate, Vol. 18, pp. 1326-1350.

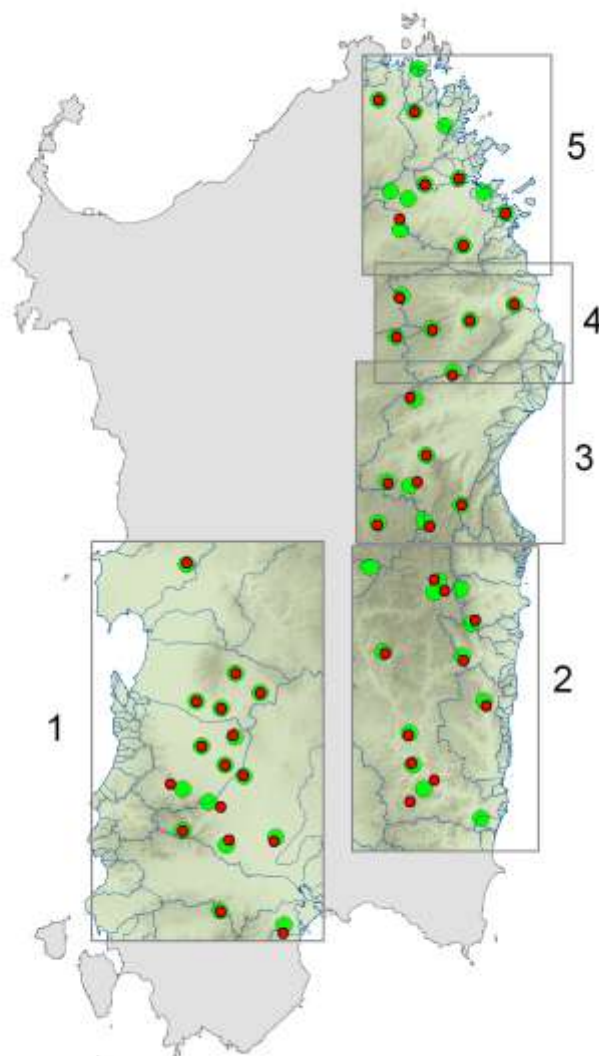
²¹ Si considera precipitazione se il cumulato giornaliero è almeno pari a 1mm.



cumulata in 24 ore considerando nella loro integrità le serie storiche²², ovvero tutti i dati per il periodo più lungo disponibile indipendentemente da eventuali periodi d'interruzione, e si confronta il cumulato di precipitazione misurato il 18/11 con le soglie individuate.

Nei prossimi paragrafi (4.1 – 4.5) si prendono in esame le cinque aree dell'Isola che sono state interessate dai fenomeni più intensi (le aree sono riassunte schematicamente nella figura 4.1, dettagliate nelle figure 4.1.1, 4.2.1, 4.3.1, 4.4.1, 4.5.1). Ciascun paragrafo si apre con la mappa di quella considerata, vi si rappresentano i relativi bacini idrografici e le stazioni di riferimento, seguono due tipologie di tabelle e i grafici corrispondenti.

Figura 4.1



Nelle tabelle di *tipo A* sono presentate le informazioni principali relative alle stazioni di misura per le quali si dispone sia della serie storica pluviometrica (ARDIS) sia della registrazione del 18/11; si considerano come rappresentative dello stesso punto anche quelle stazioni che sono state ricollocate in tempi recenti ma che sono reputate ragionevolmente omogenee alle storiche per poterle confrontare (si trascurano le differenze strumentali). Oltre alle relative informazioni anagrafiche e geografiche (nome, provincia, coordinate, quota), si evidenziano il numero di giorni della corrispondente serie storica (totali e piovosi), i valori delle precipitazioni (sulla base temporale di 24 ore) che delimitano i vari percentili (in particolare il 50-esimo, il 95-esimo, il 99-esimo ed 99,9-esimo), il “massimo storico”, il suo scarto²³ percentuale dal 99,9-esimo percentile per meglio caratterizzare la coda della distribuzione, il cumulato registrato il 18/11.

²² Le serie storiche a disposizione dell'ARPAS coprono il periodo tra il 1932 ed il 2007.

²³ ¹⁹ Si considera lo scarto percentuale seguente: $100 \left(\frac{\text{Massimo storico}}{99,9\text{-esimo percentile}} - 1 \right) \%$.

Nelle tabelle di *tipo B* sono invece presentate le informazioni principali delle stazioni di misura per le quali si dispone della serie storica pluviometrica (ARDIS) ma non della registrazione del 18/11, e di quelle che pur ricadendo in un intorno prossimo alle prime presentano caratteristiche geografiche tali da violare la condizione di omogeneità (nei grafici indicate come *stazioni bis*). Anche in questo caso, oltre alle informazioni anagrafiche e geografiche (nome, provincia, coordinate, quota), si riportano il numero di giorni della corrispondente serie storica (totali e piovosi), i valori delle precipitazioni (sulla base temporale di 24 ore) che delimitano i vari percentili (in particolare il 50-esimo, il 95-esimo, il 99-esimo ed 99,9-esimo), il "massimo storico", il suo scarto²⁴ percentuale dal 99,9-esimo percentile per meglio caratterizzare la coda della distribuzione, il cumulato registrato nella giornata dove disponibile.

Per evidenziare la classificazione degli eventi di precipitazione del 18/11 secondo la metodologia illustrata, nelle *tabelle di tipo A* si assegna alle caselle relative alle registrazioni della giornata un colore corrispondente al superamento delle varie soglie; precisamente, agli accumuli giornalieri di una certa località corrispondono i colori come di seguito indicato:

- **Celeste** precipitazione che è al di sopra della mediana;
- **Verde** precipitazione **abbondante (heavy rain)**, superiore al 95-esimo percentile;
- **Giallo** precipitazione **molto abbondante (very heavy rain)**, superiore al 99-esimo percentile;
- **Arancione** **evento estremo di precipitazione**, precipitazione superiore al 99,9-esimo percentile;
- **Rosso** **evento estremo di precipitazione e nuovo record storico**.

La necessità di suddividere le informazioni nei due tipi di tabelle (A e B) è conseguente al differente regime pluviometrico tra una stazione e l'altra, seppur prossima, e alla fenomenologia in esame. Nel terzo capitolo si è infatti illustrato come le celle convettive si siano sviluppate e rigenerate lungo delle direttrici ben precise, ne consegue che ci possono essere delle sensibili variazioni di precipitazione pure tra aree geograficamente molto vicine; del resto anche l'analisi delle scansioni radar ha evidenziato che valori di riflettività compatibili con precipitazioni molto copiose si rilevavano in aree non coperte da pluviometri e non venivano quindi registrate.

Il caso della stazione di "Villasalto", appartenente all'area 2 e le cui informazioni sono riportate nella *Tabella 2-B*, è particolarmente emblematico per comprendere la non applicabilità della metodologia alle *stazioni bis*; si osserva che la stazione storica è in posizione intermedia, a pochi chilometri di distanza, tra due stazioni rese operative in tempi più recenti: "Villasalto (ARPAS)", a 4,7 km da "Villasalto", e "Isca Rena" (ENAS), a 3,6 km da "Villasalto". Giusta la scala spaziale dei fenomeni meteorologici in oggetto, si hanno differenze considerevoli tra le due registrazioni considerate, 343,4 mm/d e 73,4 mm/d rispettivamente: emerge quindi che un ipotetico confronto con la serie storica sarebbe fallace e porterebbe a conclusioni completamente diverse nel considerare la prima (per la quale si tratterebbe di un *evento estremo di precipitazione e nuovo record storico*), o la seconda stazione (secondo la quale si sarebbe in presenza di precipitazioni *abbondanti* e dunque non classificabili come evento estremo).

Purtroppo il recente ricollocamento geografico di diversi pluviometri rispetto ai punti di misura storici comporta l'insanabile perdita di continuità nelle serie pluviometriche disponibili, quasi ottantennali, e quindi l'impossibilità di svolgere compiutamente l'analisi del caso in esame, oltre che degli studi che potrebbero concorrere alla mitigazione del rischio per gli anni a venire.

L'analisi delle informazioni esposte nei prossimi paragrafi permette comunque di concludere che il 18/11 in tutte le aree esaminate si sono verificati degli eventi estremi di precipitazione, in diversi casi (almeno nelle Aree 1, 4 e 5) di portata tale da superare i precedenti record storici; l'insufficiente densità di pluviometri in alcune zone non ha consentito di rilevare quantitativamente l'evento nella sua completa estensione spaziale, ma lo si è potuto dedurre almeno qualitativamente dalle scansioni radar.

Dal confronto con i più recenti eventi meteorologici a carattere estremo che hanno riguardato l'Isola si può inoltre dedurre che quello del 18/11 si caratterizza per la maggior estensione dei territori coinvolti nell'arco della stessa giornata.

4.1 Sardegna centro – sud-occidentale, Area 1

Figura 4.1.1

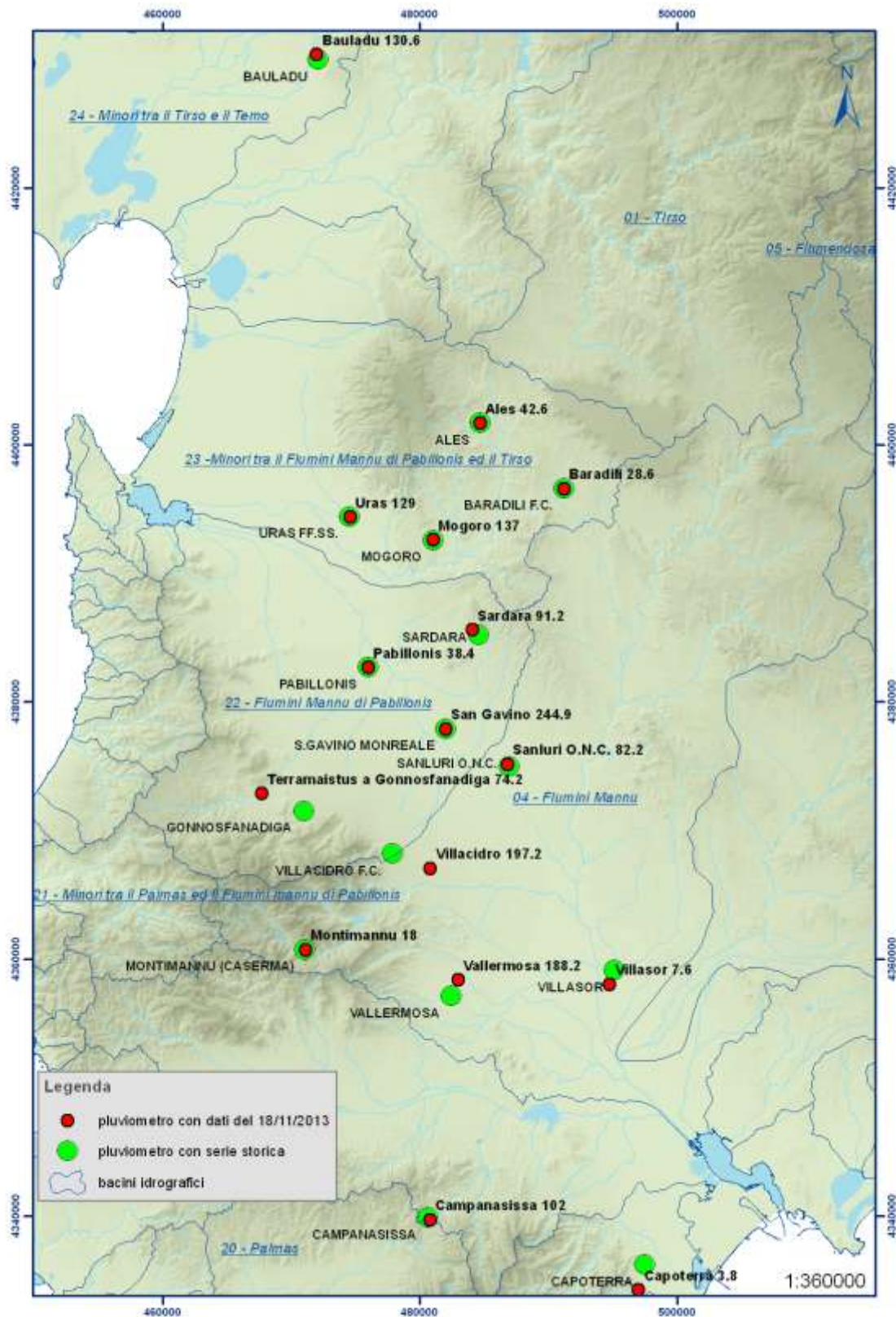
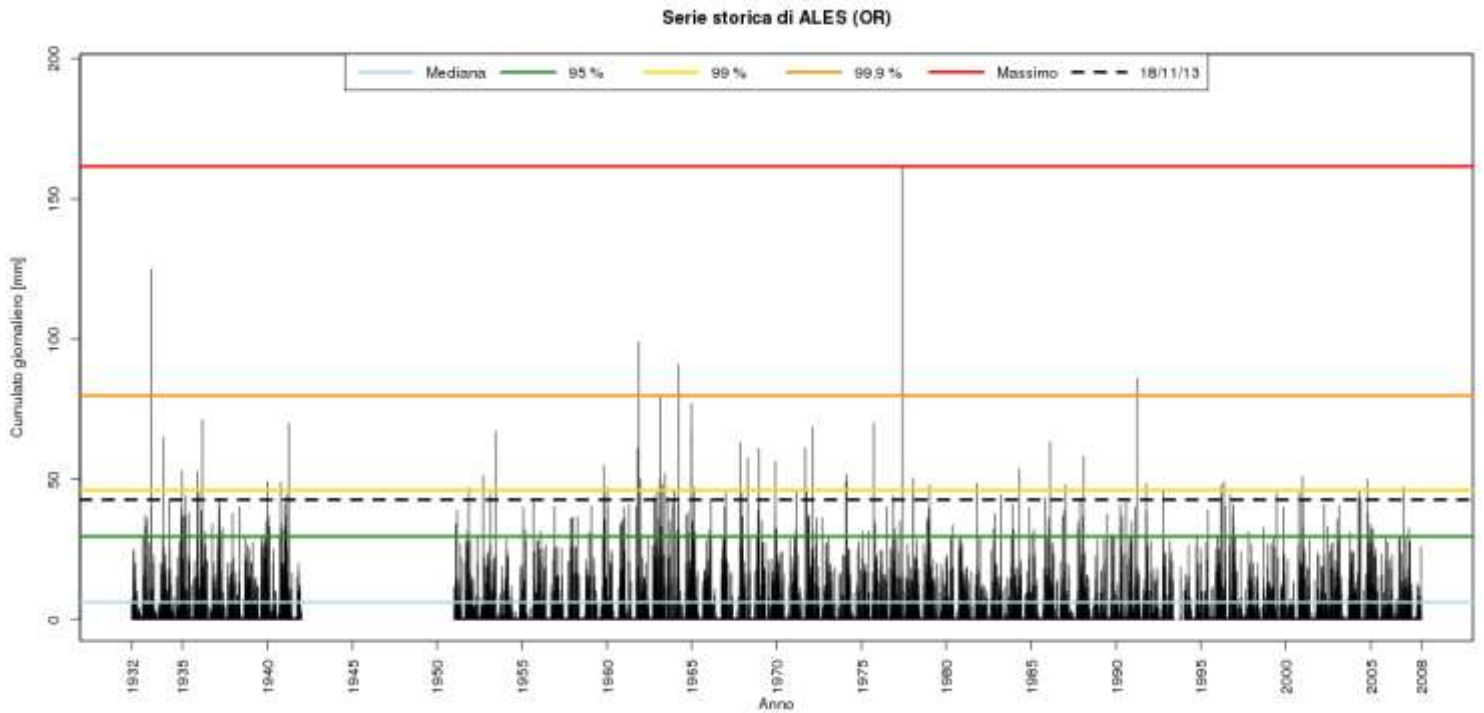


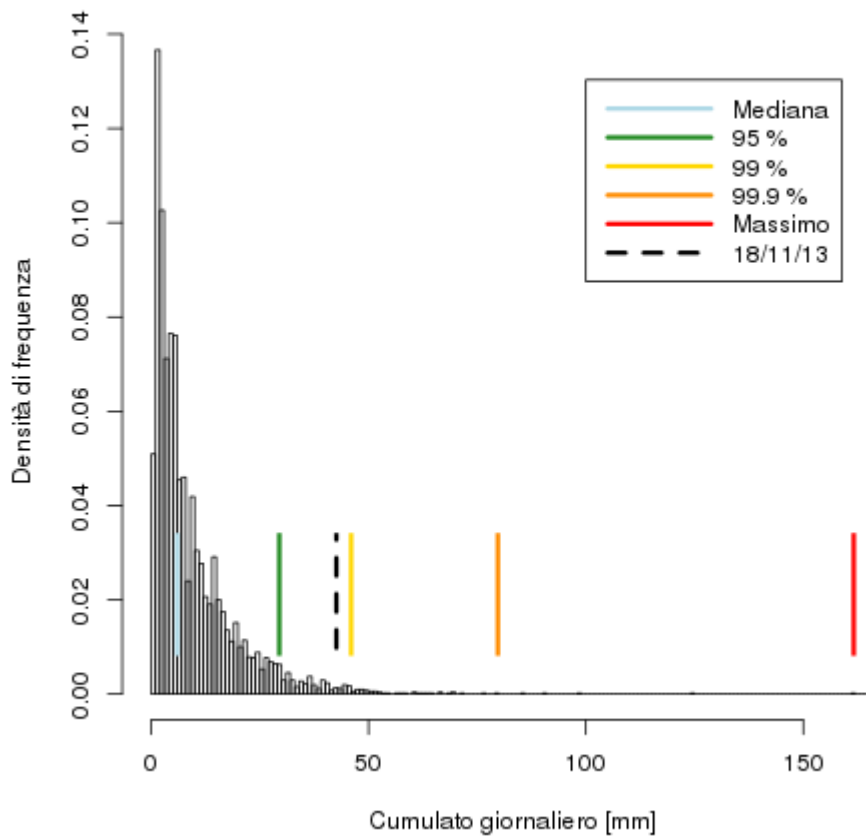
Tabella 1-A

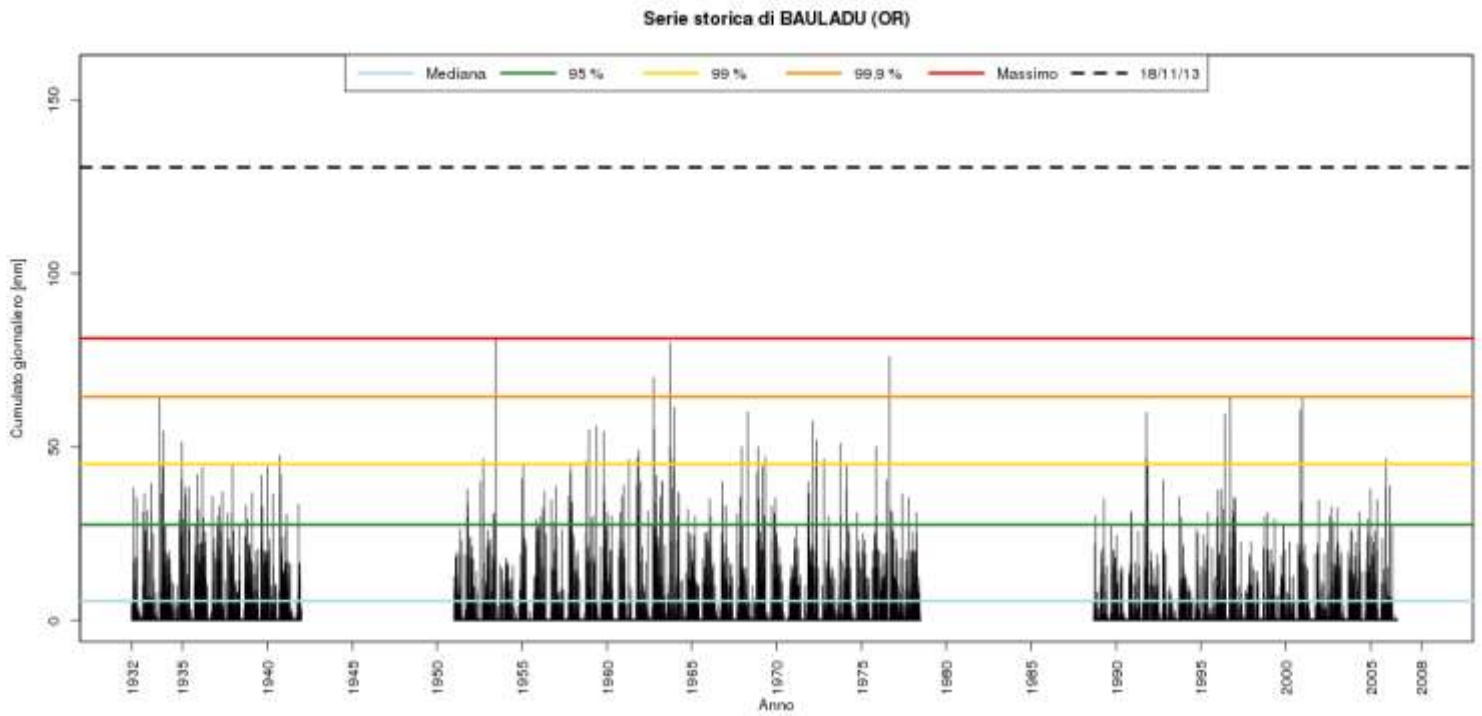
STAZIONE STORICA	PROVINCIA	LATITUDINE (WGS84)	LONGITUDINE (WGS84)	QUOTA [m]	N° GIORNI SERIE STORICA	N° GIORNI PIOVOSI	MEDIANA [mm]	95-ESIMO PERCENTILE [mm]	99-ESIMO PERCENTILE [mm]	99.9-ESIMO PERCENTILE [mm]	MASSIMO STORICO [mm]	SCARTO $100 \left(\frac{\text{Massimostorico}}{99.9\text{-estimopercentile}} - 1 \right) \%$	CUMULATO DEL 18/11 [mm]	STAZIONE coincidente (*) o prossima alla stazione storica e della quale si dispone del cumulato del 18/11/2013	LATITUDINE (WGS84)	LONGITUDINE (WGS84)	QUOTA [m]
ALES	OR	39,765082	8,821178	167	24278	5086	6	29,5	46	79,7	161,6	103	42,6	Ales *	39,765082	8,821178	167
BAULADU	OR	40,019736	8,672160	29	20084	3969	5,5	27,5	45	64,4	81,3	26	130,6	Bauladu	40,023778	8,671028	38
BARADILI F.C.	OR	39,719402	8,896784	158	24278	4306	7,8	30	46,4	65,6	81	24	28,6	Baradili *	39,719402	8,896784	158
CAMPANASSISSA	CA	39,207701	8,775112	220	21137	4444	5,4	31	56,6	114,5	180	57	102,0	Campanassissa	39,206278	8,776917	329
MOGORO	OR	39,683106	8,778592	134	24331	4609	6	25	41	69,3	155	124	137,0	Mogoro *	39,683106	8,778592	134
MONTIMANNU (CASERMA)	VS	39,395398	8,663605	350	23428	5289	7,4	40	67	121,3	221,6	83	18,0	Montimannu*	39,395398	8,663605	350
PABILLONIS	VS	39,593597	8,719598	40	23949	4128	5,5	25	43	74,8	105	40	38,4	Pabillonis *	39,593597	8,719598	40
S. GAVINO MONREALE	VS	39,550676	8,790304	51	24335	4287	5,5	24,1	41	86,4	97	12	244,8	San Gavino *	39,550676	8,790304	51
SANLURI O.N.C.	CA	39,525994	8,846110	61	19090	3468	4,8	24,6	41,7	72,7	92	27	82,2	Sanluri O.N.C.	39,526000	8,846111	71
SARDARA	VS	39,616231	8,819581	138	24098	4619	5,6	25,2	42,4	69	97,5	41	91,2	Sardara	39,620083	8,814278	222
URAS FF.SS.	OR	39,699245	8,702608	20	24283	4136	6,5	25	38,5	57,2	84	47	129,0	Uras *	39,699245	8,702608	20
VALLERMOSA	CA	39,363176	8,795509	70	24451	4891	5	27,6	46,6	81,4	246	202	188,2	Vallermosa	39,374861	8,801972	81
VILLACIDRO F.C.	VS	39,462998	8,742093	213	24442	5073	5,5	27,4	42,9	82,2	180	119	120,6	Villacidro *	39,462998	8,742093	213
VILLASOR	CA	39,381273	8,943147	22	24451	4231	5	25	48,2	90,8	260,4	187	7,6	Villasor	39,371750	8,938889	21



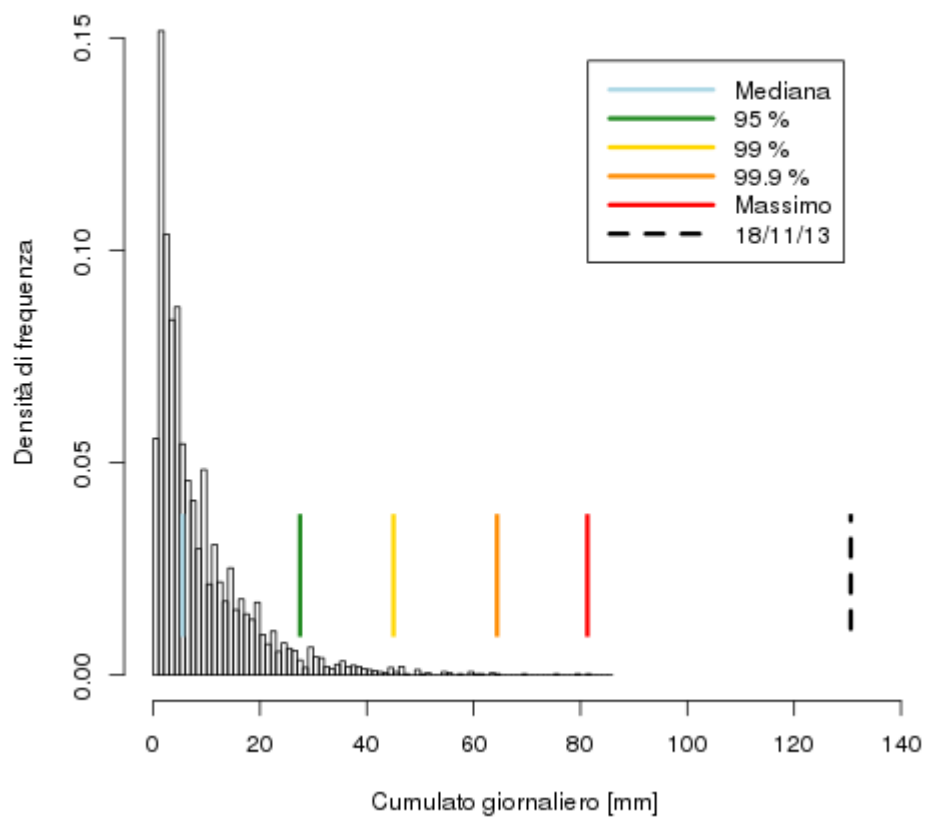


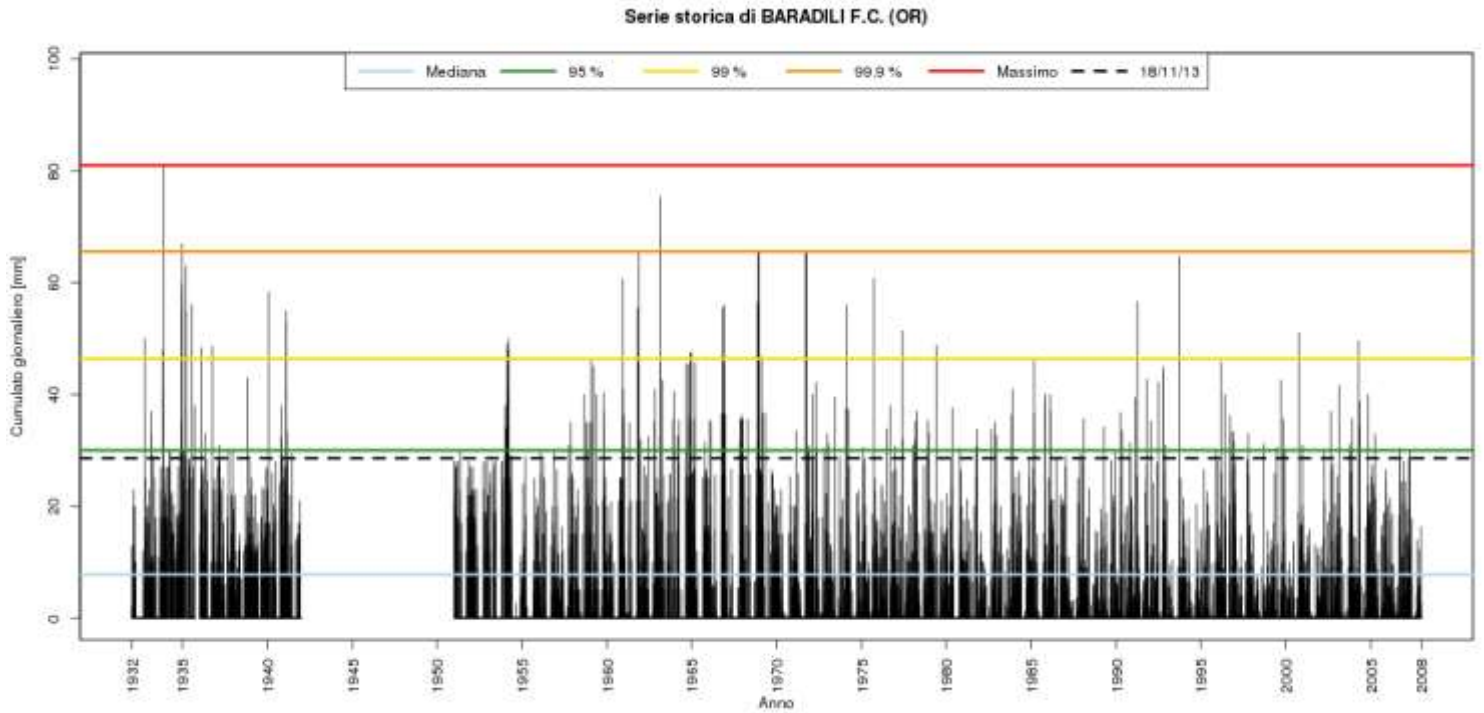
Istogramma serie storica di ALES (OR)



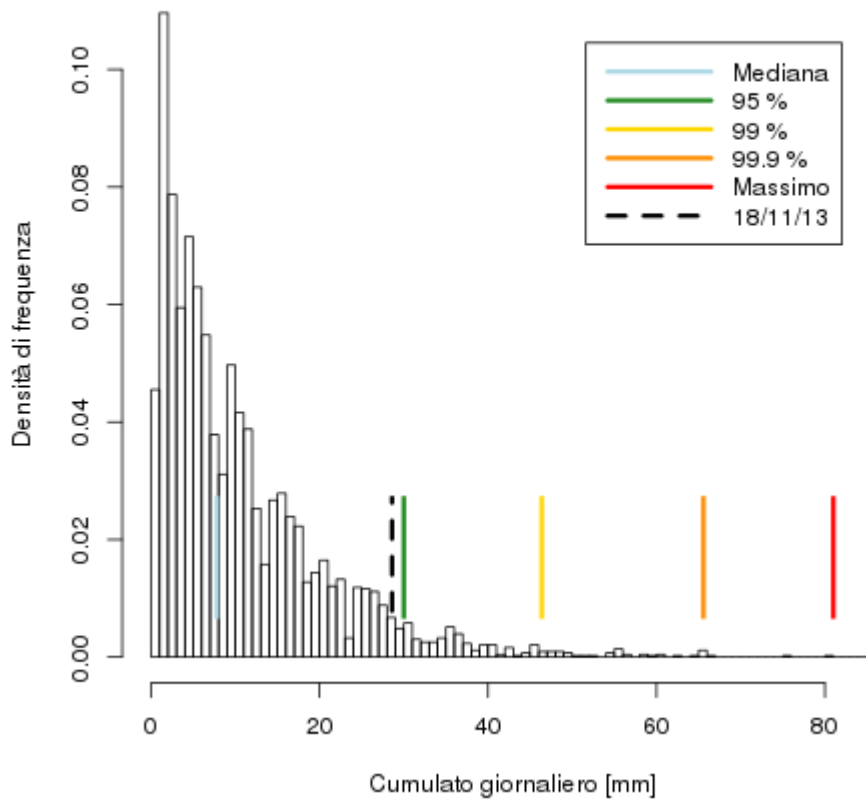


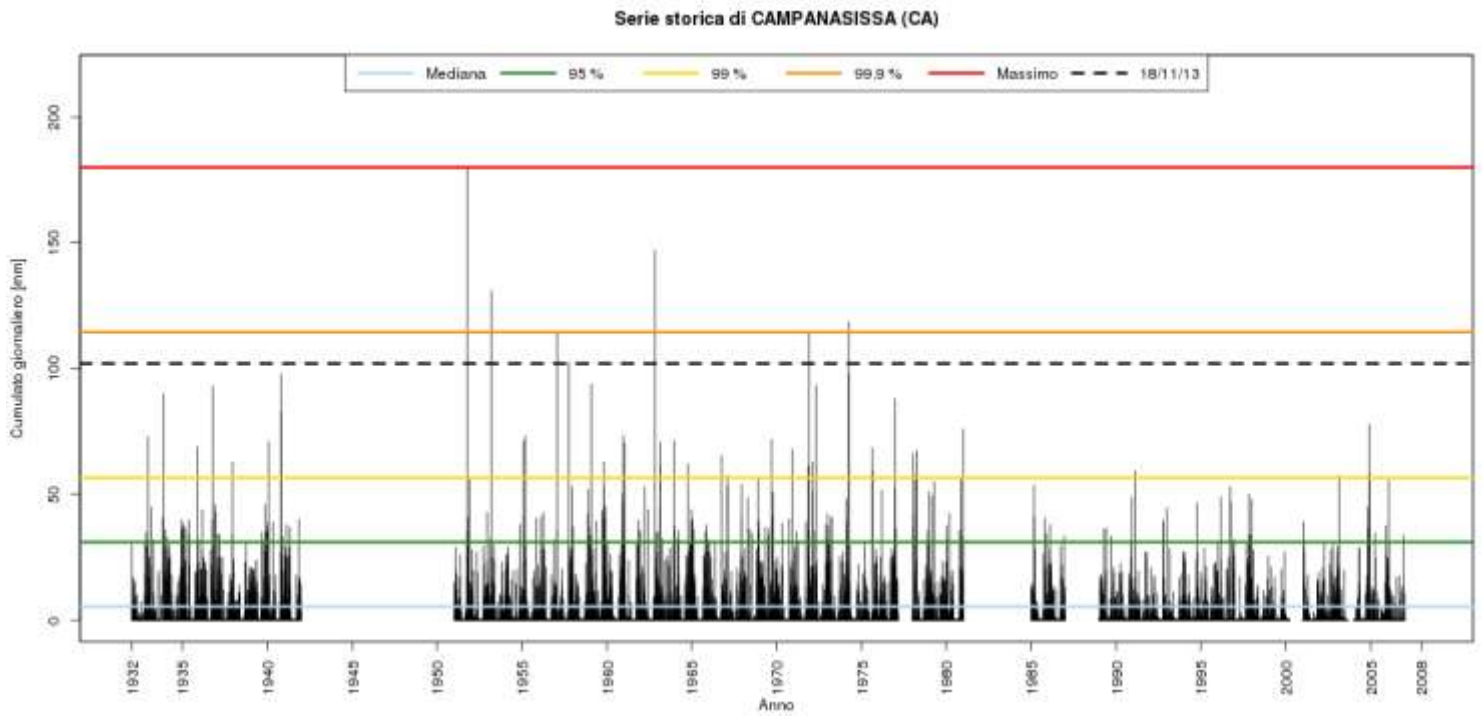
Istogramma serie storica di BAULADU (OR)



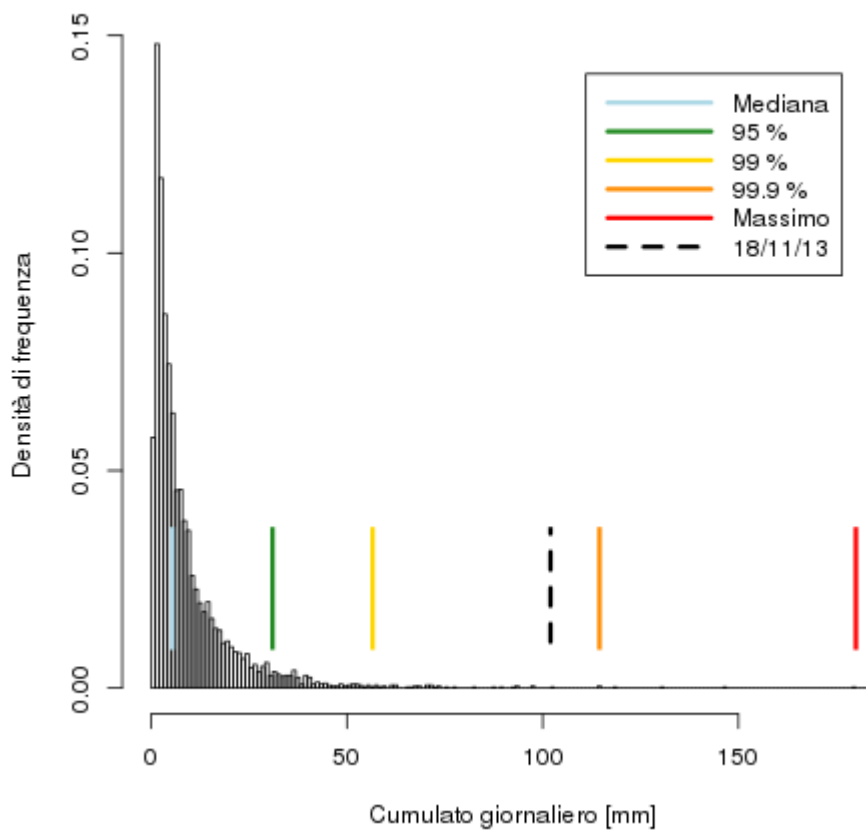


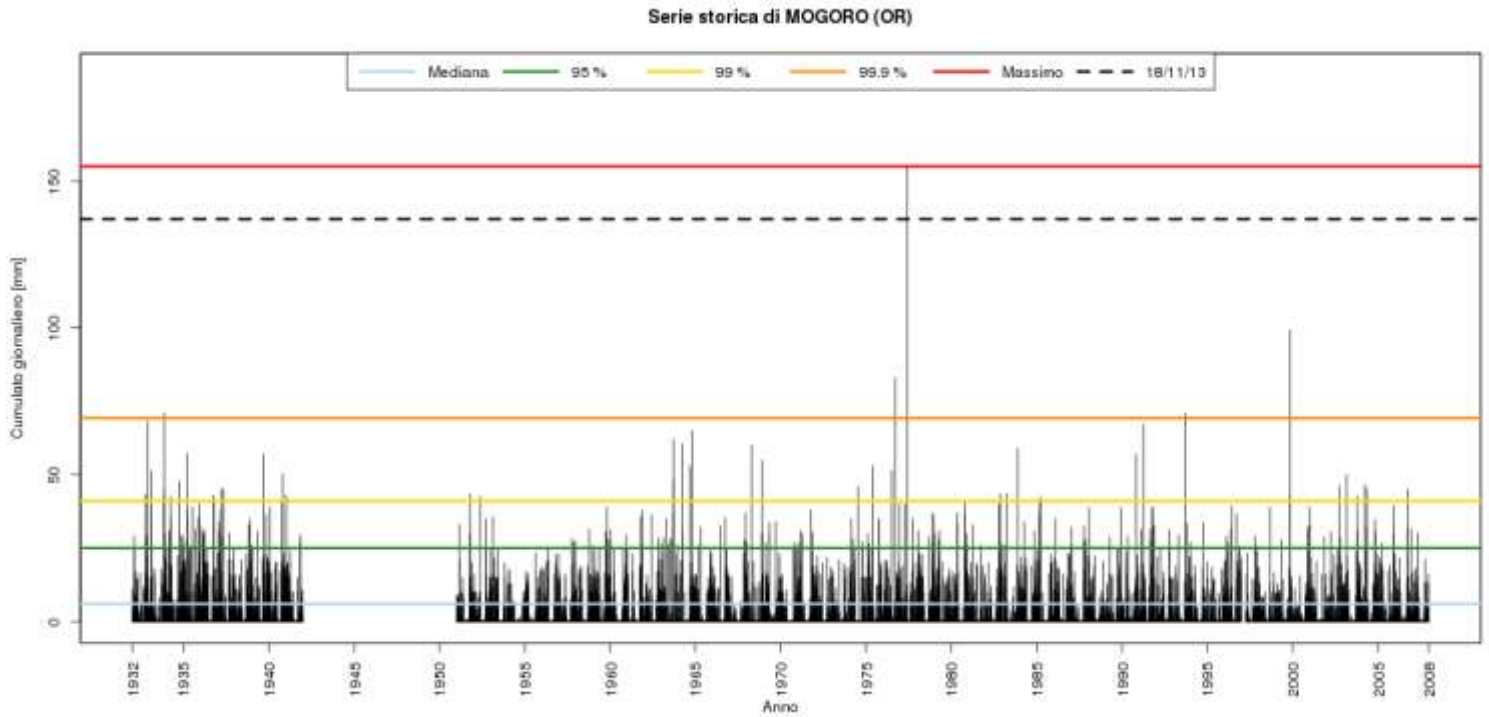
Istogramma serie storica di BARADILI F.C. (OR)



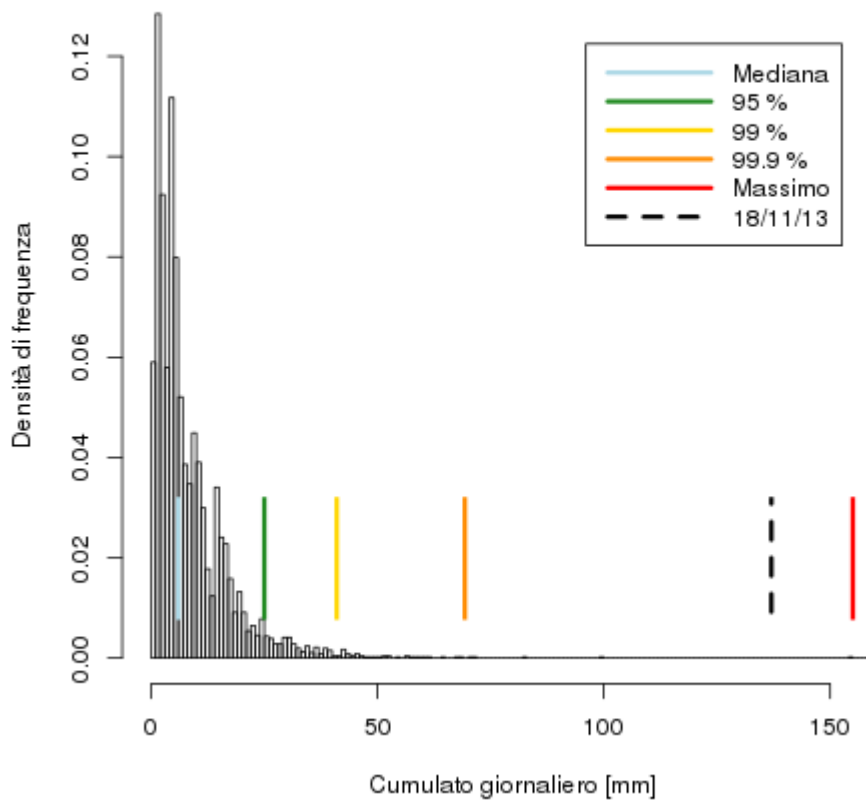


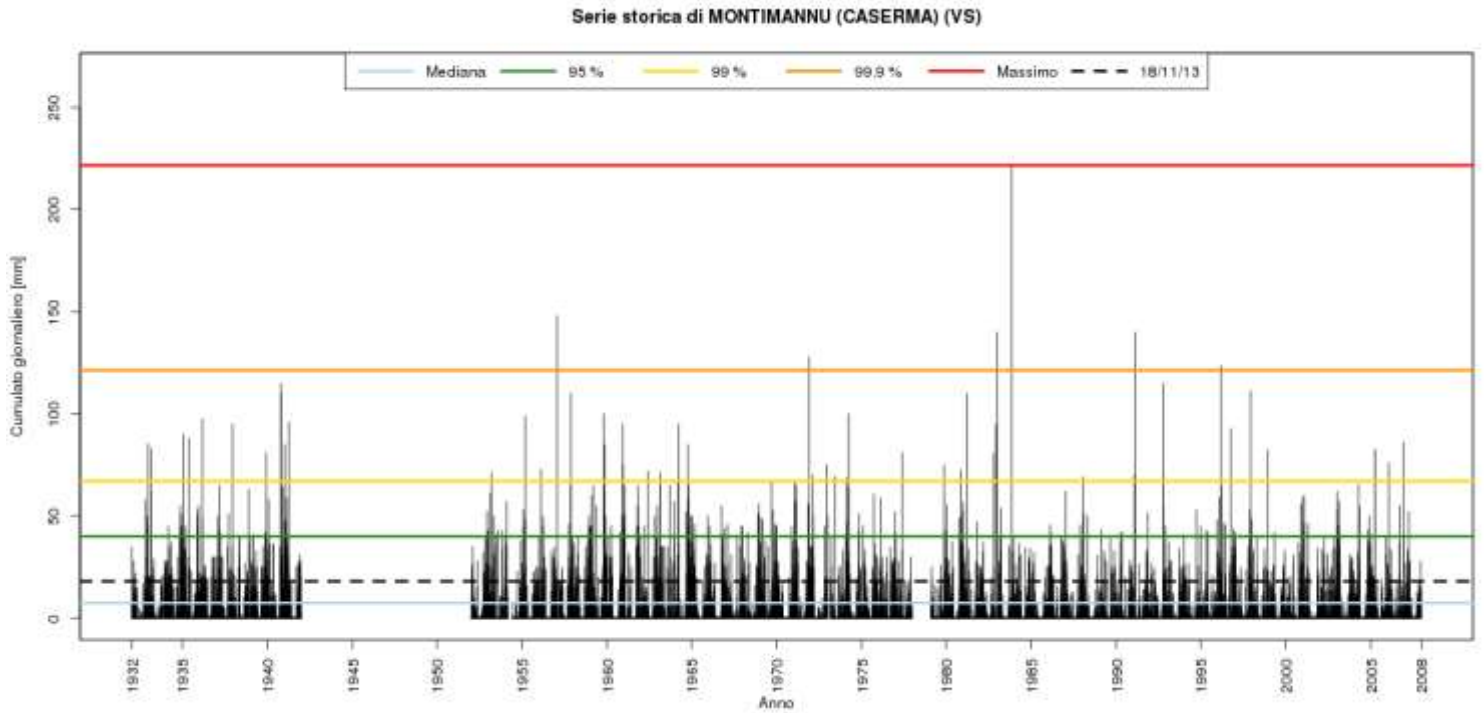
Istogramma serie storica di CAMPANASSISSA (CA)



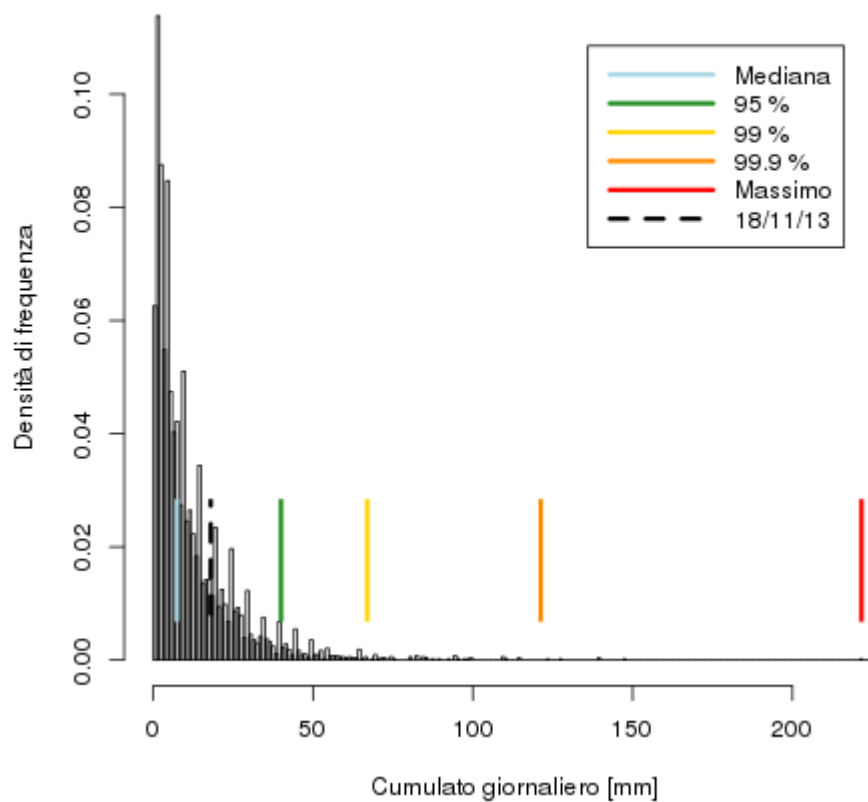


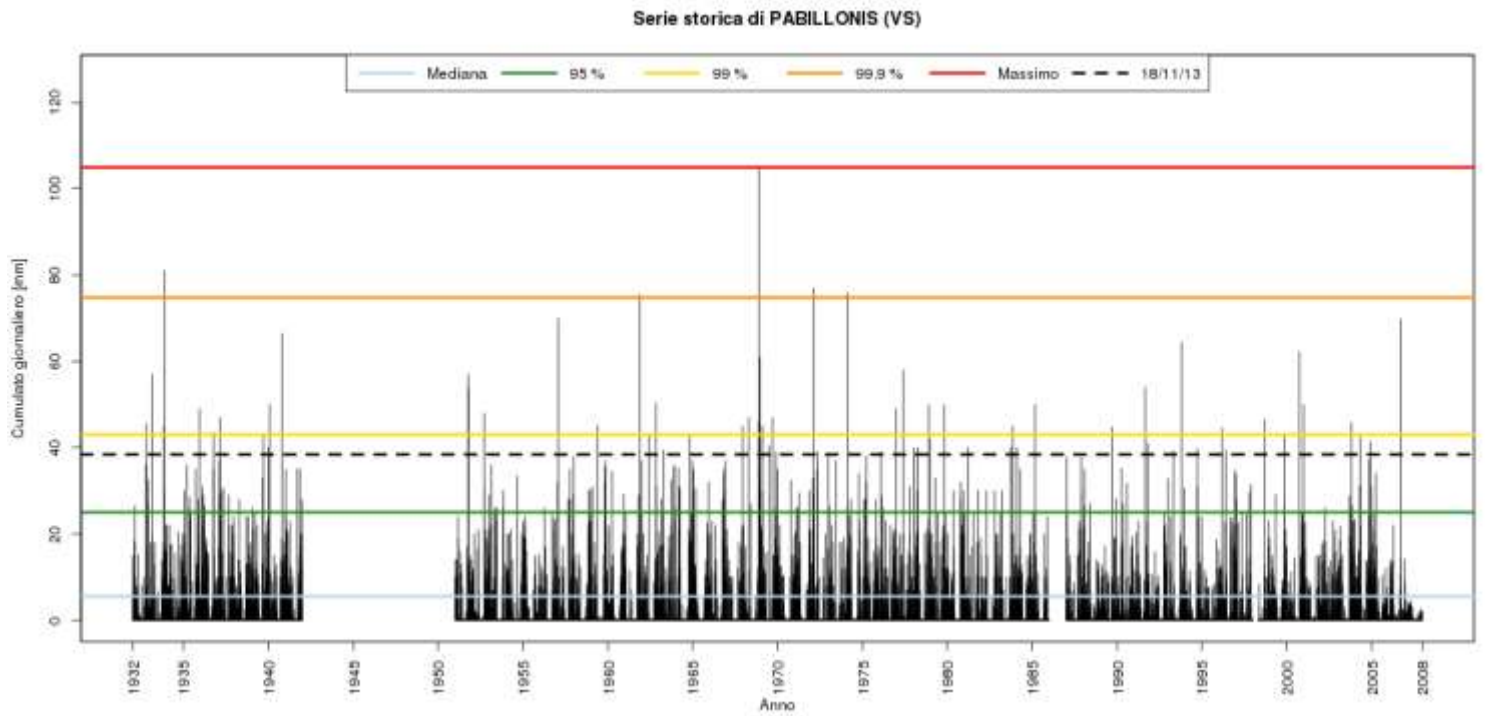
Istogramma serie storica di MOGORO (OR)



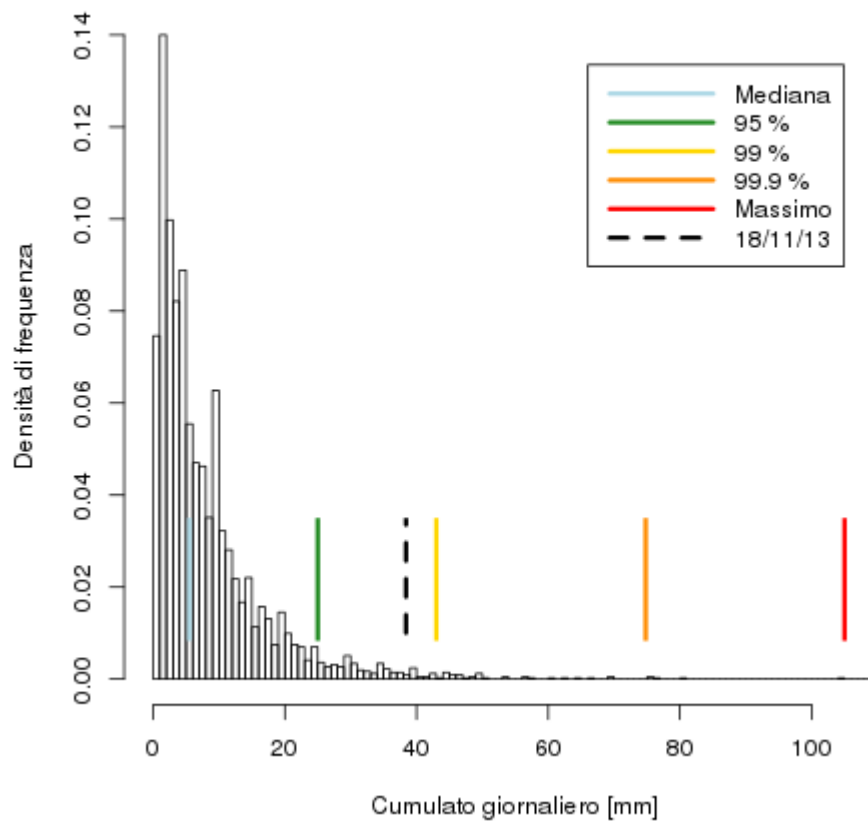


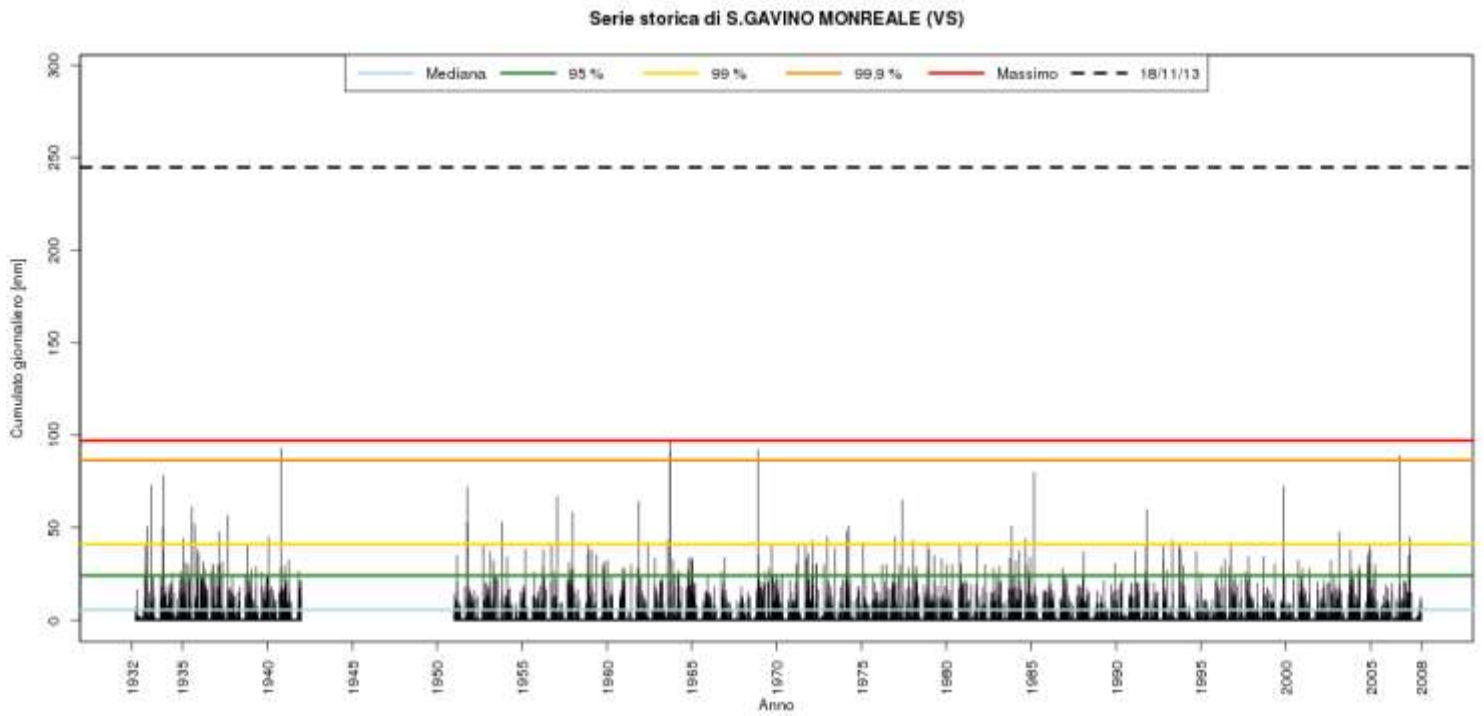
Istogramma serie storica di MONTIMANNU (CASERMA) (VS)



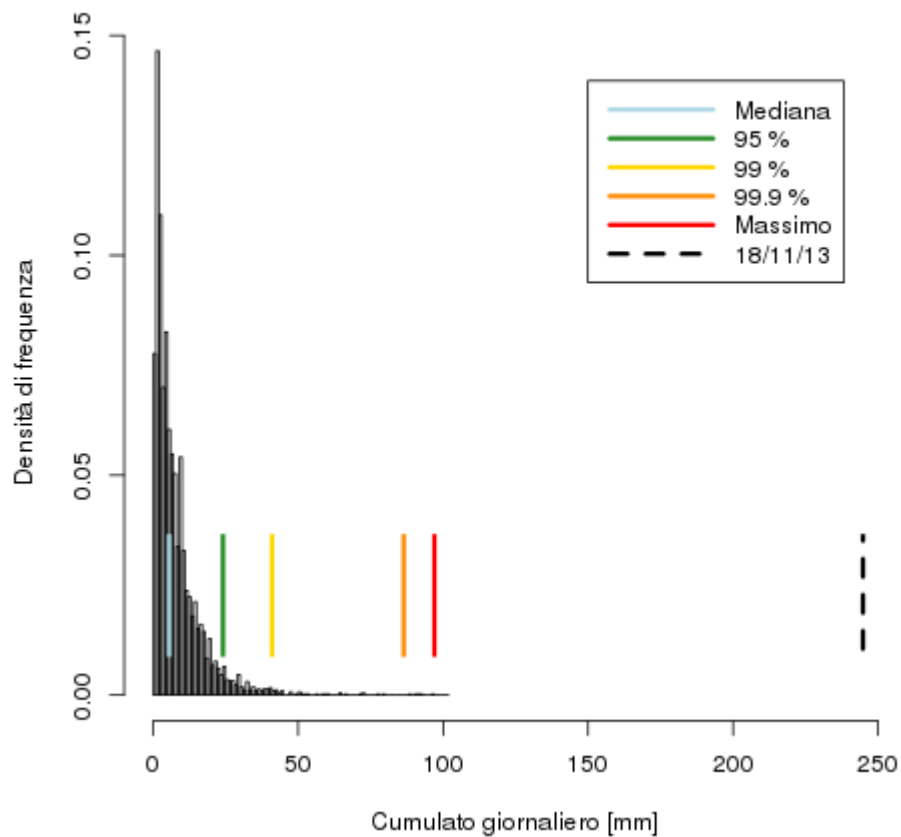


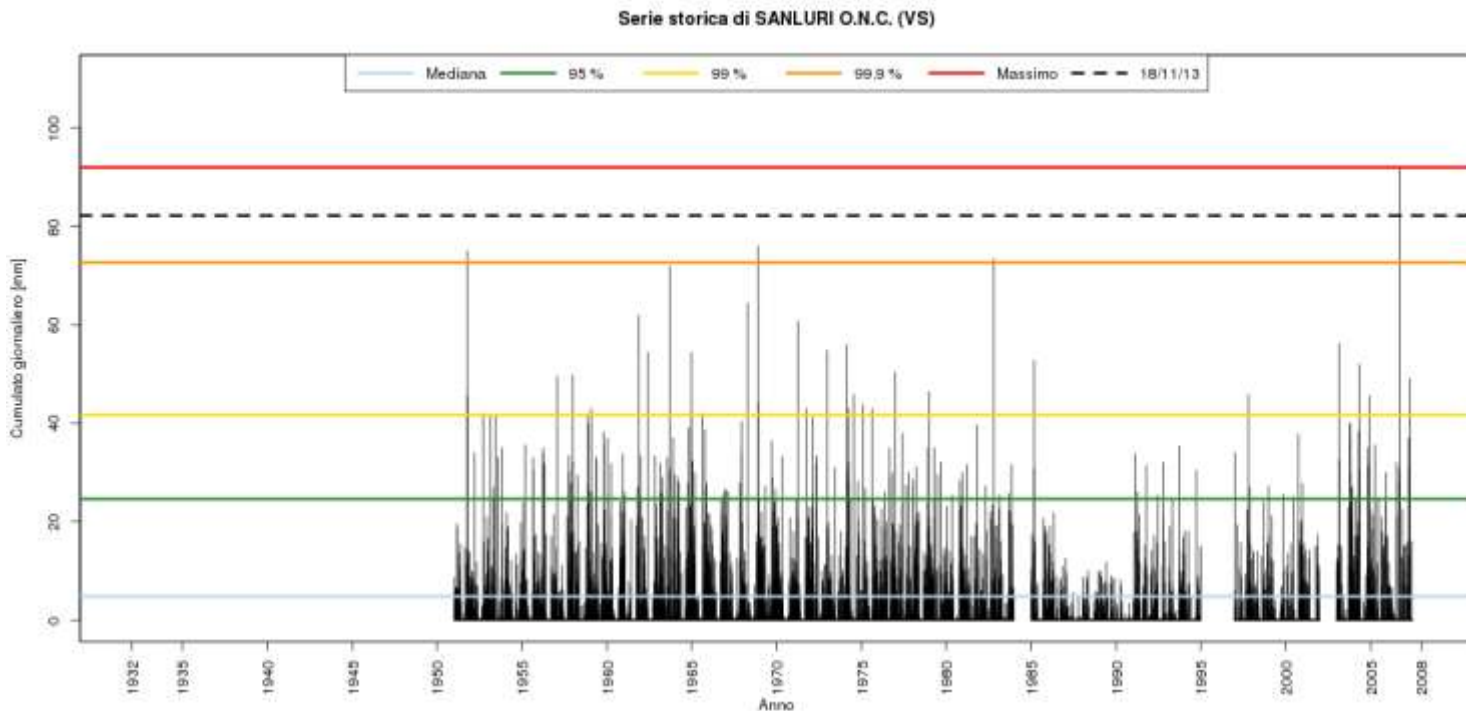
Istogramma serie storica di PABILLONIS (VS)



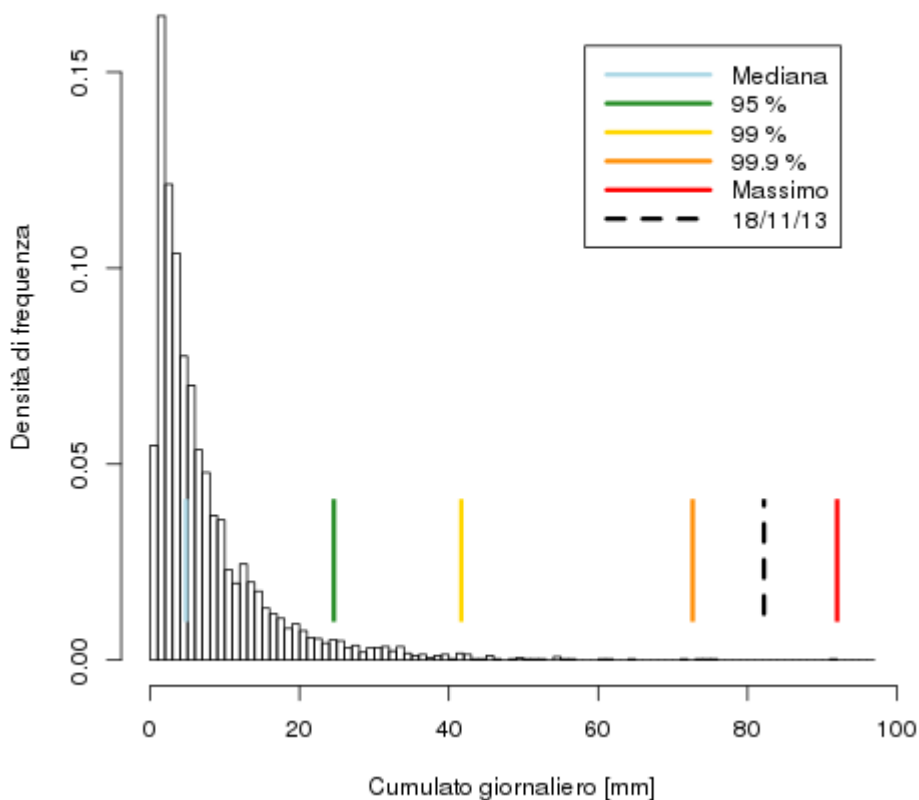


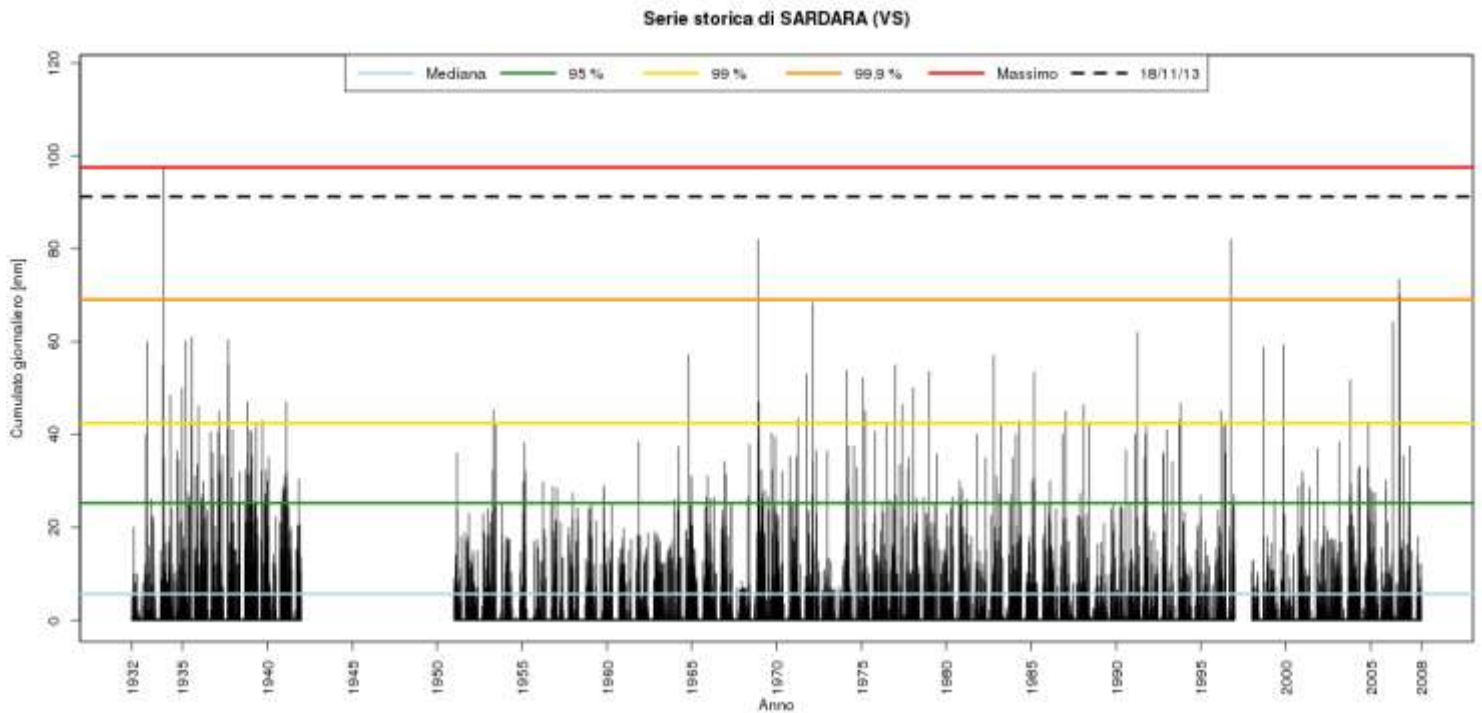
Istogramma serie storica di S.GAVINO MONREALE (VS)



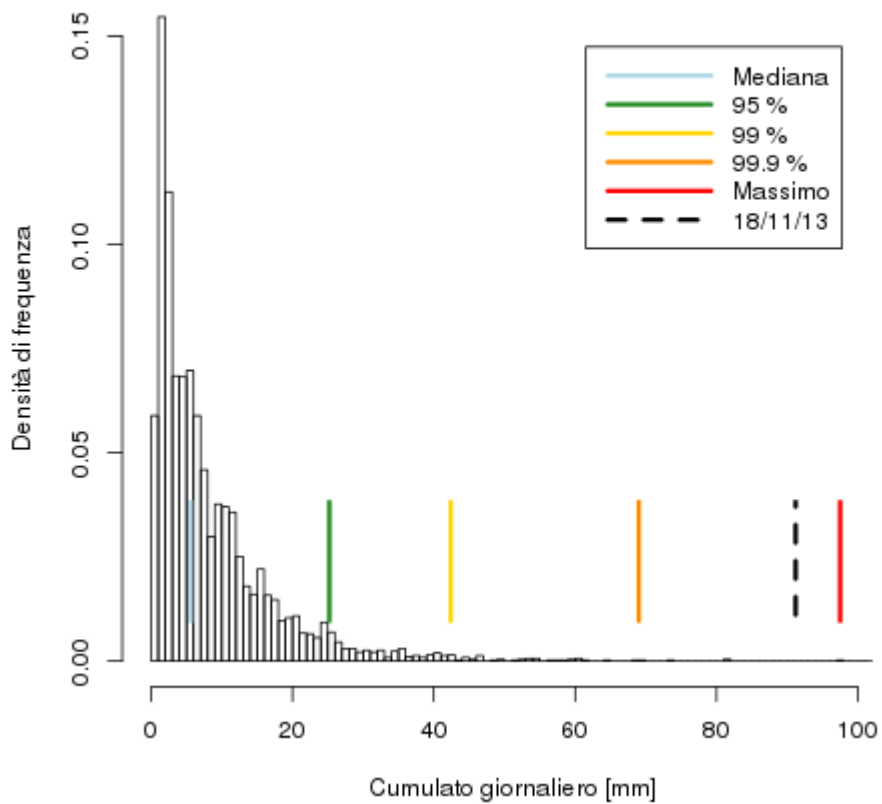


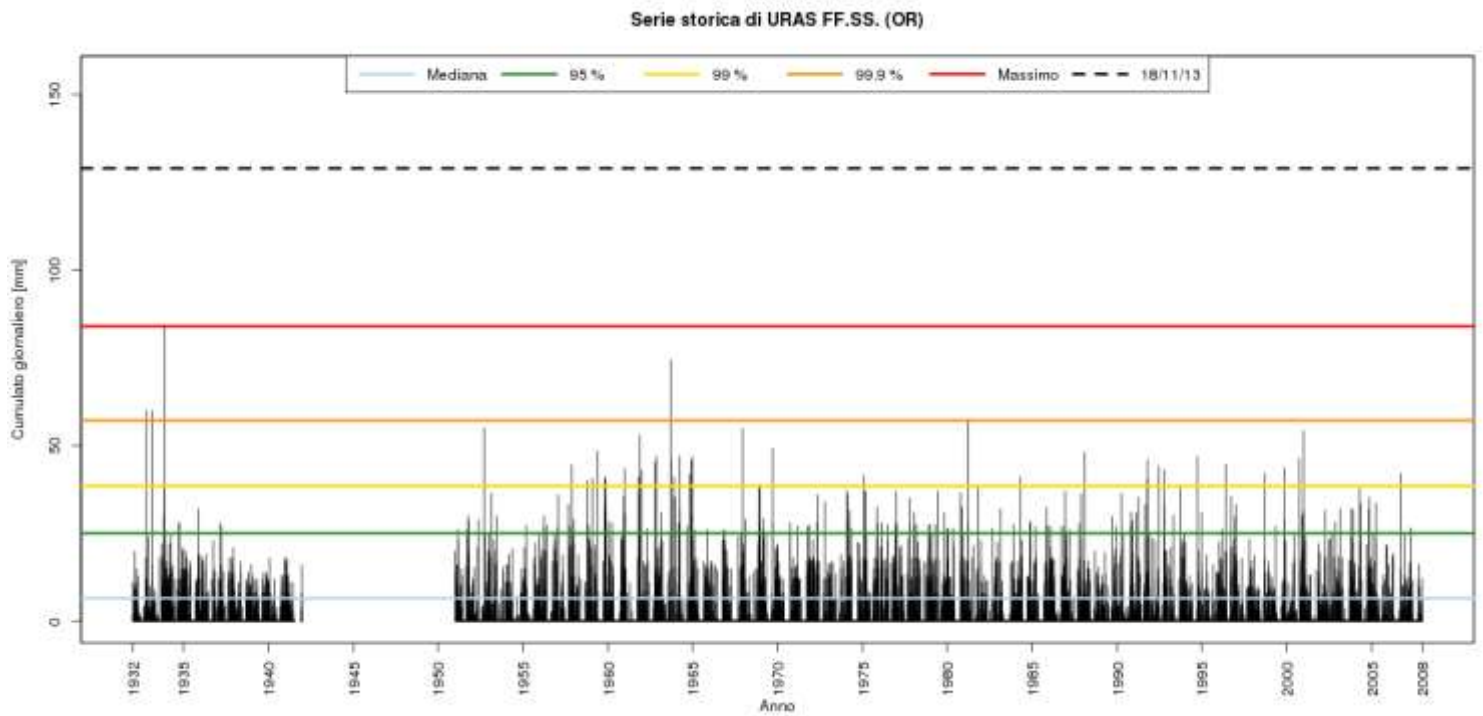
Istogramma serie storica di SANLURI O.N.C. (VS)



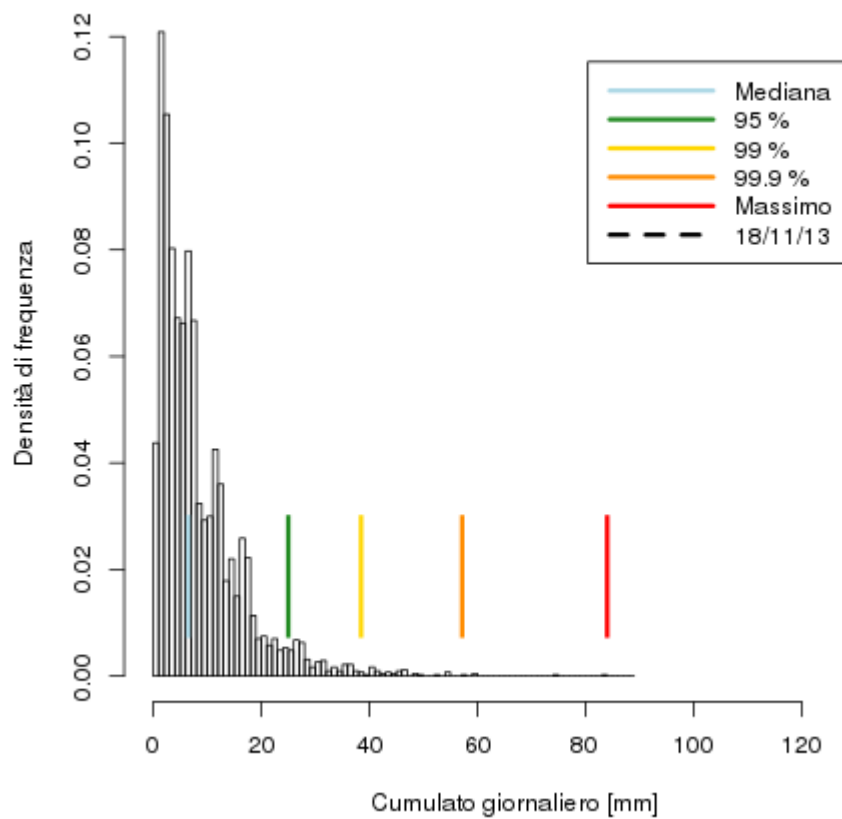


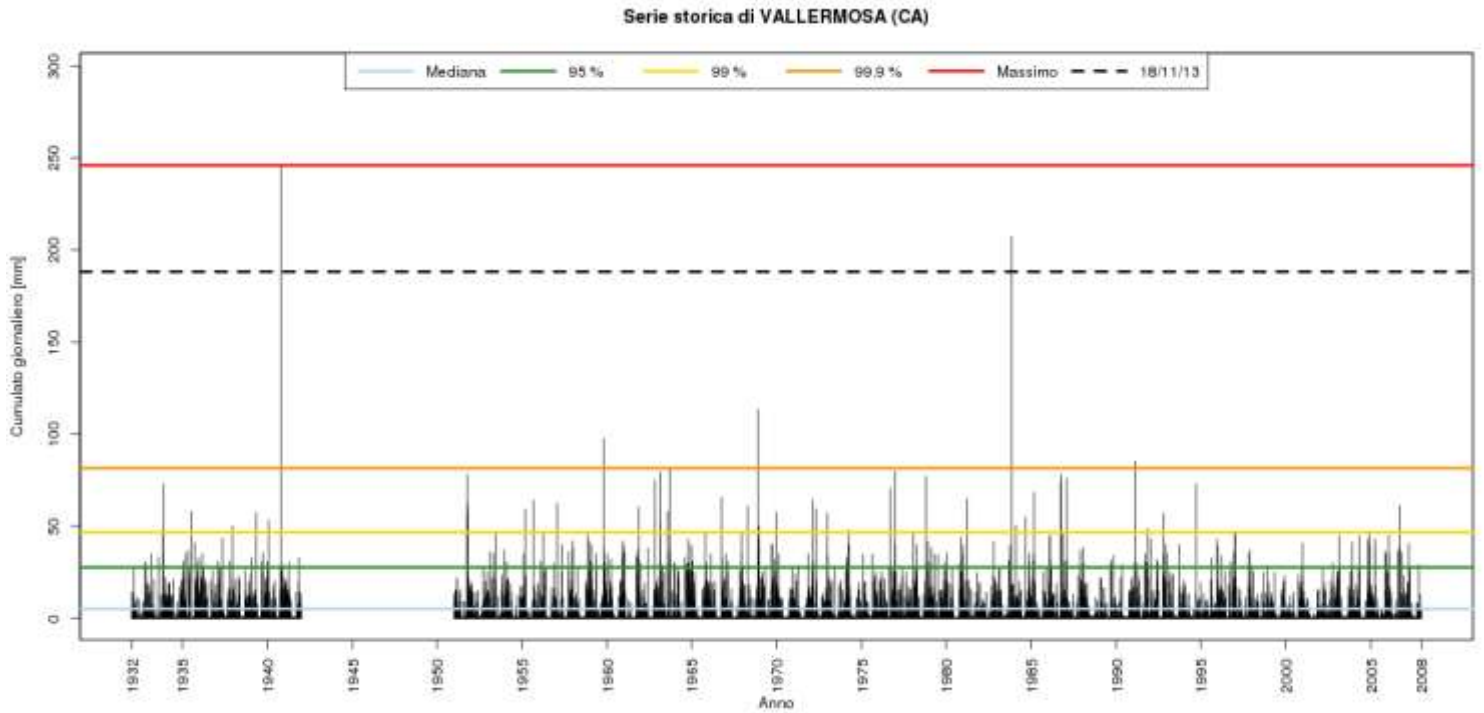
Istogramma serie storica di SARDARA (VS)



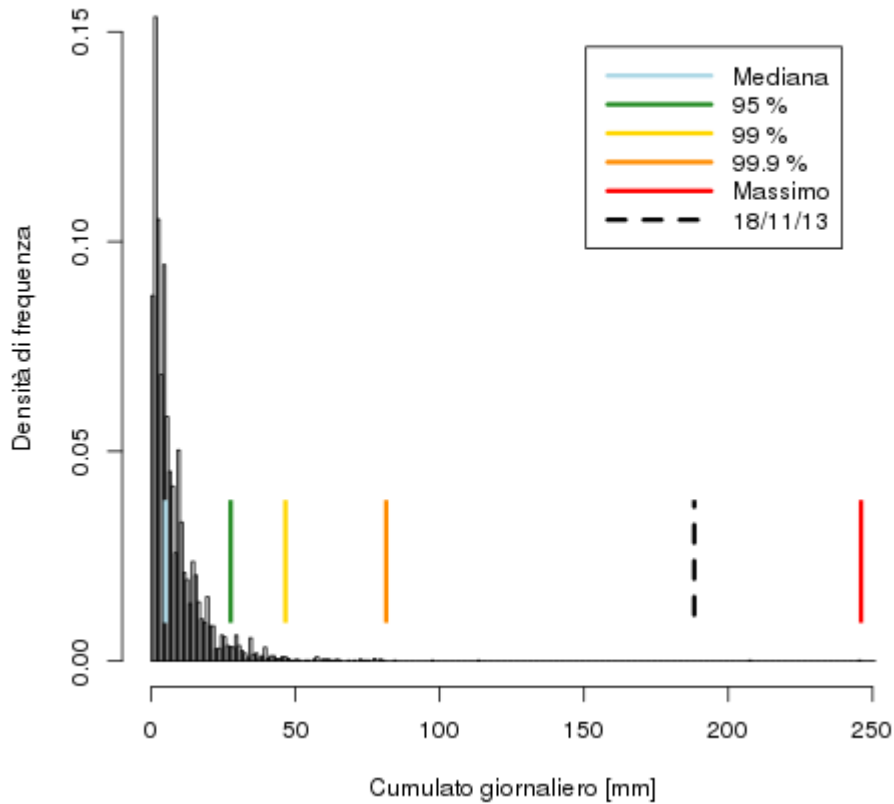


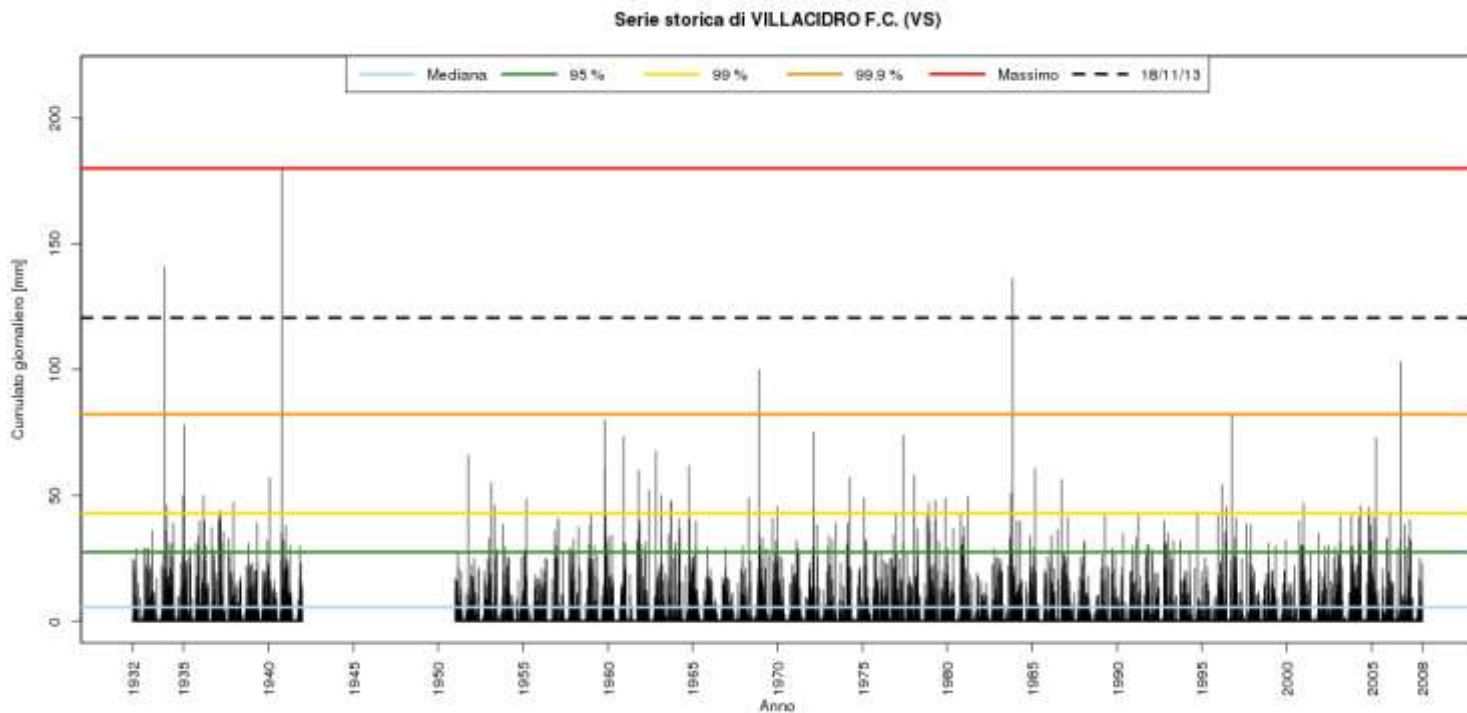
Istogramma serie storica di URAS FF.SS. (OR)



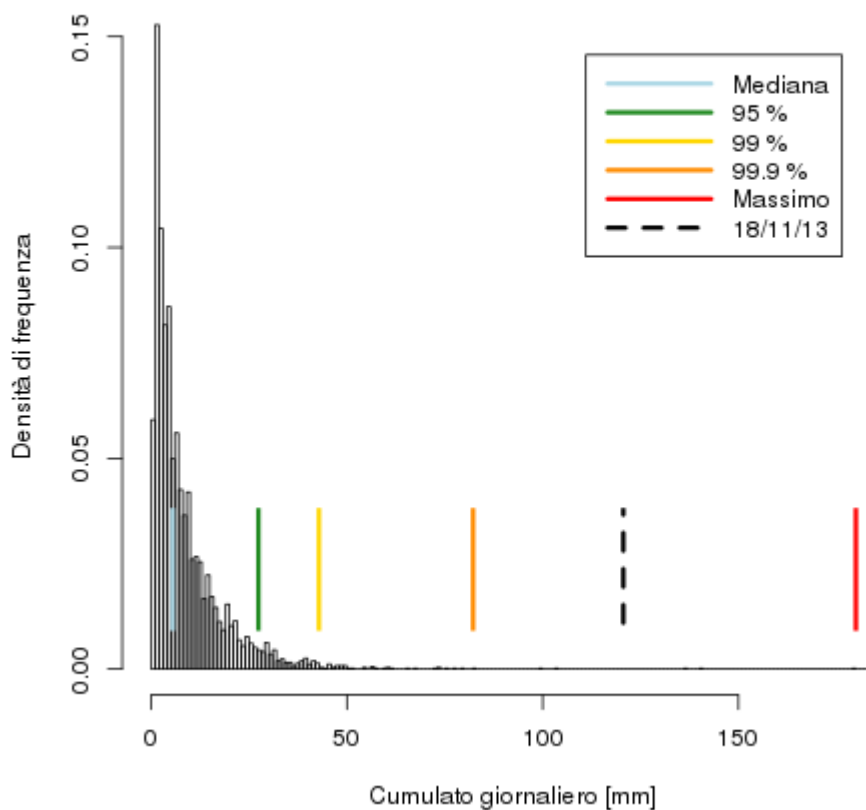


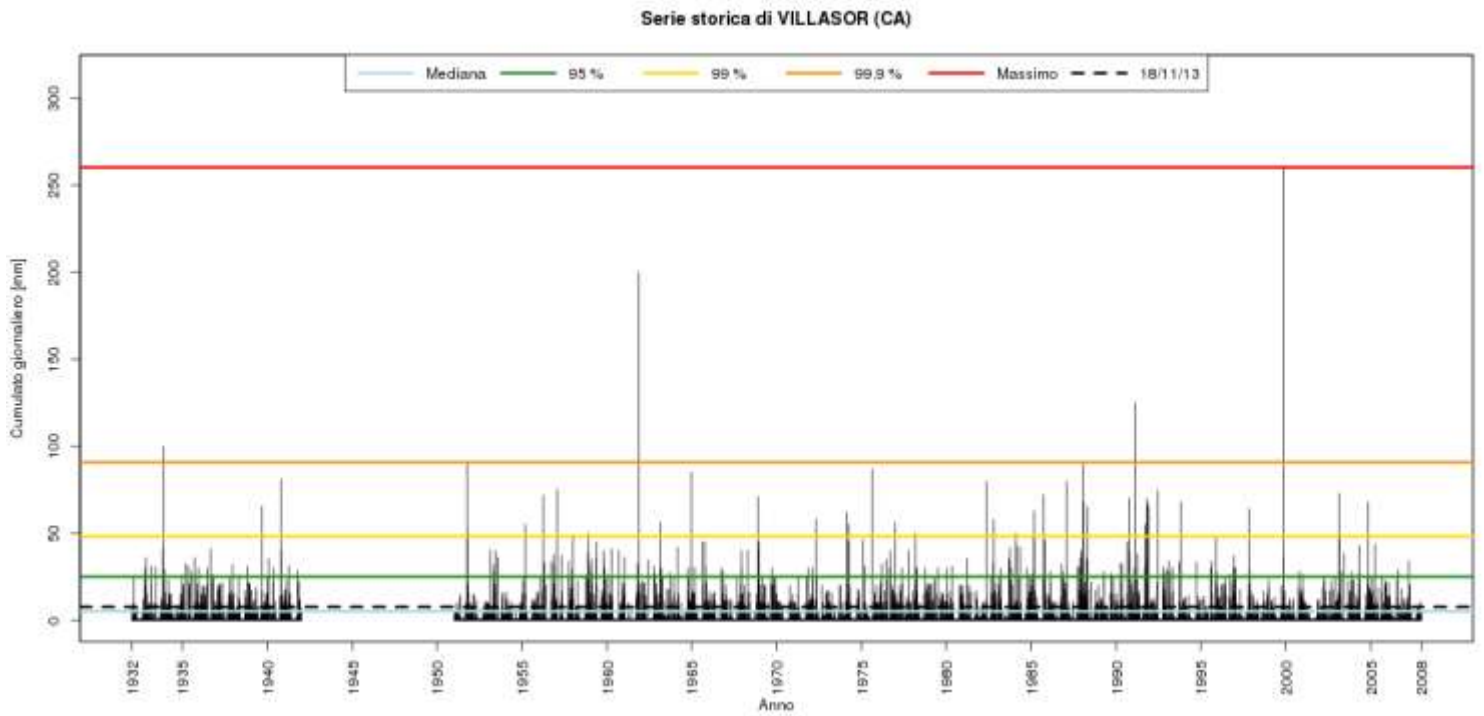
Istogramma serie storica di VALLERMOSA (CA)





Istogramma serie storica di VILLACIDRO F.C. (VS)





Istogramma serie storica di VILLASOR (CA)

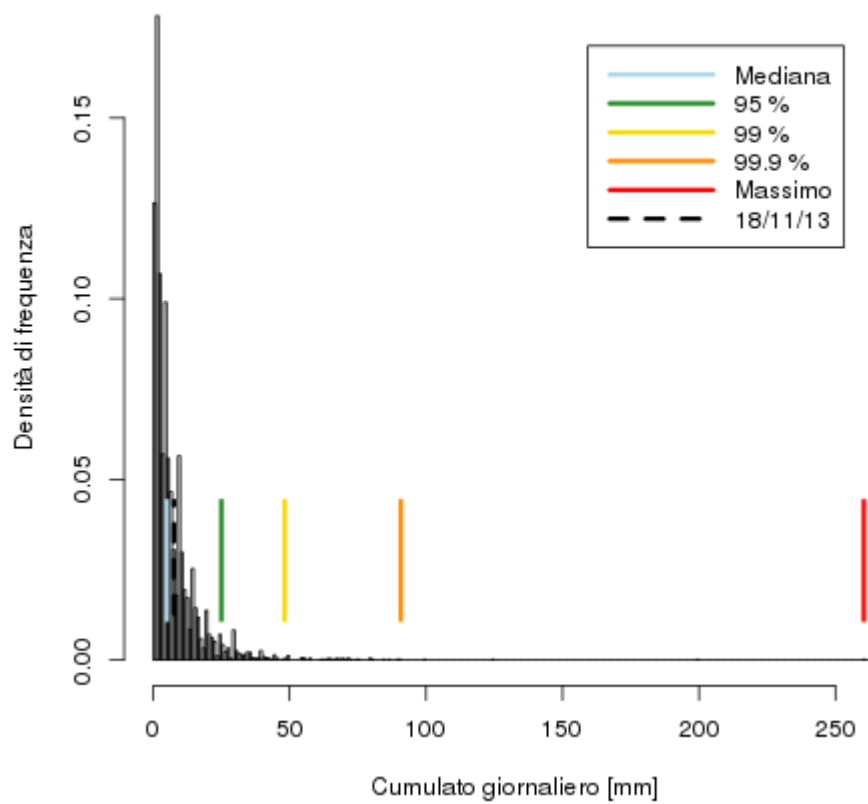
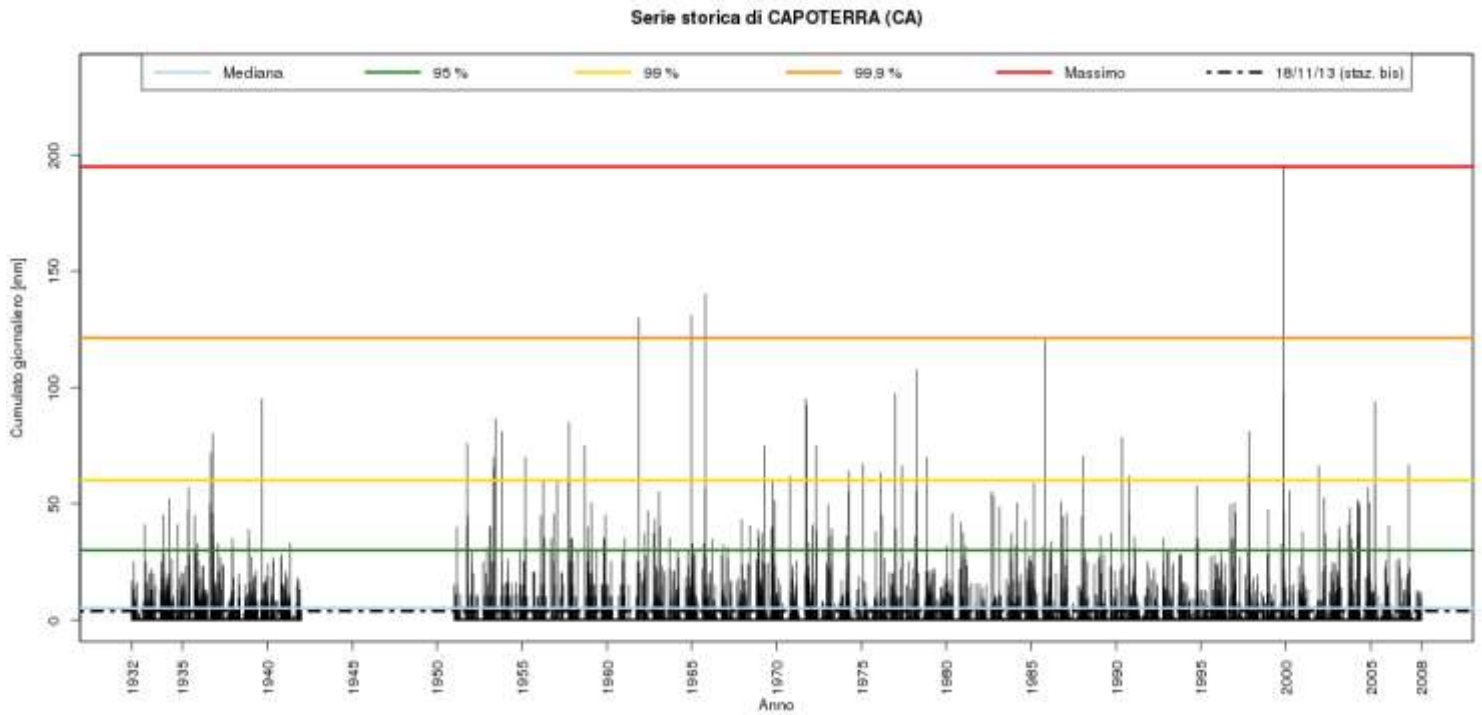


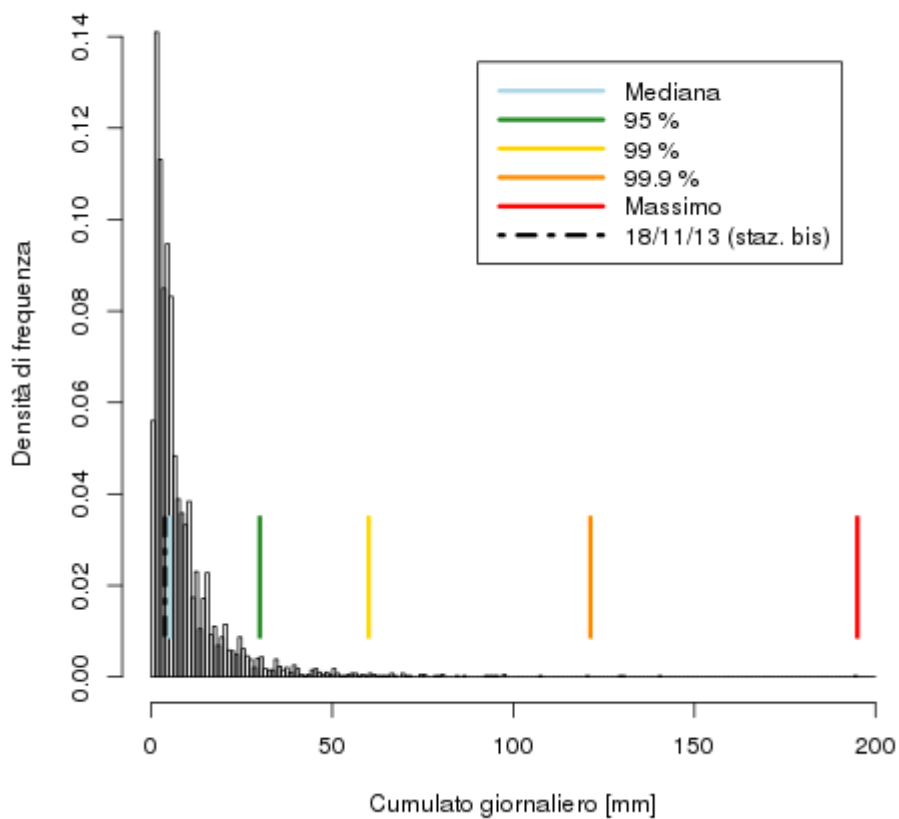
Tabella 1-B

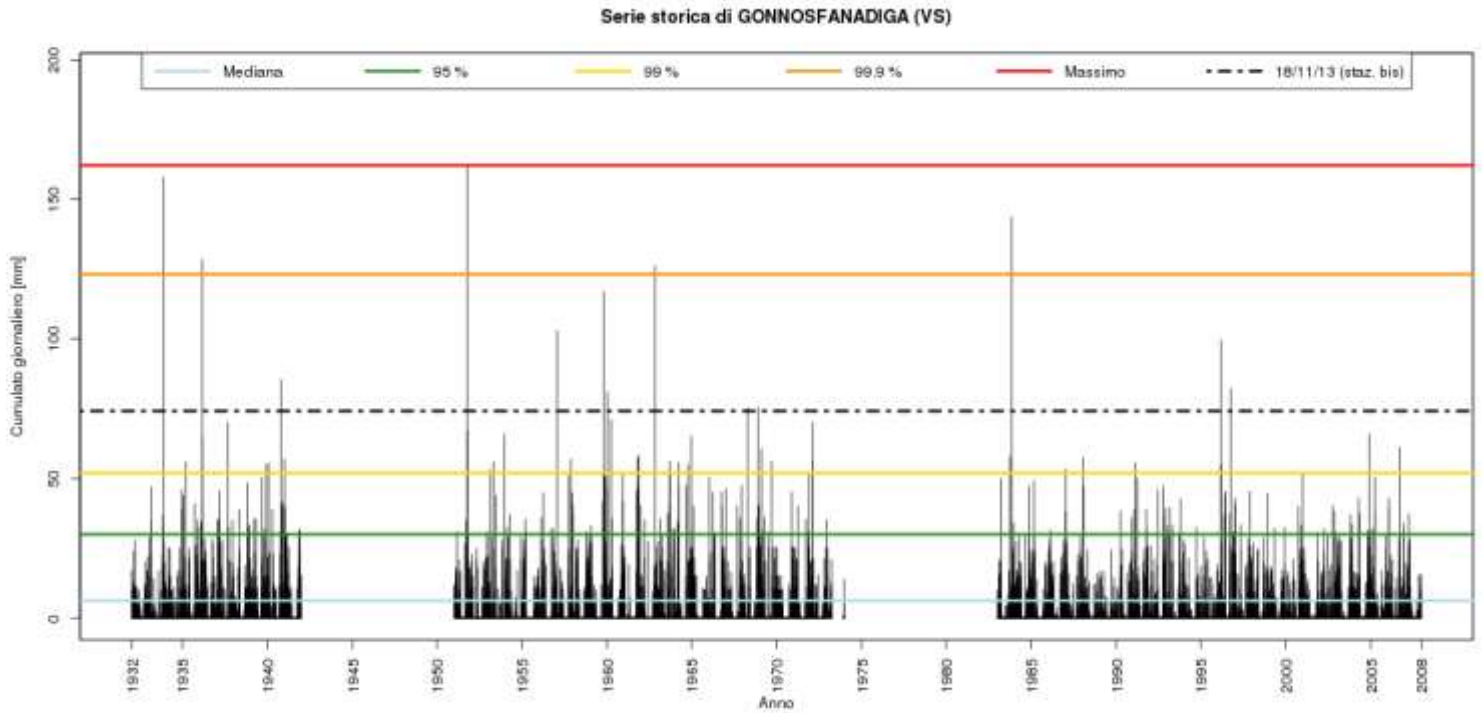
STAZIONE STORICA	LATITUDINE (WGS84)	LONGITUDINE (WGS84)	QUOTA [m]	N° GIORNI SERIE STORICA	N° GIORNI PIOVOSI	MEDIANA [mm]	95-ESIMO PERCENTILE [mm]	99-ESIMO PERCENTILE [mm]	99.9-ESIMO PERCENTILE [mm]	MASSIMO STORICO [mm]	SCARTO ₁₀₀ $\left(\frac{\text{Massimostorico}}{99,9\text{-esimopercentile}} - 1 \right) \%$	CUMULATO DEL 18/11 [mm]	STAZIONE distante e/o non omogenea rispetto alla stazione storica e della quale si dispone del cumulato del 18/11/2013	PROVINCIA	LATITUDINE (WGS84)	LONGITUDINE (WGS84)	QUOTA [m]
CAPOTERRA	39,174754	8,970635	54	24437	3908	5,1	30	60,1	121,3	195	61	3,8	Capoterra	CA	39,157333	8,965306	165
GONNOSFANADIGA	39,492797	8,661740	190	20902	4329	6,2	30	51,9	123,2	162,2	32	74,2	Terramaistus a Gonnosfanadiga	VS	39,505028	8,624056	150



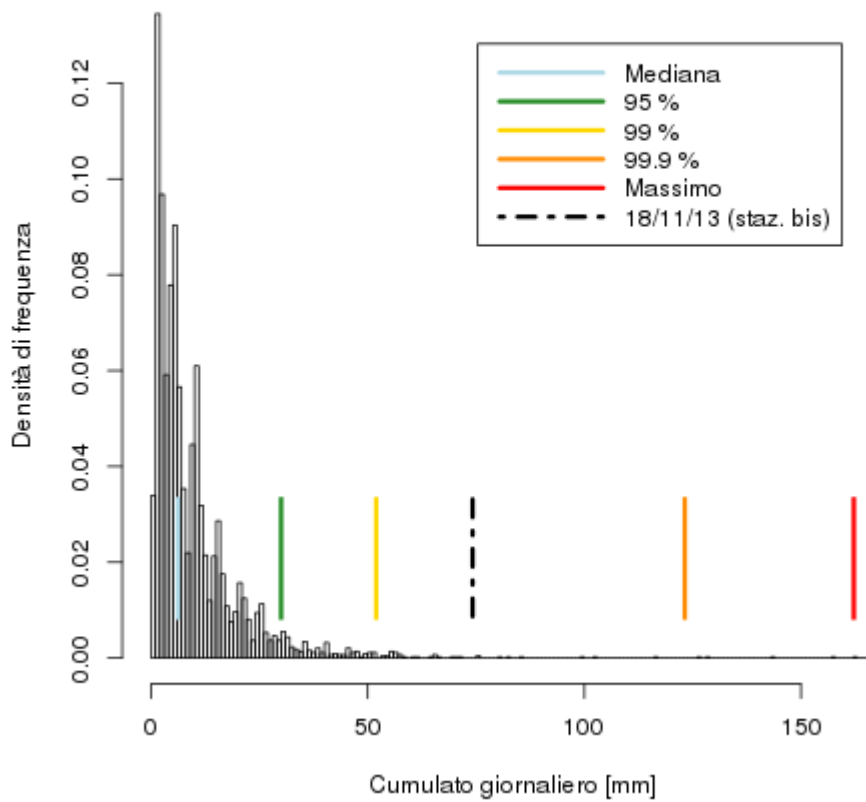


Istogramma serie storica di CAPOTERRA (CA)





Istogramma serie storica di GONNOSFANADIGA (VS)



4.2 Sardegna centro – sud-orientale, Area 2

Figura 4.2.1

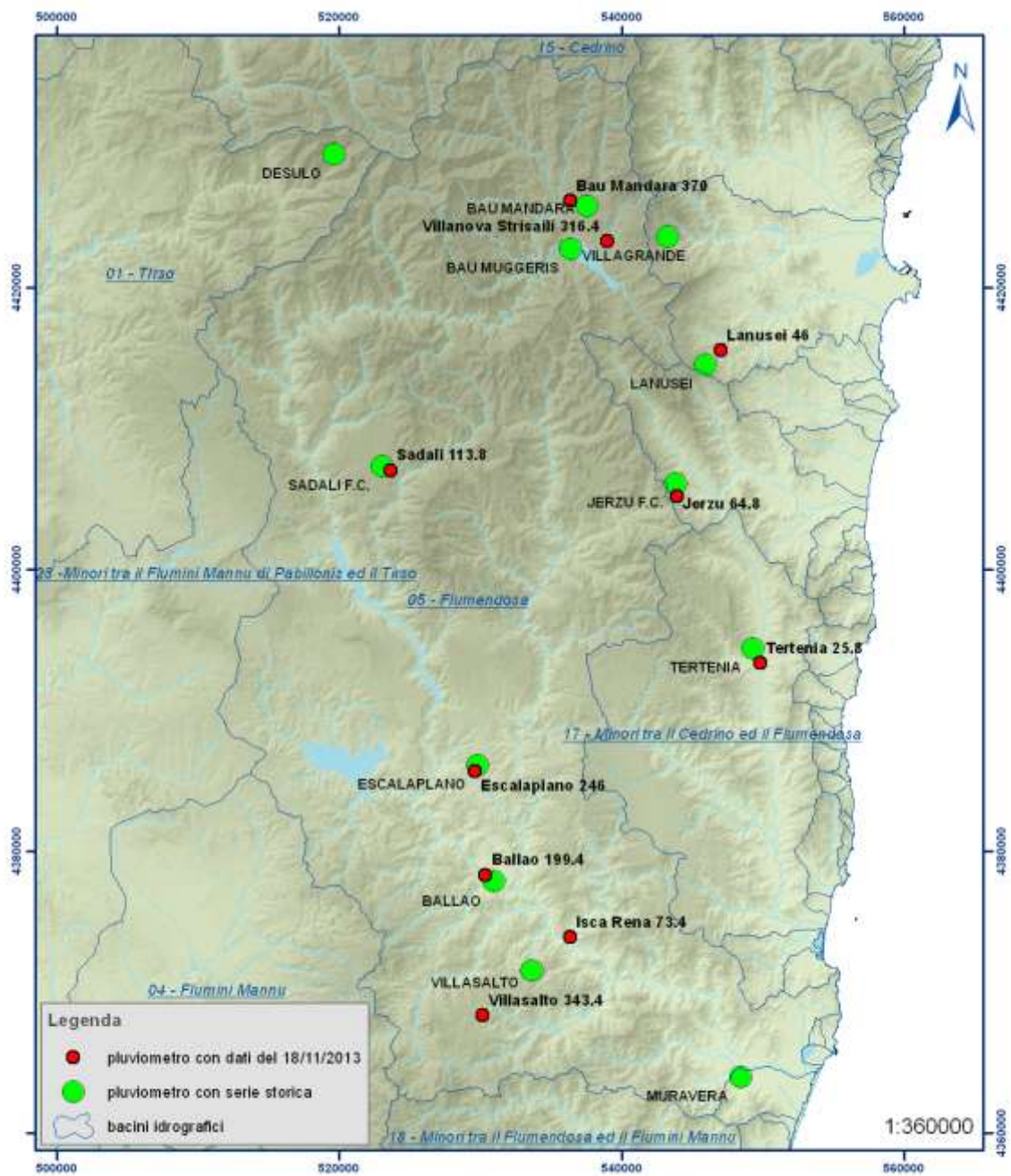
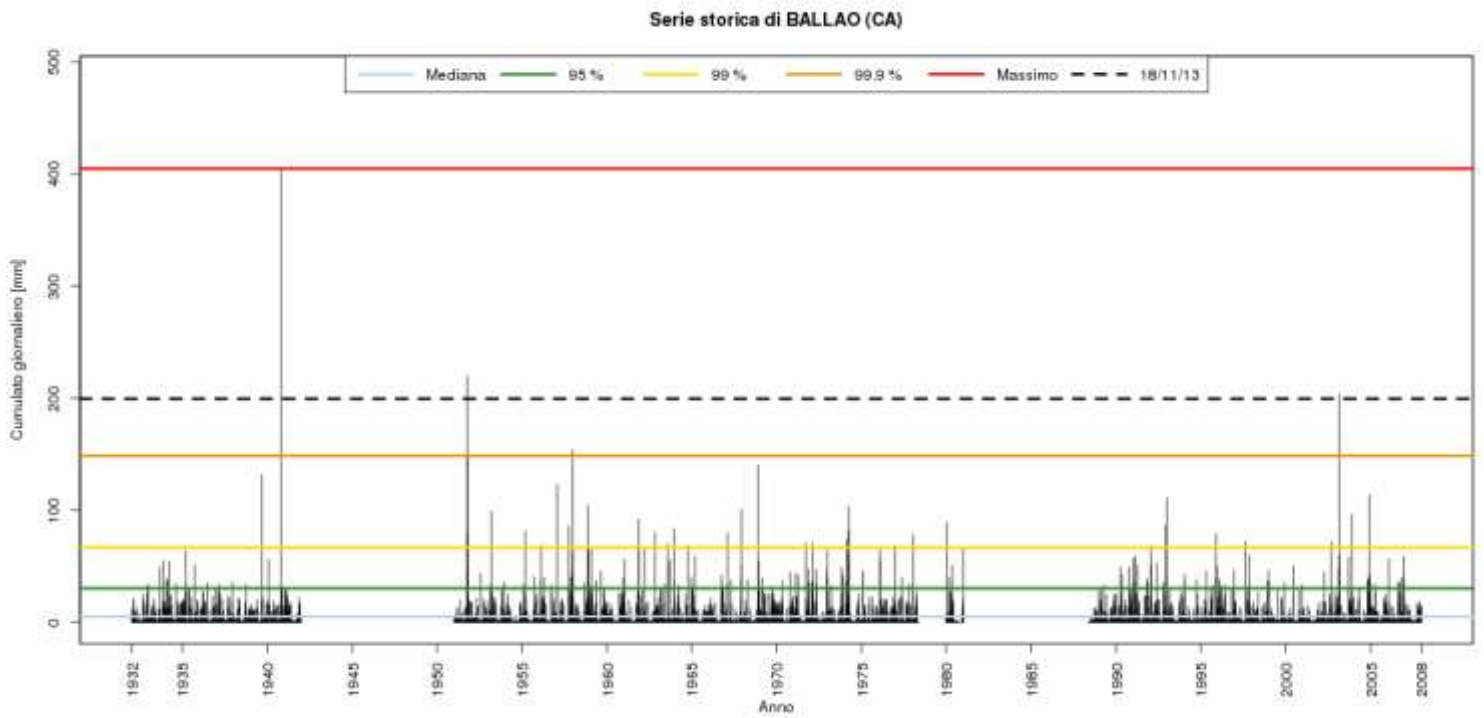


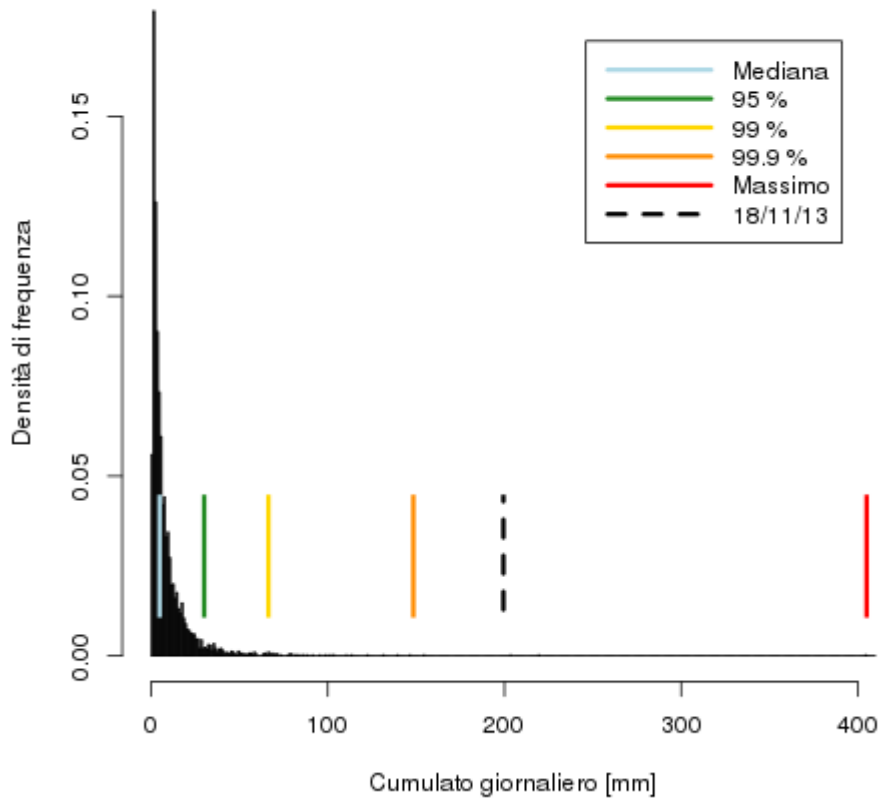
Tabella 2-A

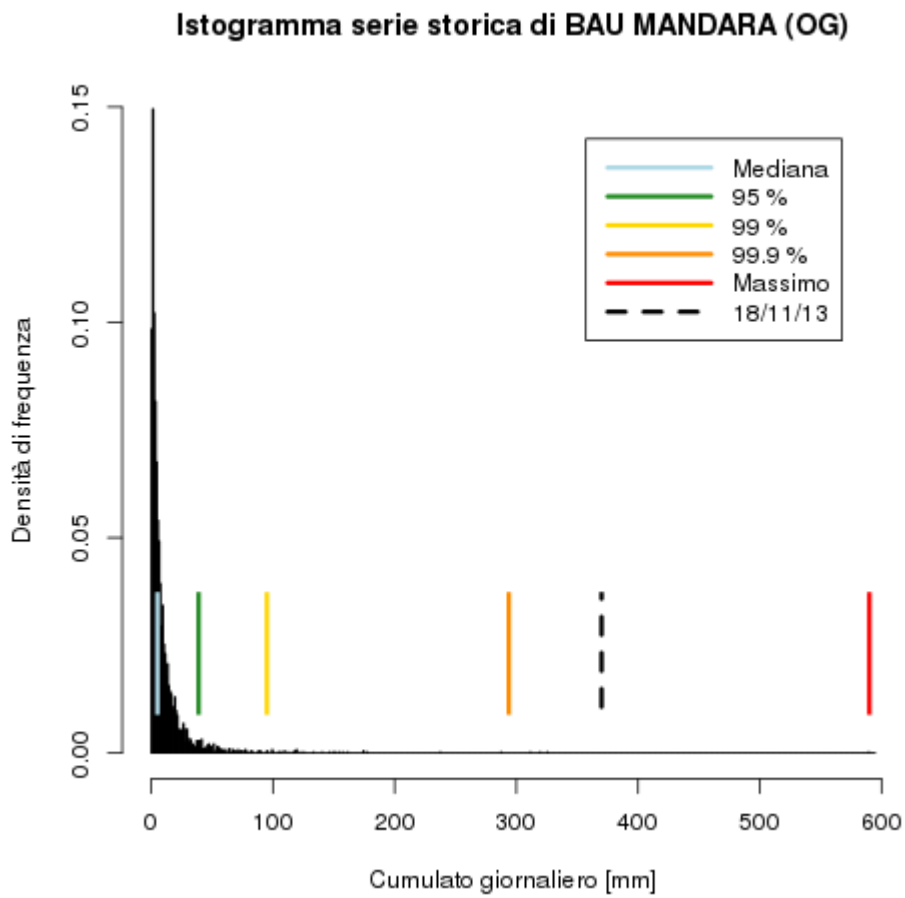
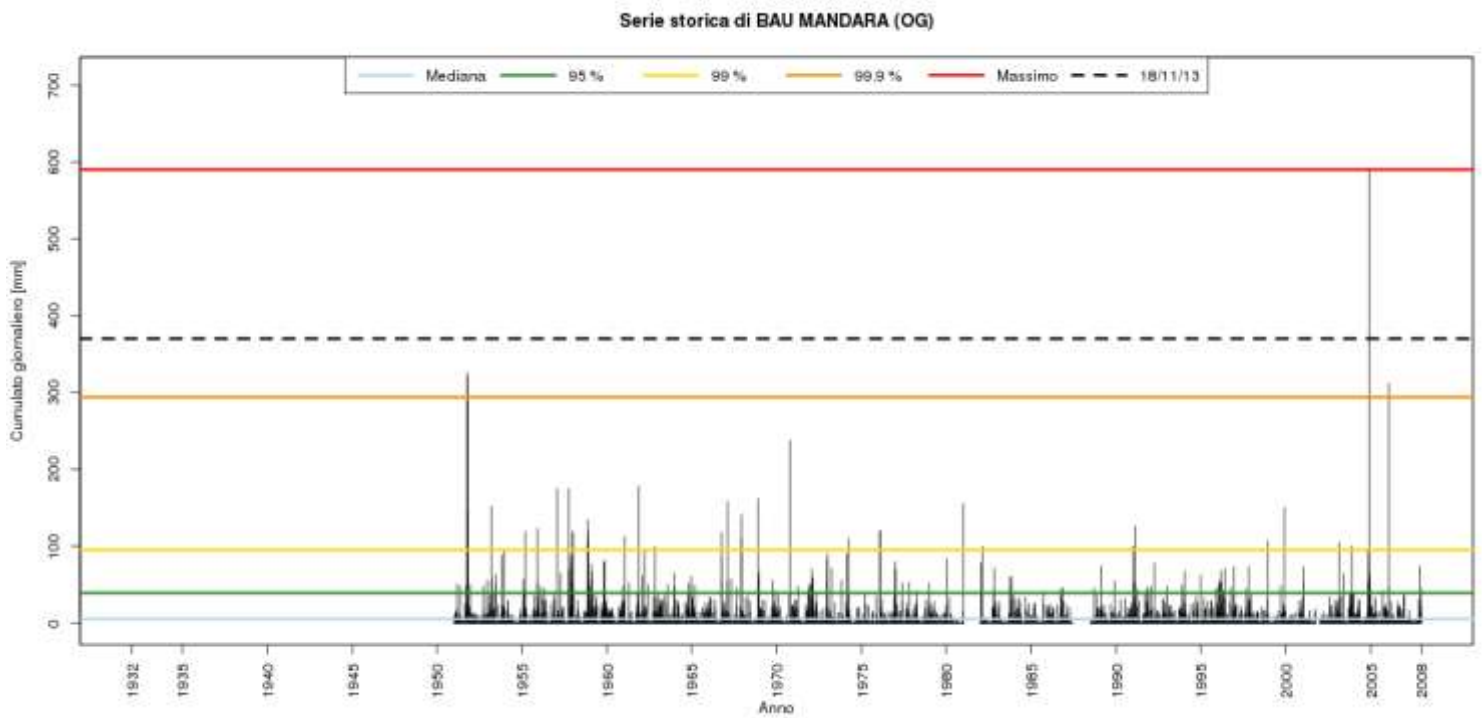
STAZIONE STORICA	PROVINCIA	LATITUDINE (WGS84)	LONGITUDINE (WGS84)	QUOTA [m]	N° GIORNI SERIE STORICA	N° GIORNI PIOVOSI	MEDIANA [mm]	95-ESIMO PERCENTILE [mm]	99-ESIMO PERCENTILE [mm]	99.9-ESIMO PERCENTILE [mm]	MASSIMO STORICO [mm]	SCARTO $100 \left(\frac{\text{Massimostorico}}{99.9\text{-esimopercentile}} - 1 \right) \%$	CUMULATO DEL 18/11 [mm]	STAZIONE coincidente (*) o prossima alla stazione storica e della quale si dispone del cumulado del 18/11/2013	LATITUDINE (WGS84)	LONGITUDINE (WGS84)	QUOTA [m]
BALLAO	CA	39,549677	9,360149	100	21044	3805	4,8	30	66,4	148,4	405	173	199,4	Ballao	39,553972	9,353472	86
BAU MANDARA	OG	39,980984	9,439935	812	19718	3758	5,2	39	95,1	293,8	590	101	370,0	Bau Mandara	39,984444	9,425889	863
BAU MUGGERIS	OG	39,954005	9,426299	820	20240	4228	5	37,1	100	276,9	548	98	316,4	Villanova Strisaili	39,959745	9,456892	813
ESCALAPLANO	CA	39,624321	9,347602	338	22896	4500	5	31	56,2	134,6	248	84	246,0	Escalaplano	39,620250	9,344861	307
JERZU F.C.	OG	39,803556	9,511578	550	23160	4659	5,4	43,6	92,7	185,8	371	100	64,8	Jerzu	39,795500	9,512972	576
SADALI F.C.	CA	39,815454	9,269348	763	23639	4983	7	33,2	56,4	103	149,7	45	113,8	Sadali	39,812778	9,275972	759
TERTENIA	OG	39,698020	9,575415	139	24182	3890	6,4	50	110	202,4	317	57	25,8	Tertenia	39,688389	9,581556	104

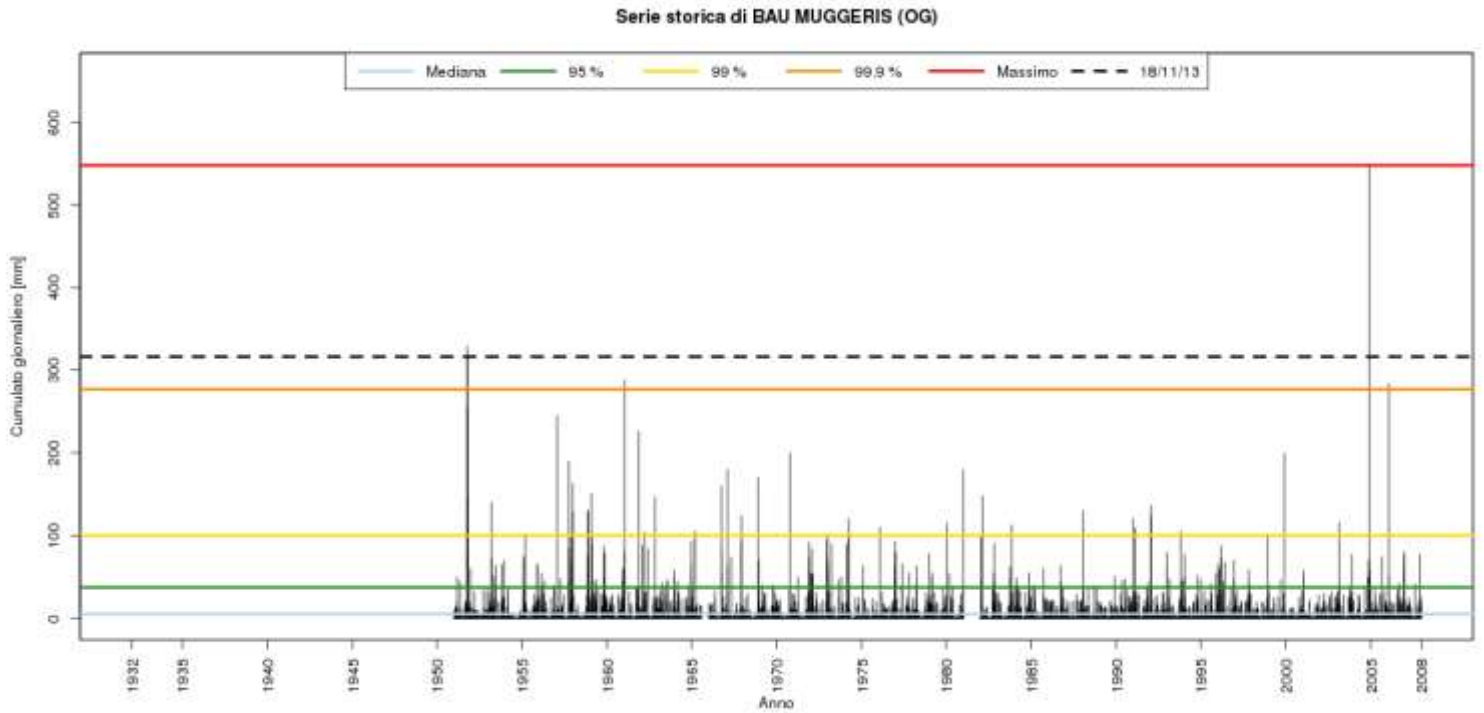




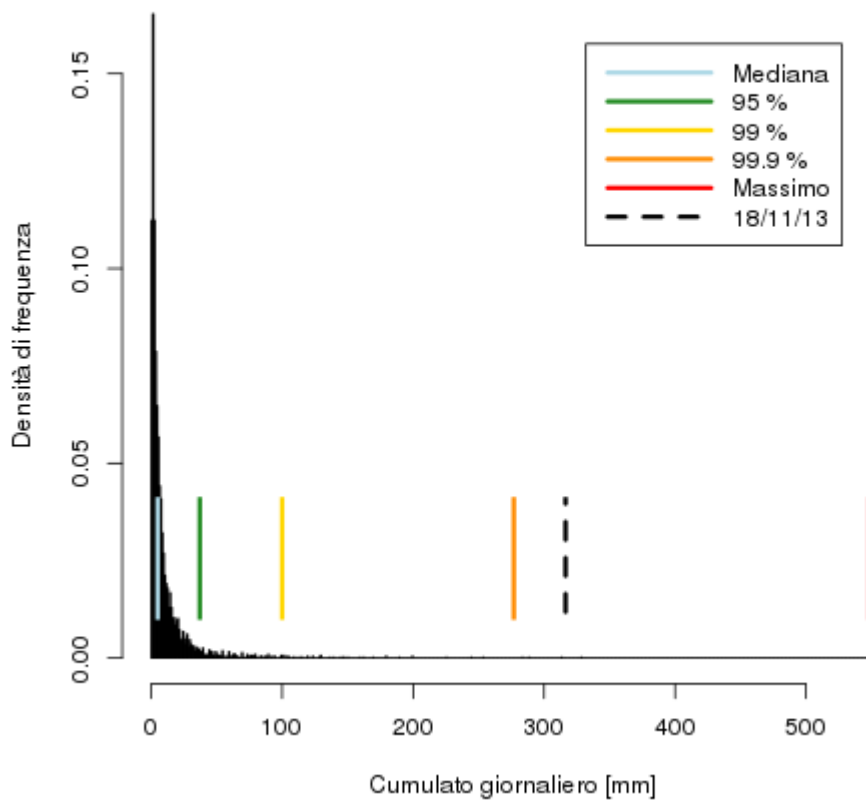
Istogramma serie storica di BALLAO (CA)

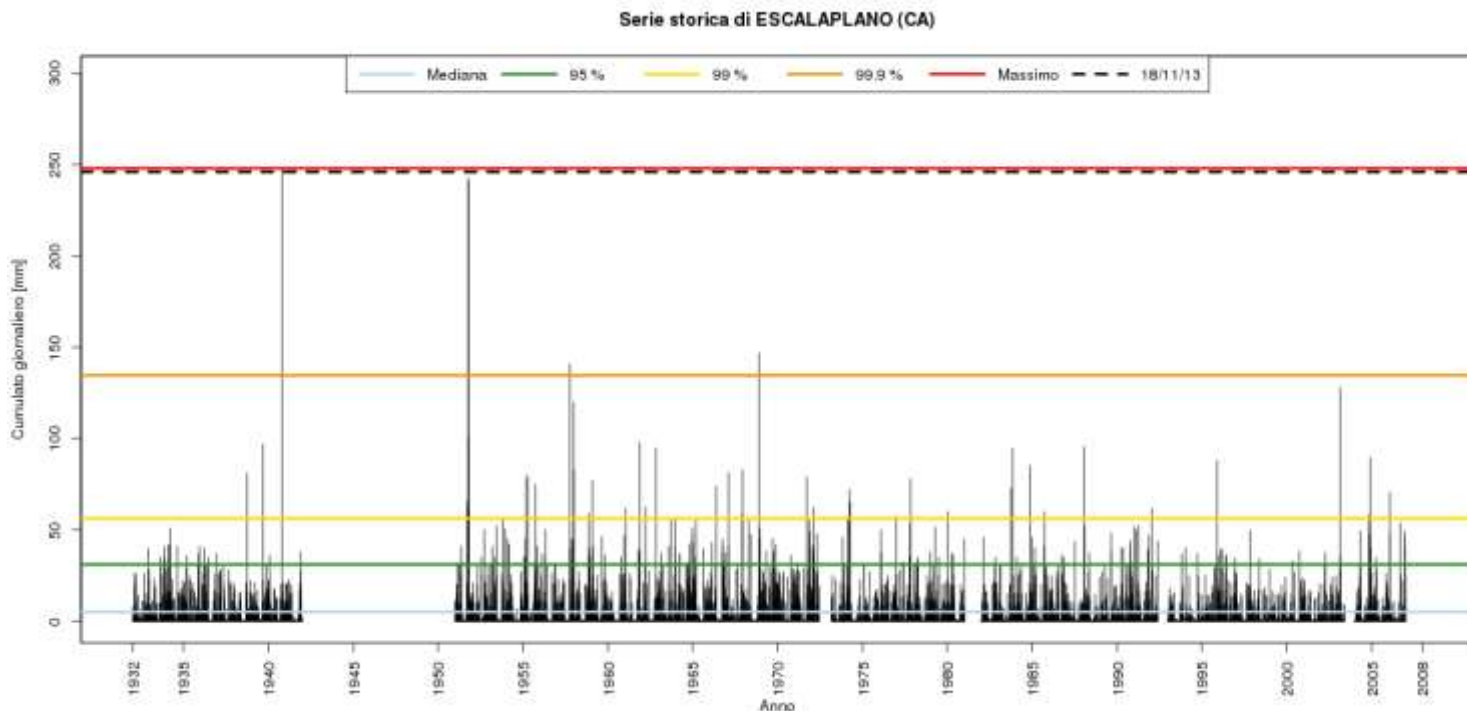




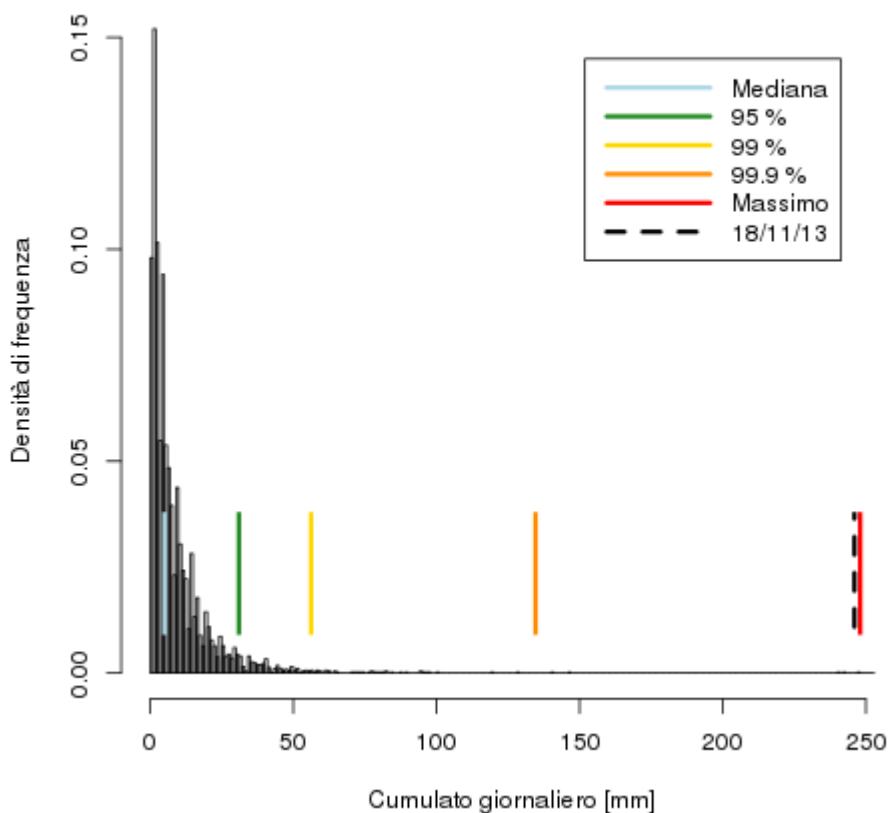


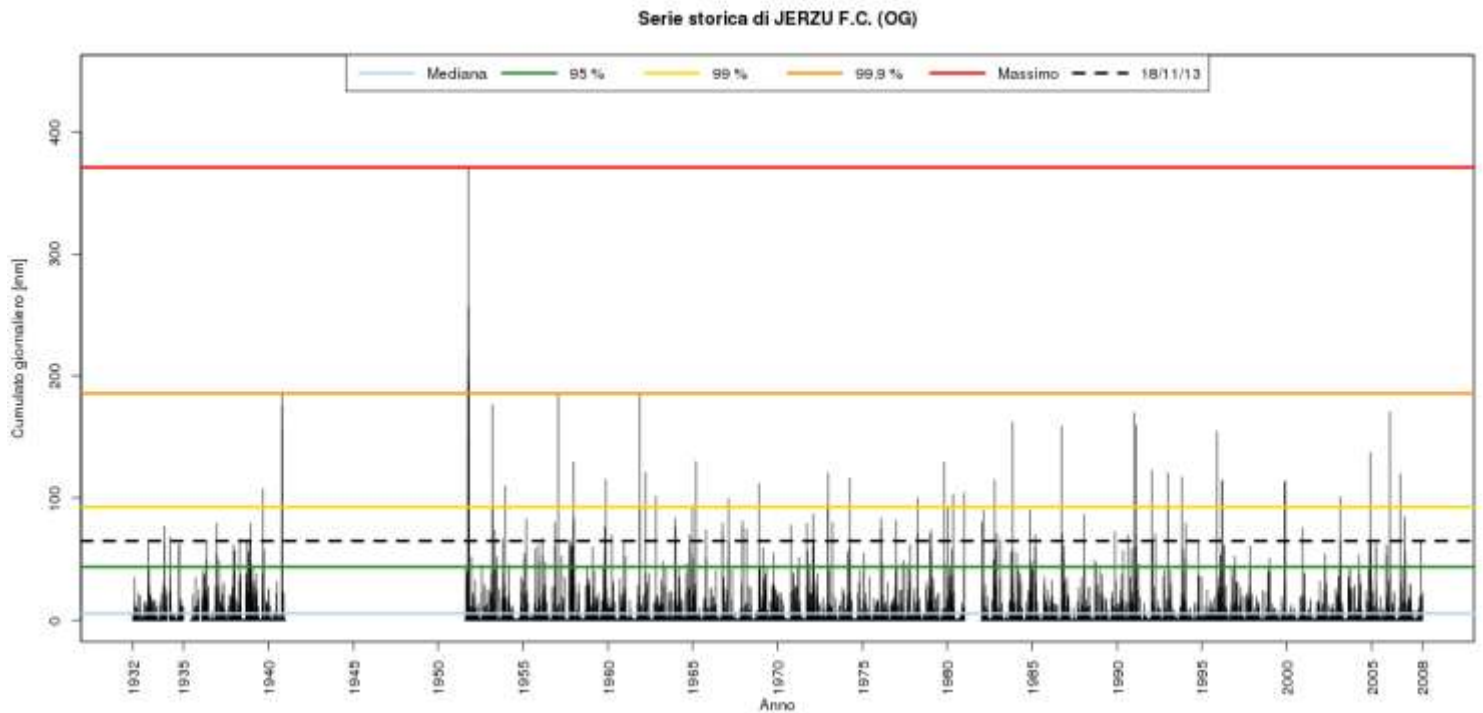
Istogramma serie storica di BAU MUGGERIS (OG)



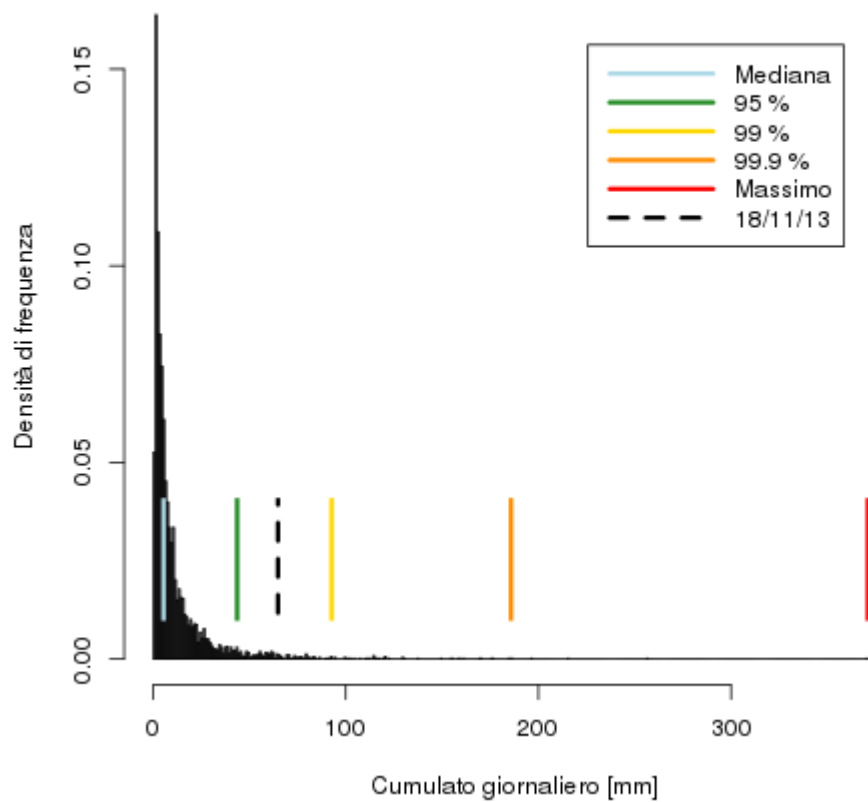


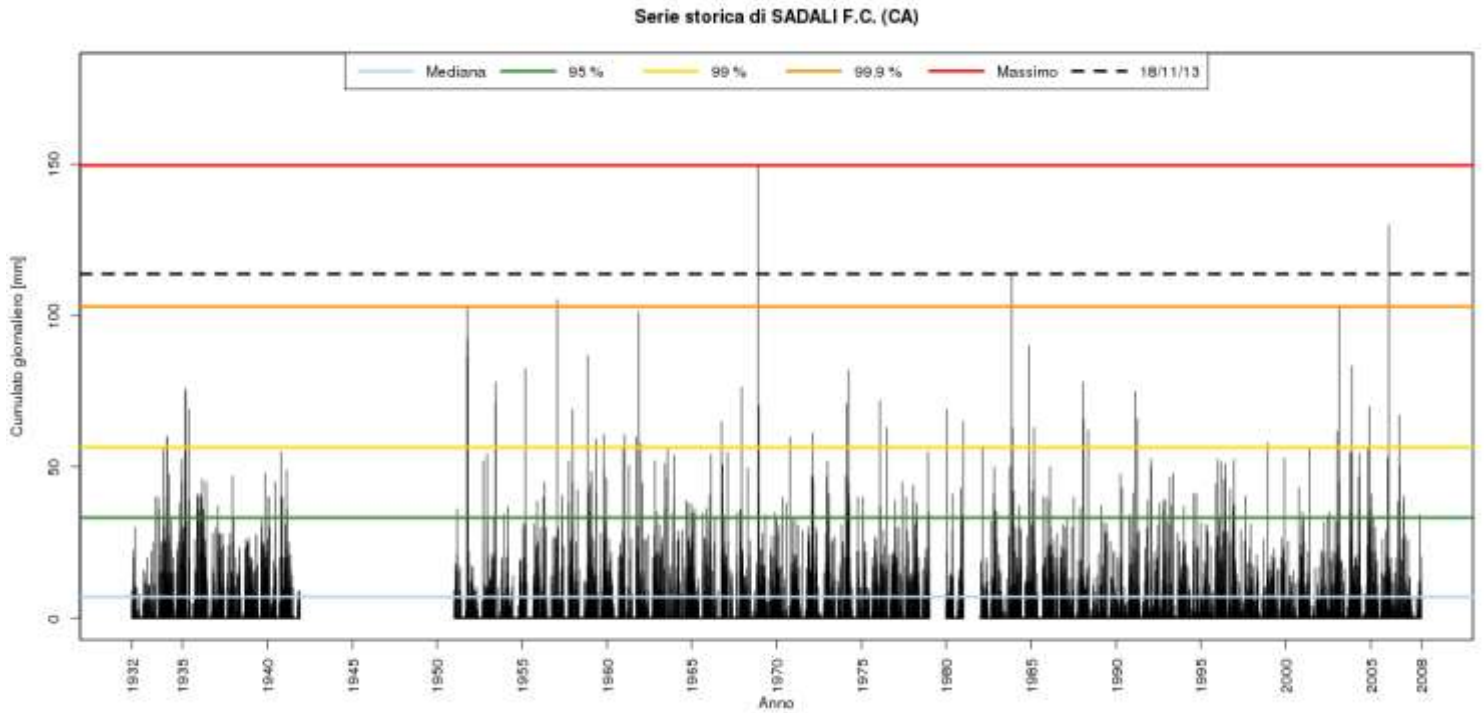
Istogramma serie storica di ESCALAPLANO (CA)



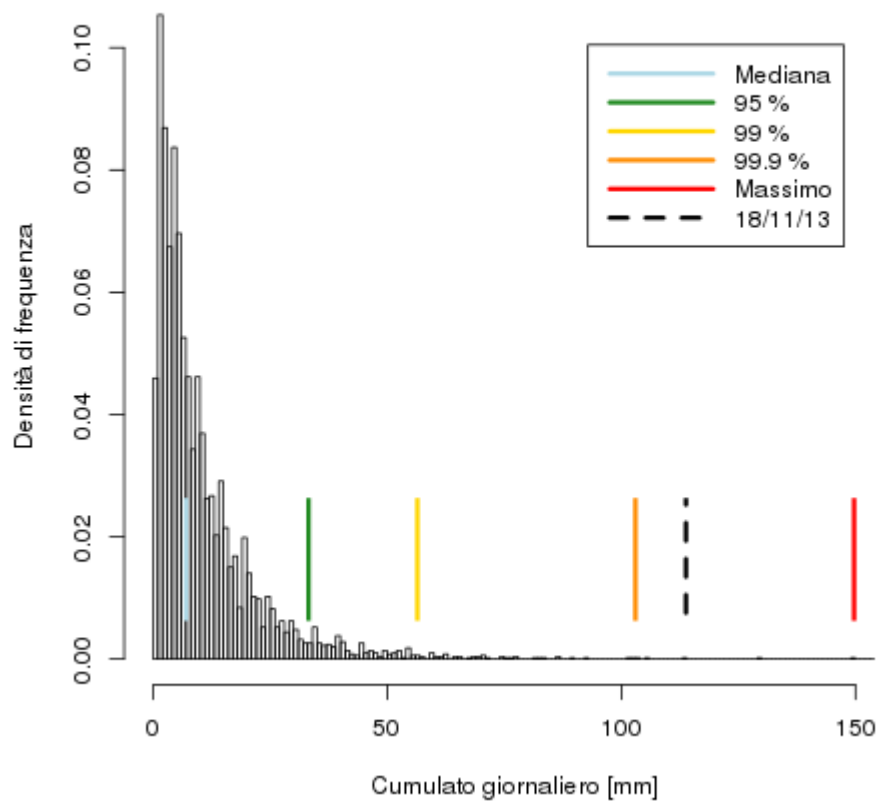


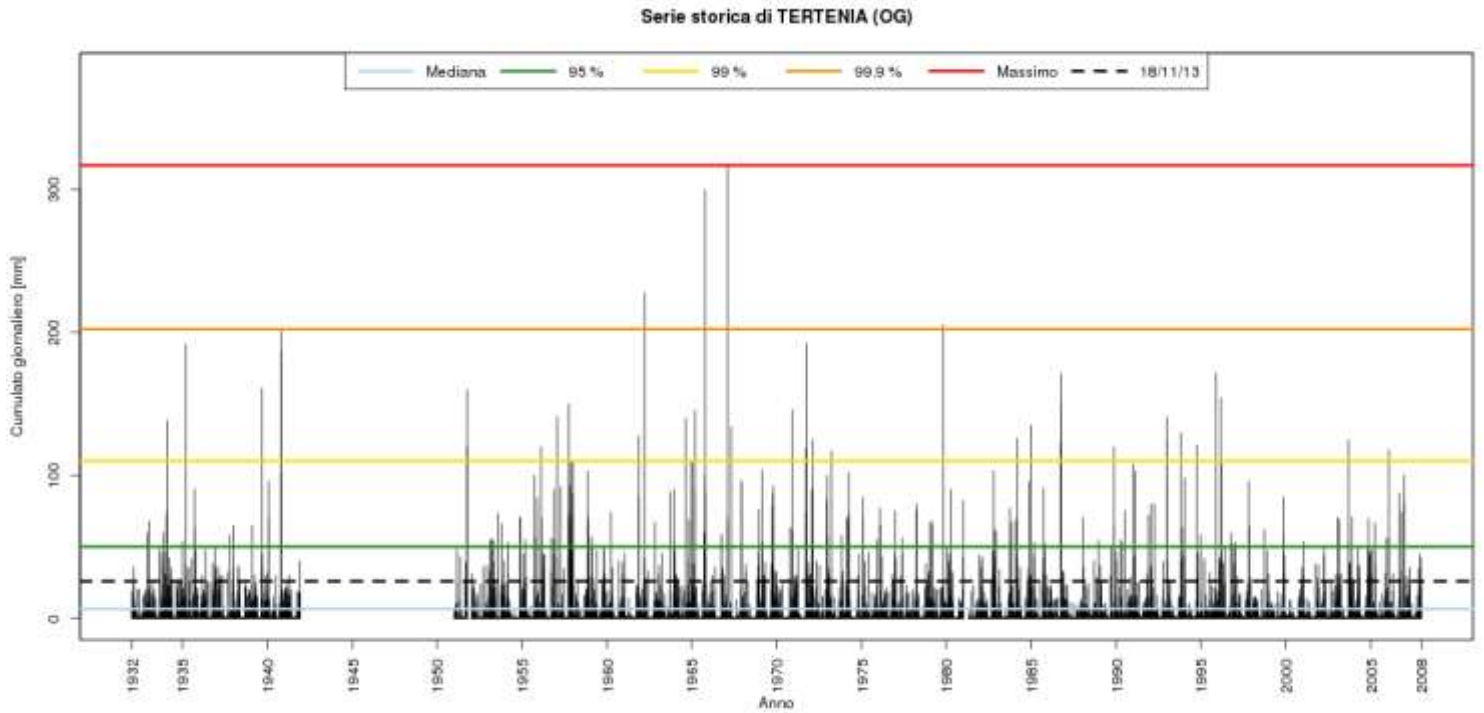
Istogramma serie storica di JERZU F.C. (OG)





Istogramma serie storica di SADALI F.C. (CA)





Istogramma serie storica di TERTENIA (OG)

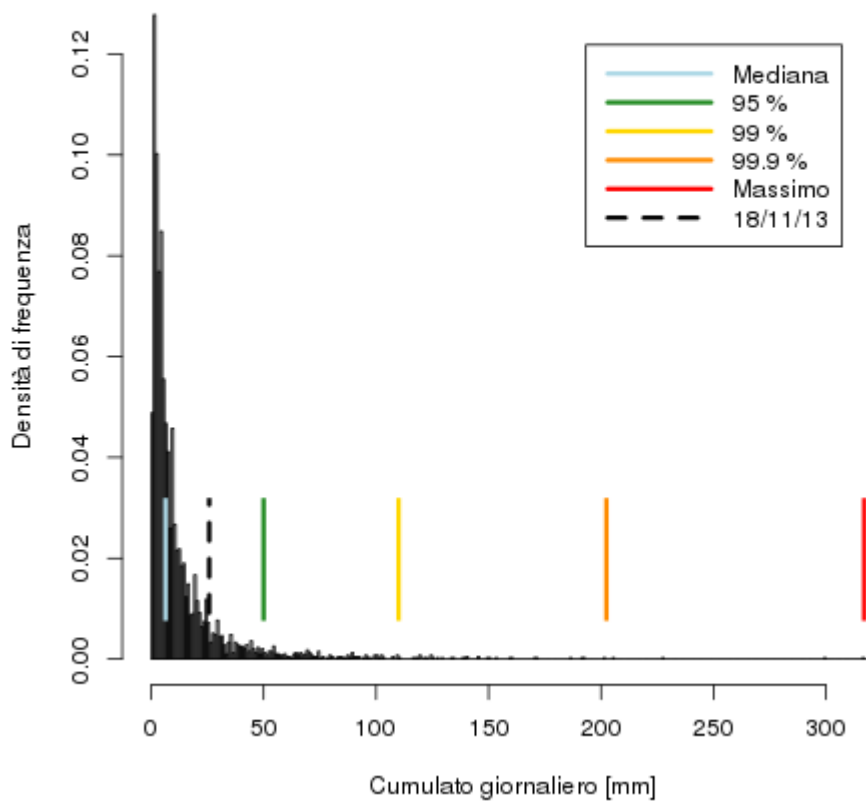
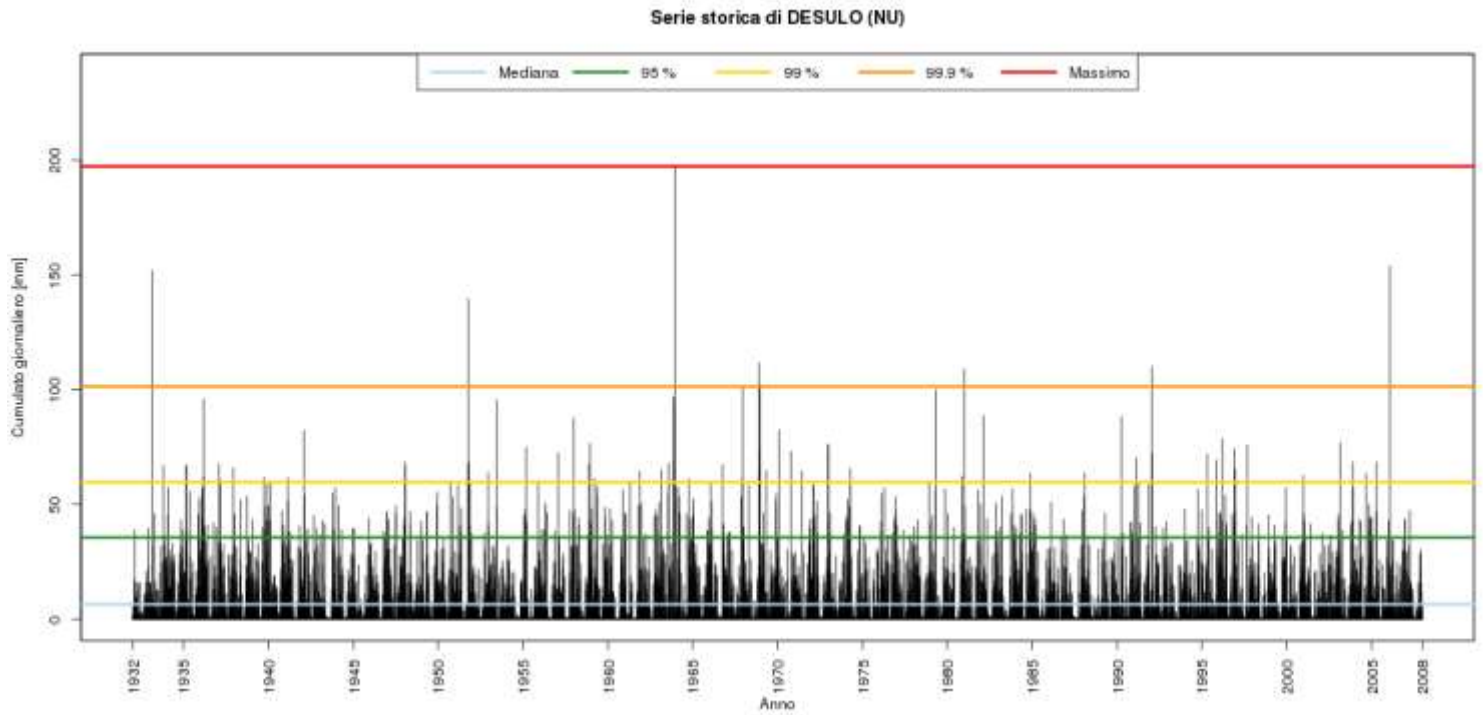


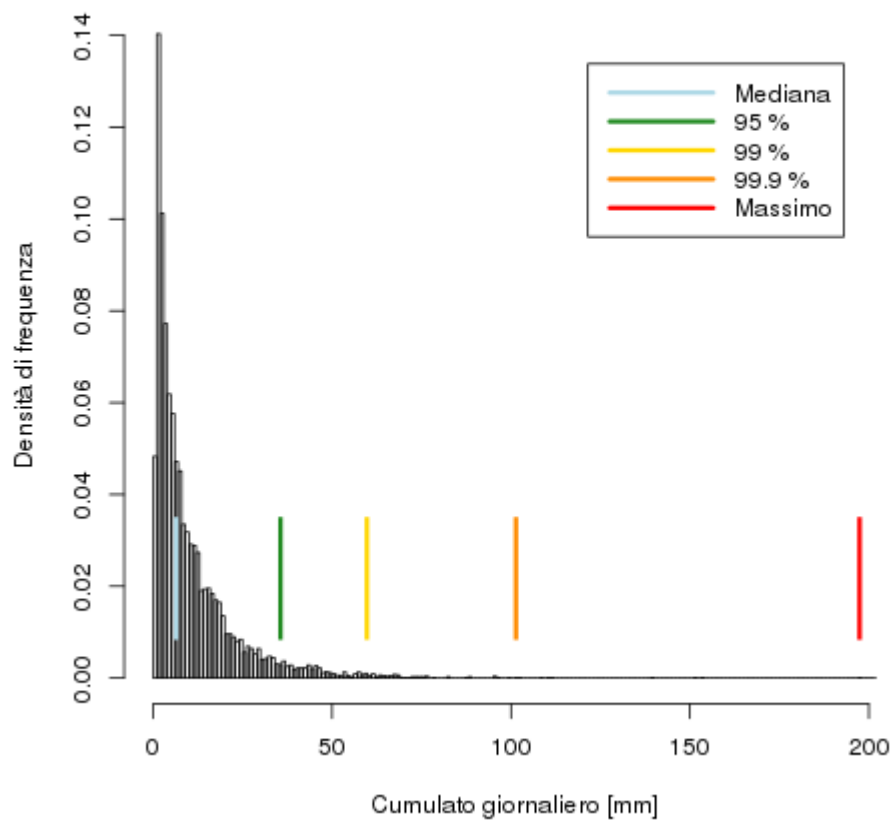
Tabella 2-B

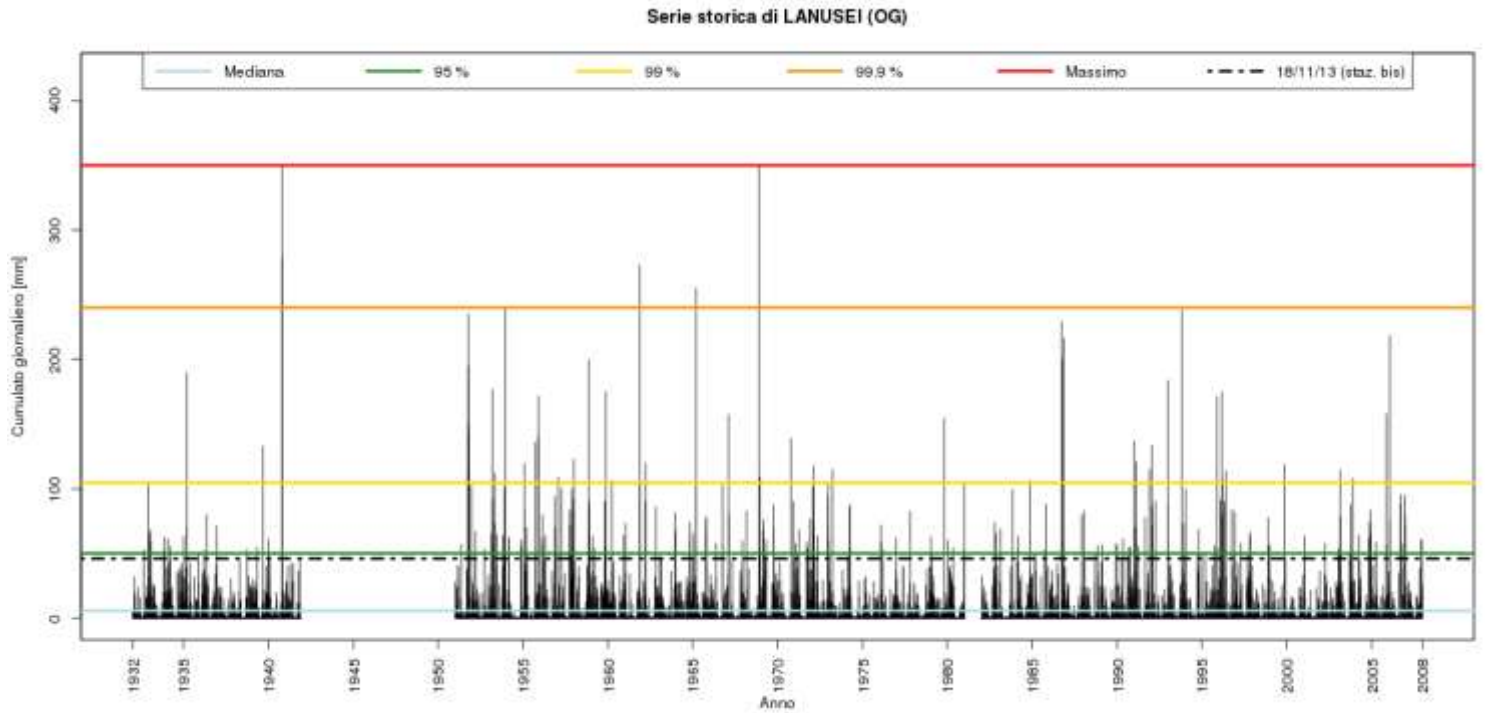
STAZIONE STORICA	LATITUDINE (WGS84)	LONGITUDINE (WGS84)	QUOTA [m]	N° GIORNI SERIE STORICA	N° GIORNI PIOVOSI	MEDIANA [mm]	95-ESIMO PERCENTILE [mm]	99-ESIMO PERCENTILE [mm]	99.9-ESIMO PERCENTILE [mm]	MASSIMO STORICO [mm]	SCARTO $100 \left(\frac{M_{\text{massimostorico}}}{99.9\text{-esimopercentile}} - 1 \right) \%$	CUMULATO DEL 18/11 [mm]	STAZIONE distante e/o non omogenea rispetto alla stazione storica e della quale si dispone del cumulado del 18/11/2013	PROVINCIA	LATITUDINE (WGS84)	LONGITUDINE (WGS84)	QUOTA [m]
DESULO	40,014657	9,229704	920	27737	7825	6,4	35,6	59,7	101,4	197,4	95	-	-	-	-	-	-
LANUSEI	39,879393	9,537401	595	24035	5001	5,6	50	104,6	240	350	46	46,0	Lanusei	OG	39,888500	9,550111	418
MURAVERA	39,424077	9,562932	19	25009	4007	5,2	39,7	80,7	171	420,3	146	-	-	-	-	-	-
VILLAGRANDE	39,961341	9,506547	679	24021	4143	7,7	61	132	311,9	428,4	37	-	-	-	-	-	-
VILLASALTO	39,465116	9,350390	555	24370	4368	5	34,5	76,5	160,8	303,3	89	343,4	Villasalto (ARPAS)	OG	39,888500	9,550111	418
VILLASALTO	39,492451	9,391136	514	24370	4368	5	34,5	76,5	160,8	303,3	89	73,4	Isca Rena	OG	39,888500	9,550111	418



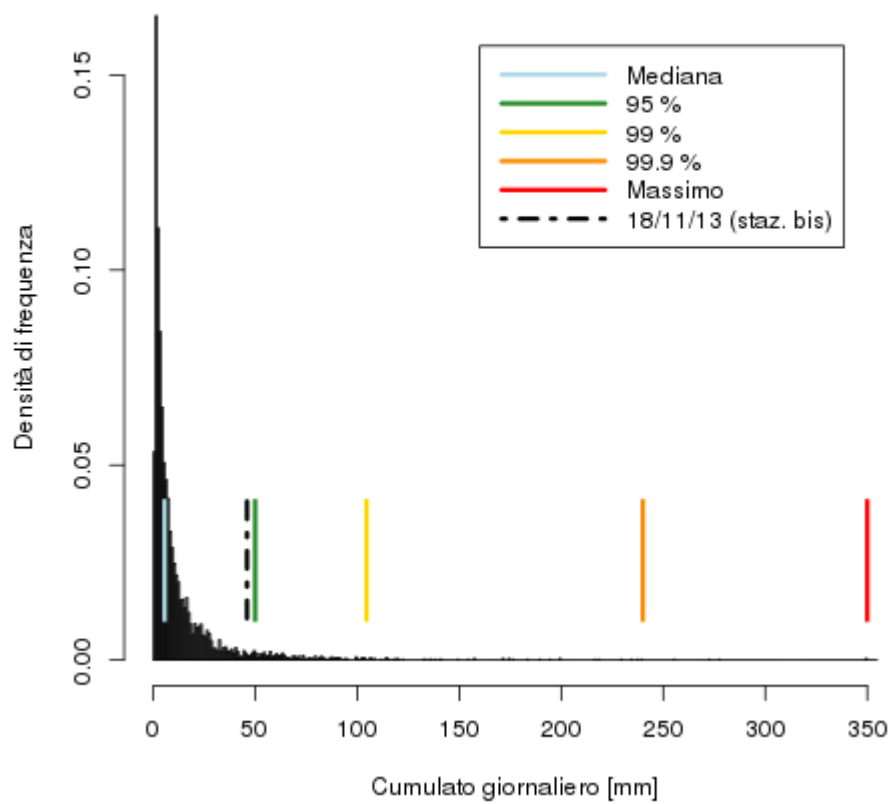


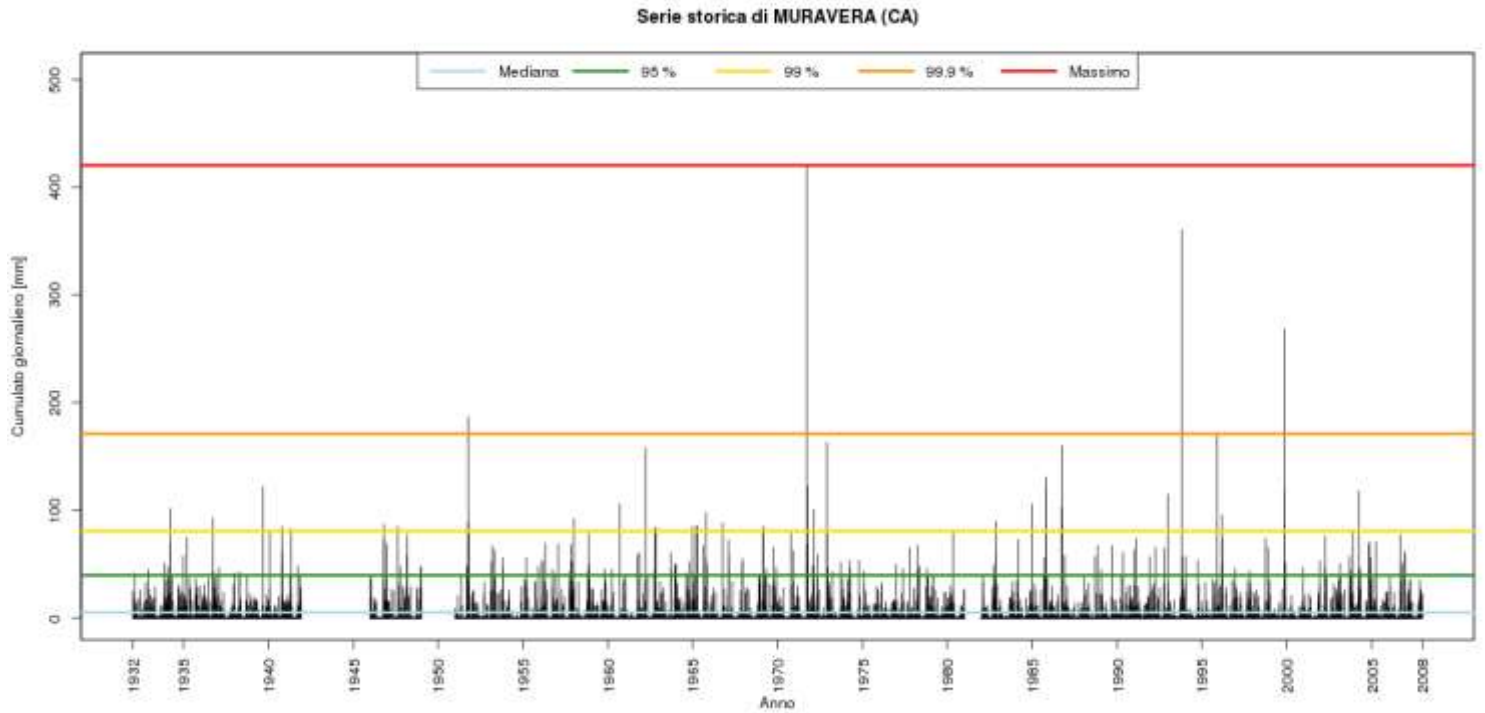
Istogramma serie storica di DESULO (NU)



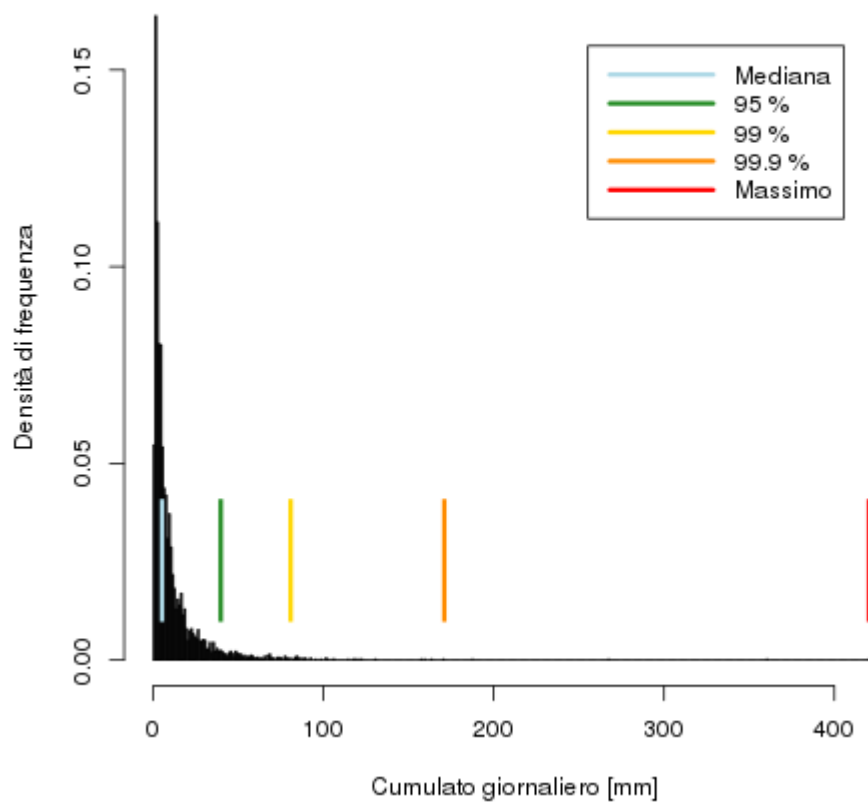


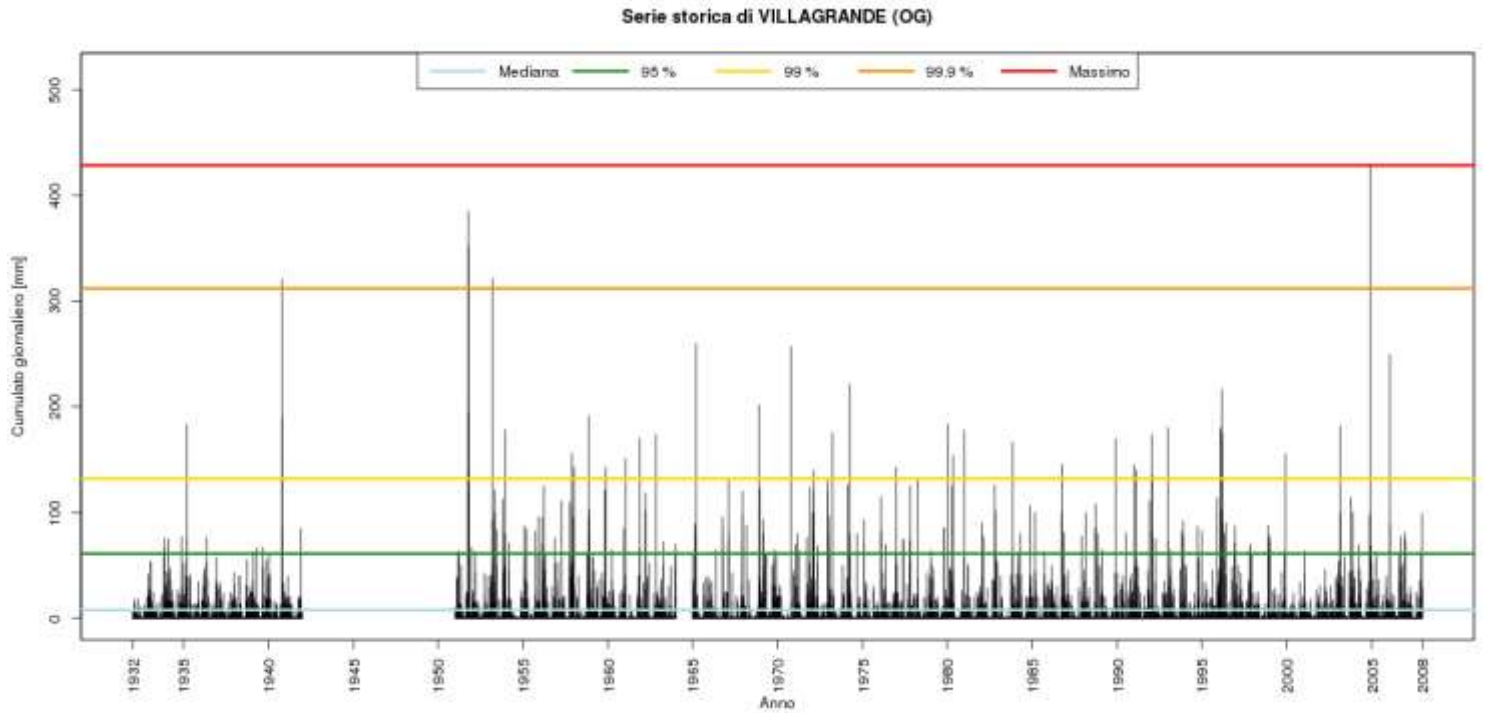
Istogramma serie storica di LANUSEI (OG)



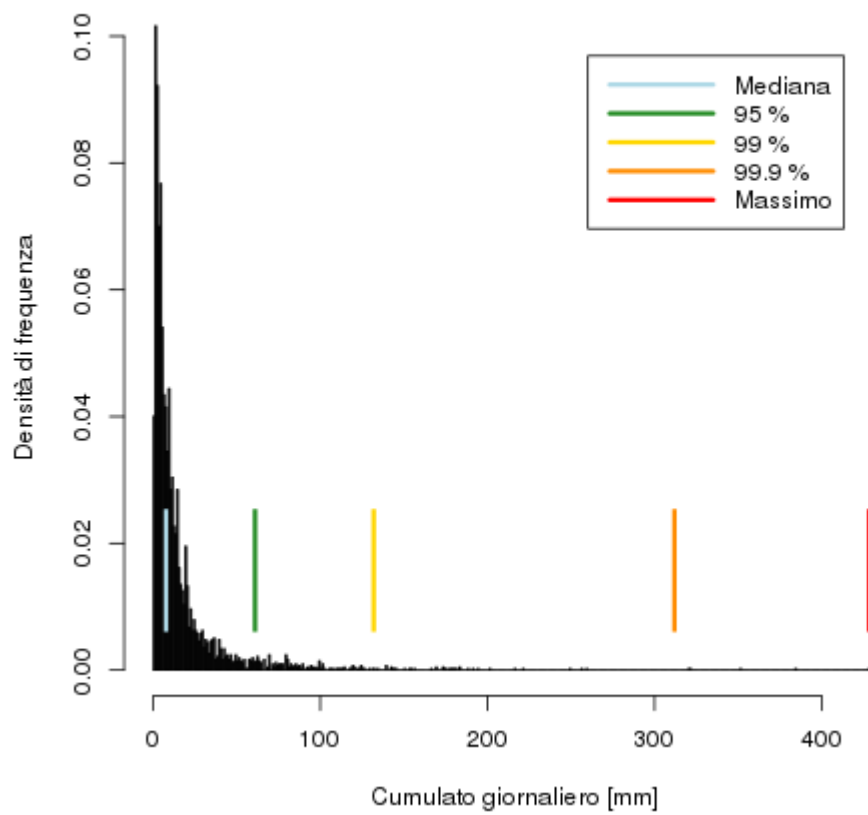


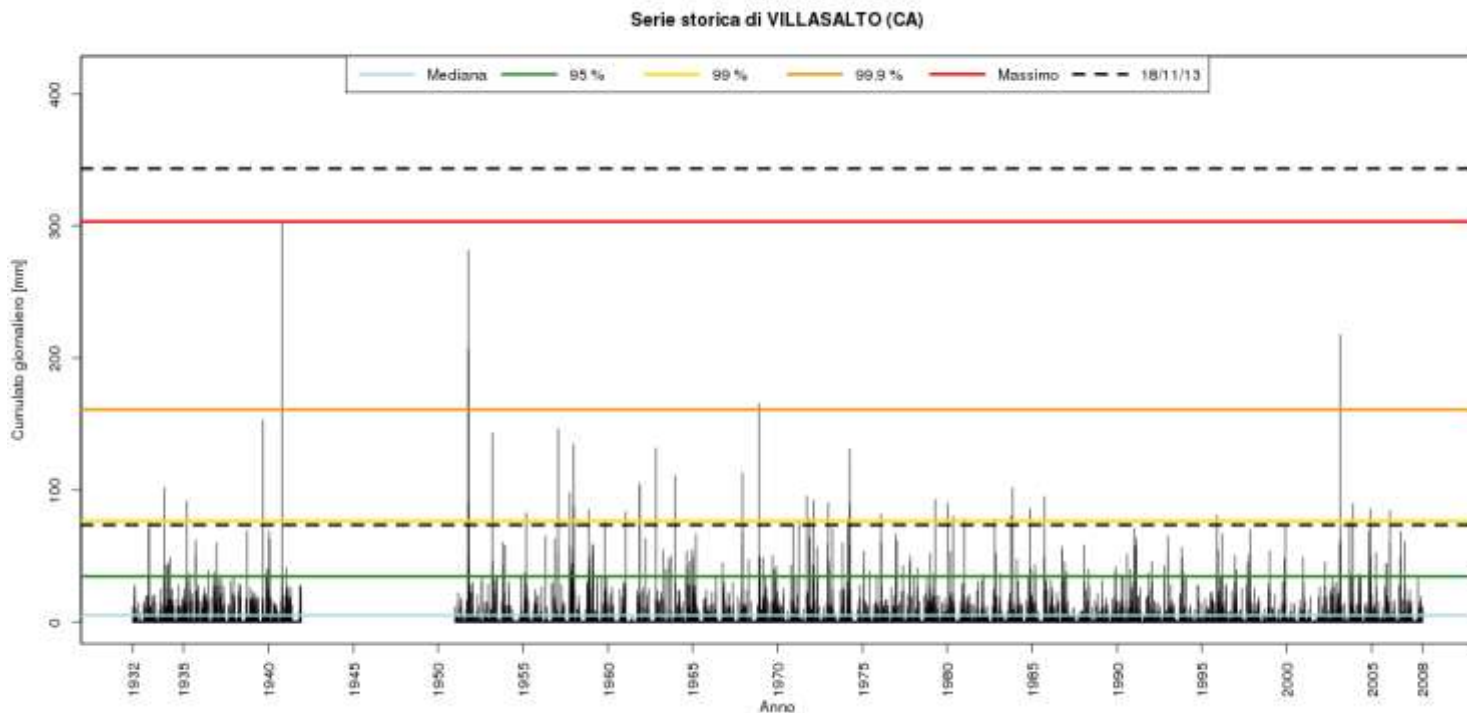
Istogramma serie storica di MURAVERA (CA)



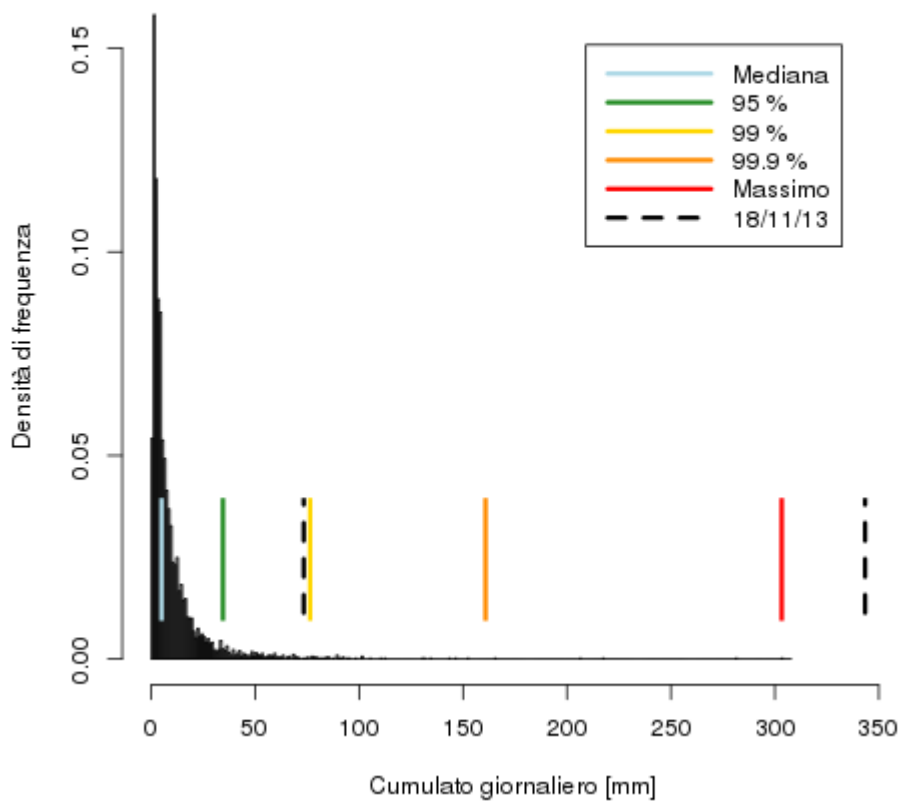


Istogramma serie storica di VILLAGRANDE (OG)





Istogramma serie storica di VILLASALTO (CA)



4.3 Sardegna centro – orientale, Area 3

Figura 4.3.1

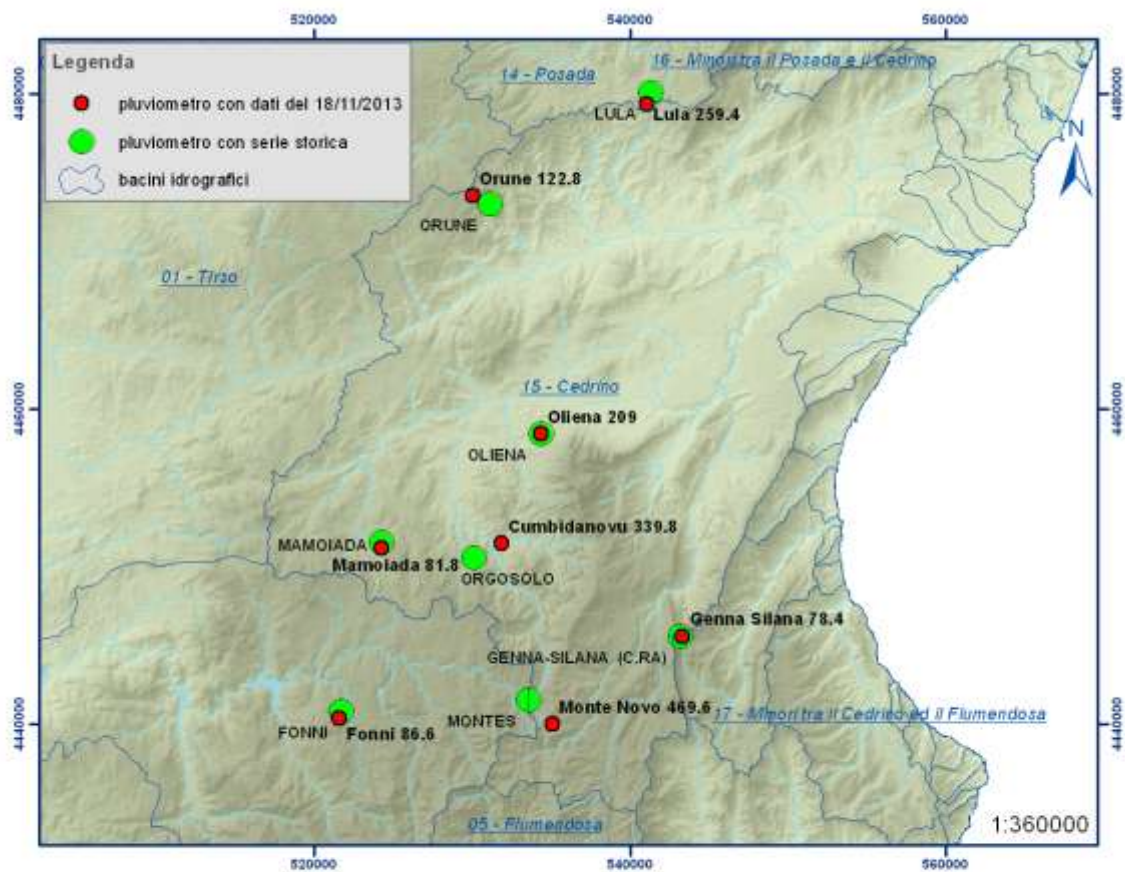
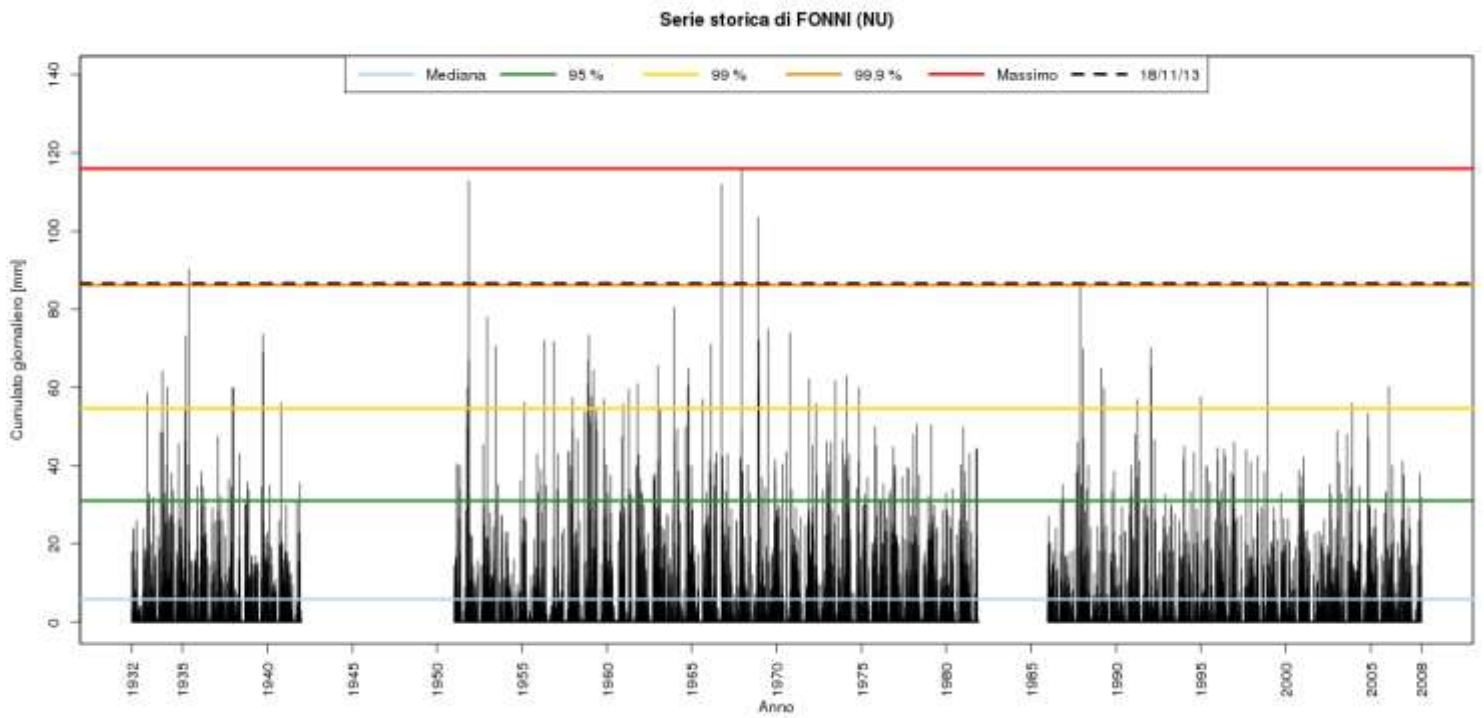


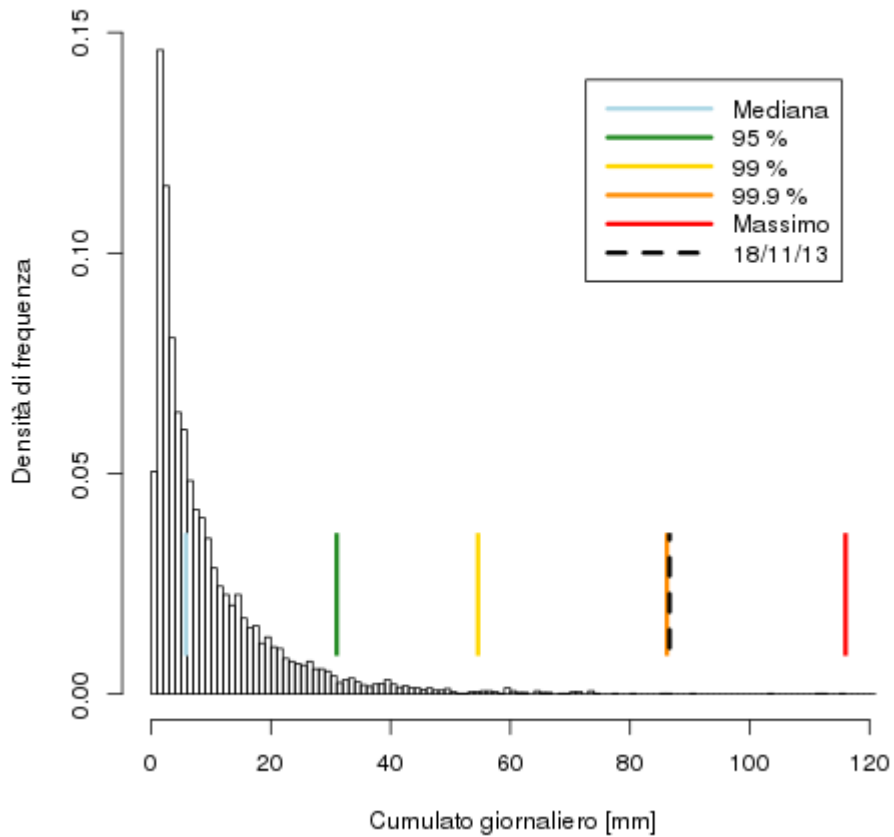
Tabella 3-A

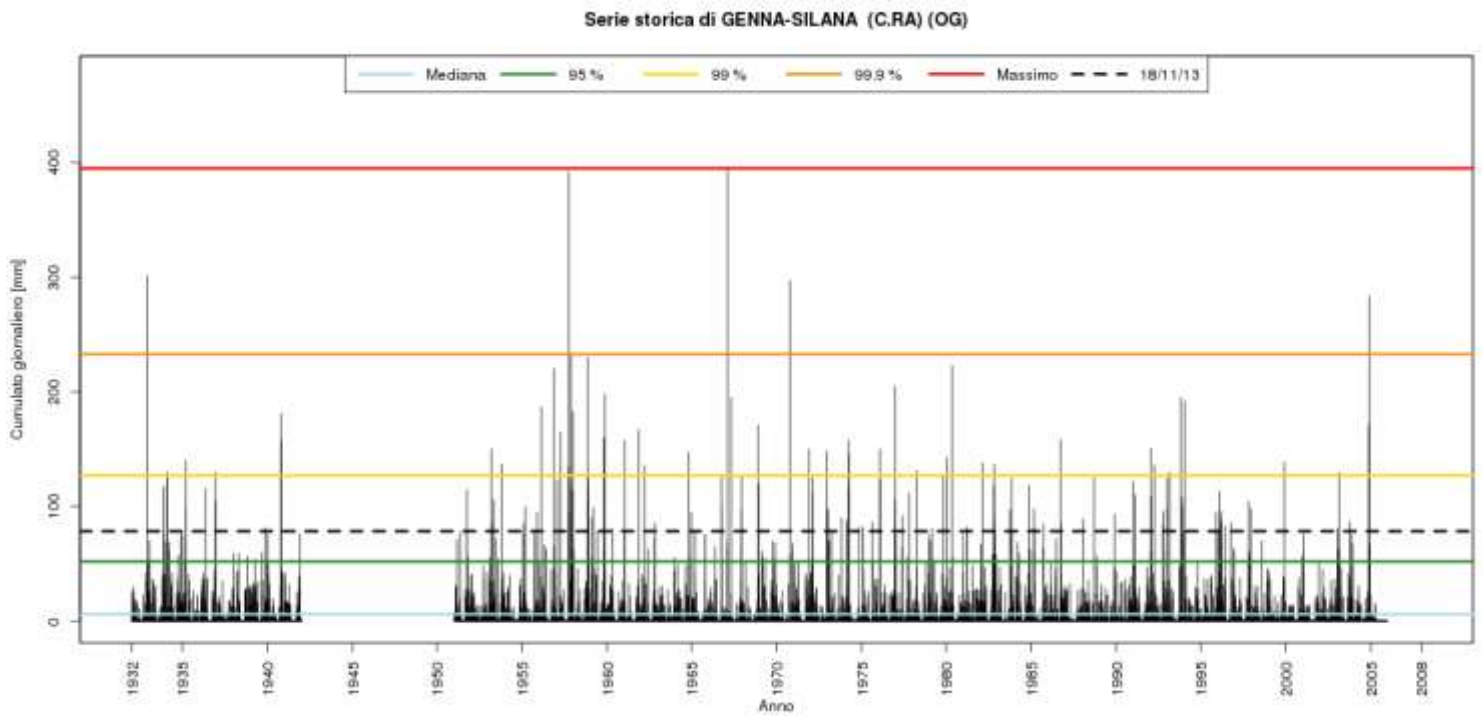
STAZIONE STORICA	PROVINCIA	LATITUDINE (WGS84)	LONGITUDINE (WGS84)	QUOTA [m]	N° GIORNI SERIE STORICA	N° GIORNI PIOVOSI	MEDIANA [mm]	95-ESIMO PERCENTILE [mm]	99-ESIMO PERCENTILE [mm]	99.9-ESIMO PERCENTILE [mm]	MASSIMO STORICO [mm]	SCARTO $100 \left(\frac{\text{Massimostorico}}{99,9\text{-esimopercentile}} - 1 \right) \%$	CUMULATO DEL 18/11 [mm]	STAZIONE coincidente (*) o prossima alla stazione storica e della quale si dispone del cumulo del 18/11/2013	LATITUDINE (WGS84)	LONGITUDINE (WGS84)	QUOTA [m]
FONNI	NU	40,117044	9,254575	992	22943	5806	5,8	31	54,6	86,2	116	35	86,6	Fonni	40,113417	9,253417	1055
GENNA-SILANA (C.RA)	OG	40,159005	9,507778	1010	23672	5004	6	52	127	233	395	70	78,4	Genna Silana	40,159167	9,509194	1013
LULA	NU	40,470361	9,487230	521	23914	4675	5,2	39,4	95	232	282	22	259,4	Lula	40,463333	9,484444	611
MAMOIADA	NU	40,213555	9,284668	644	23797	4578	6	31	56,2	100	117	17	81,8	Mamoiada	40,210306	9,285361	686
OLIENA	NU	40,275363	9,404315	378	24037	3782	7	42	103,4	229,8	350	52	209,0	Oliena *	40,275363	9,404315	378



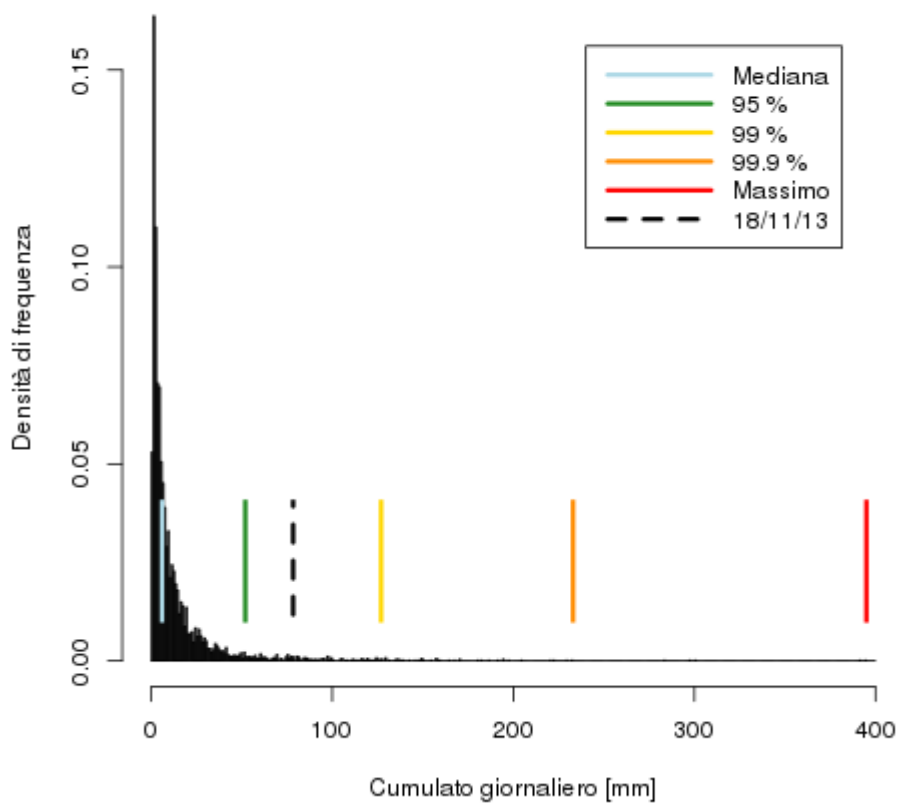


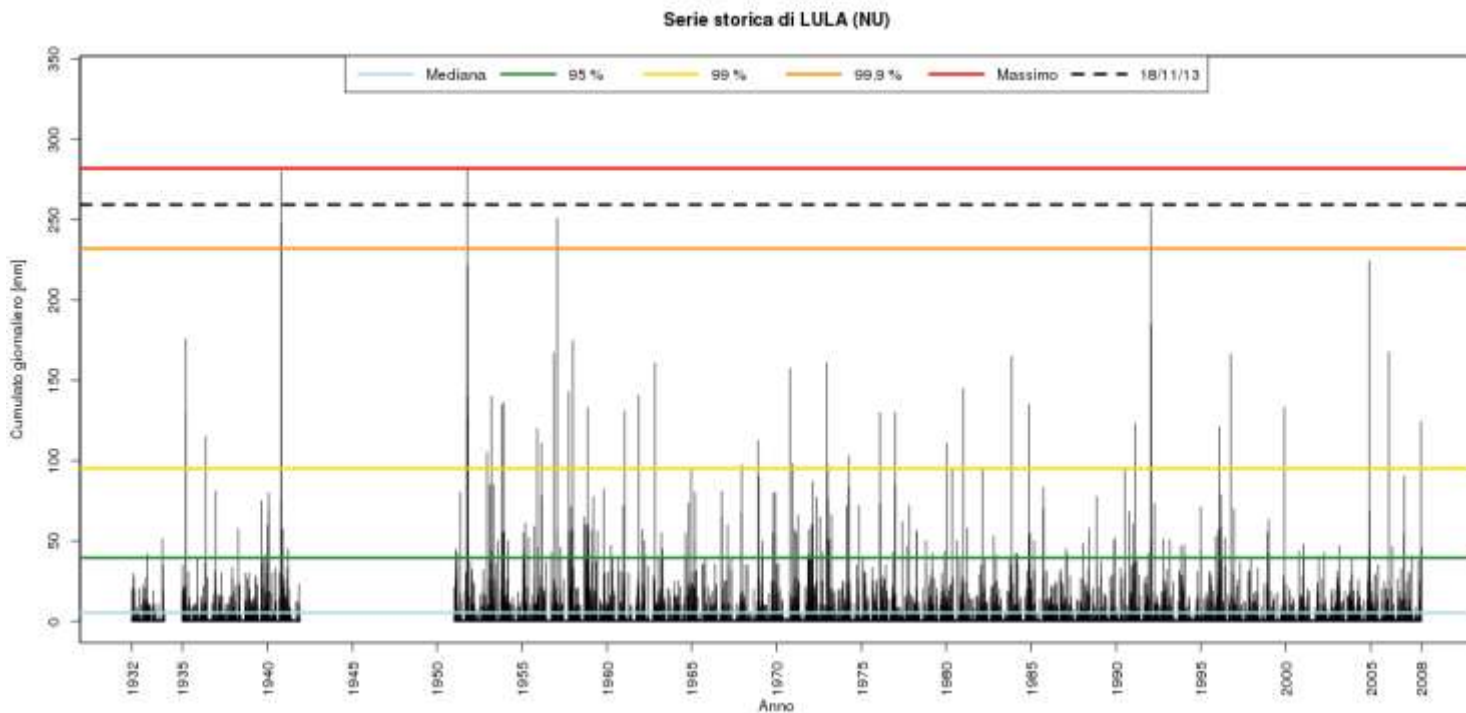
Istogramma serie storica di FONNI (NU)



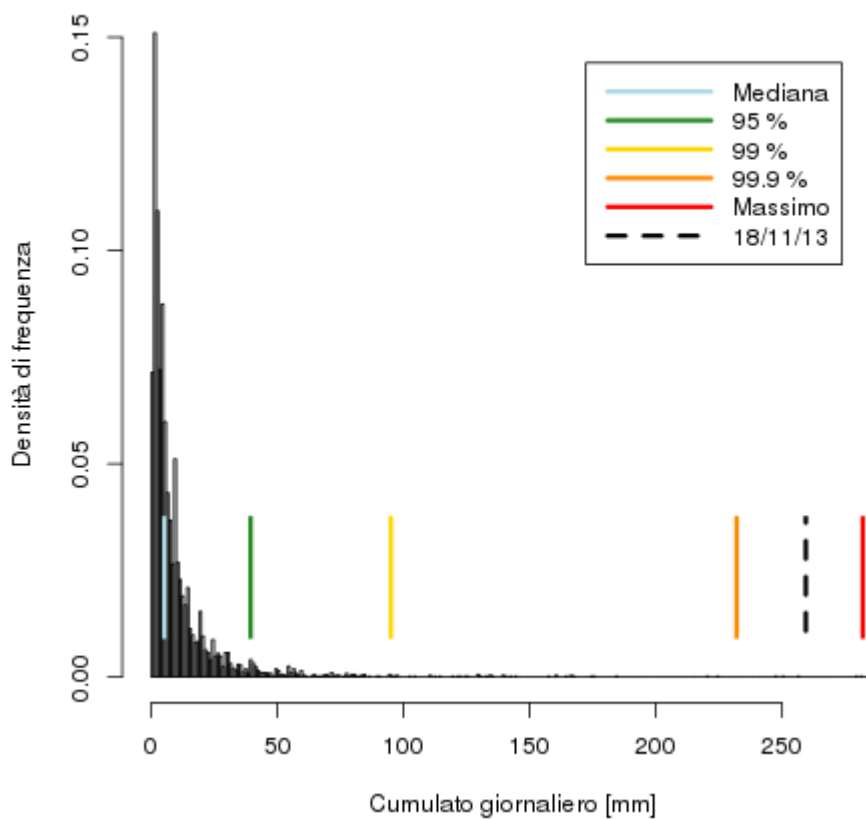


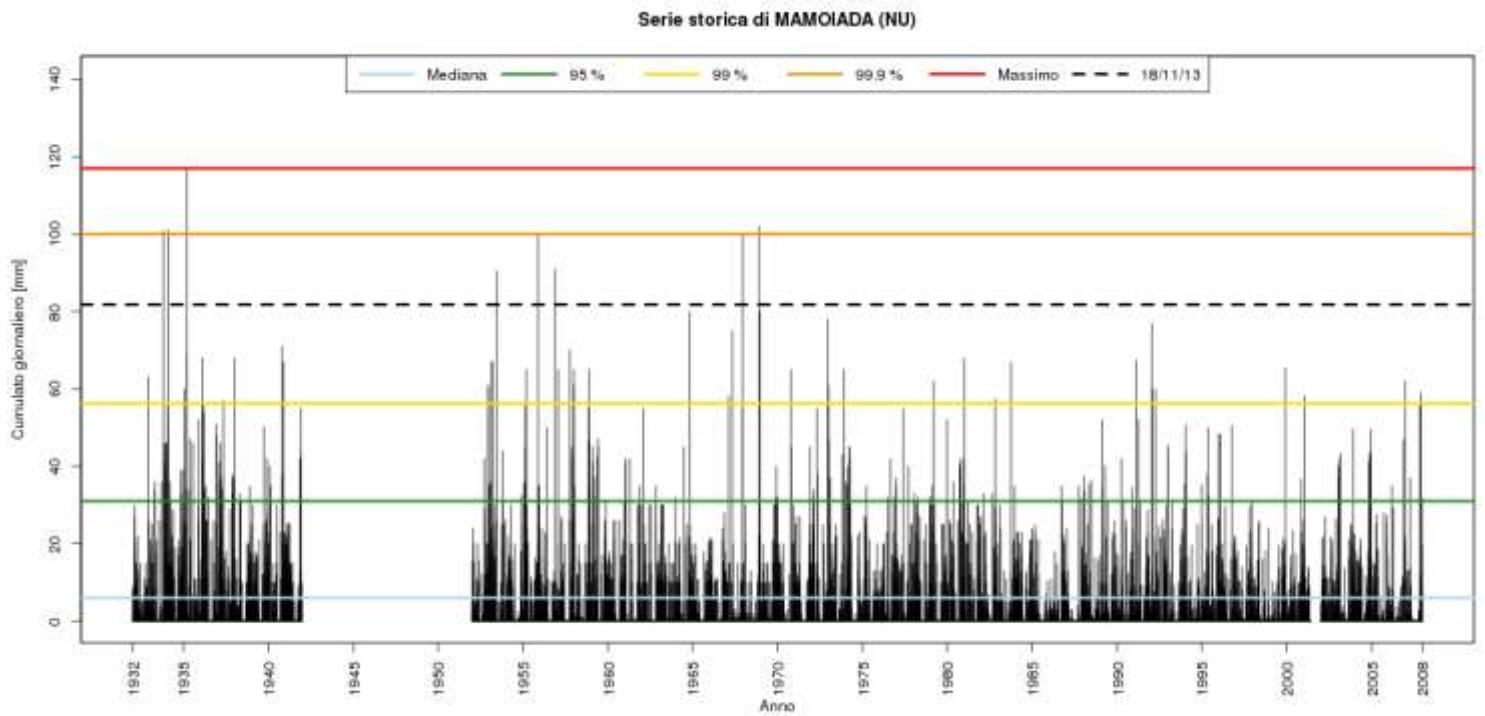
Istogramma serie storica di GENNA-SILANA (C.RA) (OG)



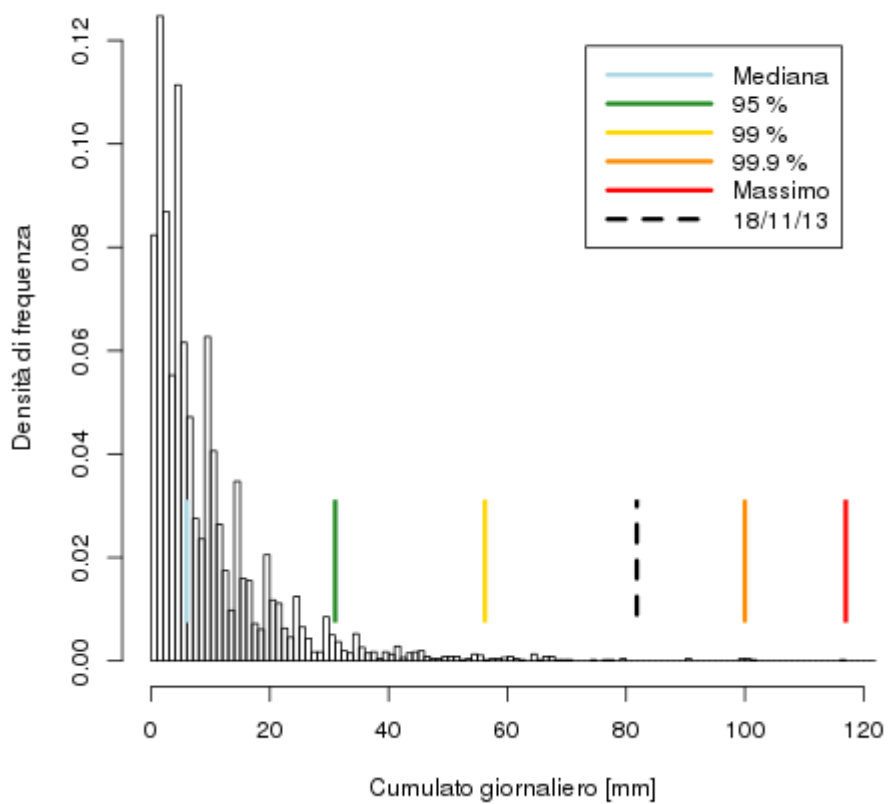


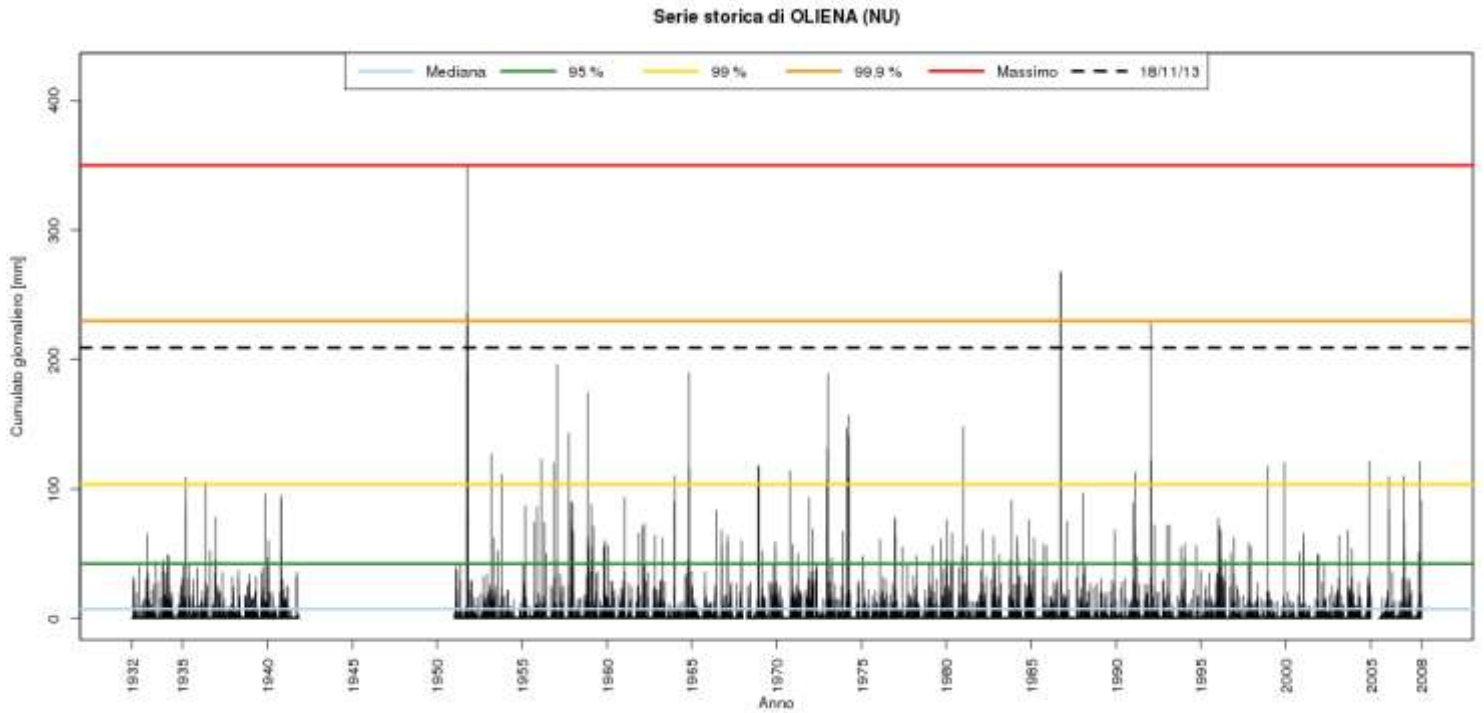
Istogramma serie storica di LULA (NU)





Istogramma serie storica di MAMOIADA (NU)





Istogramma serie storica di OLIENA (NU)

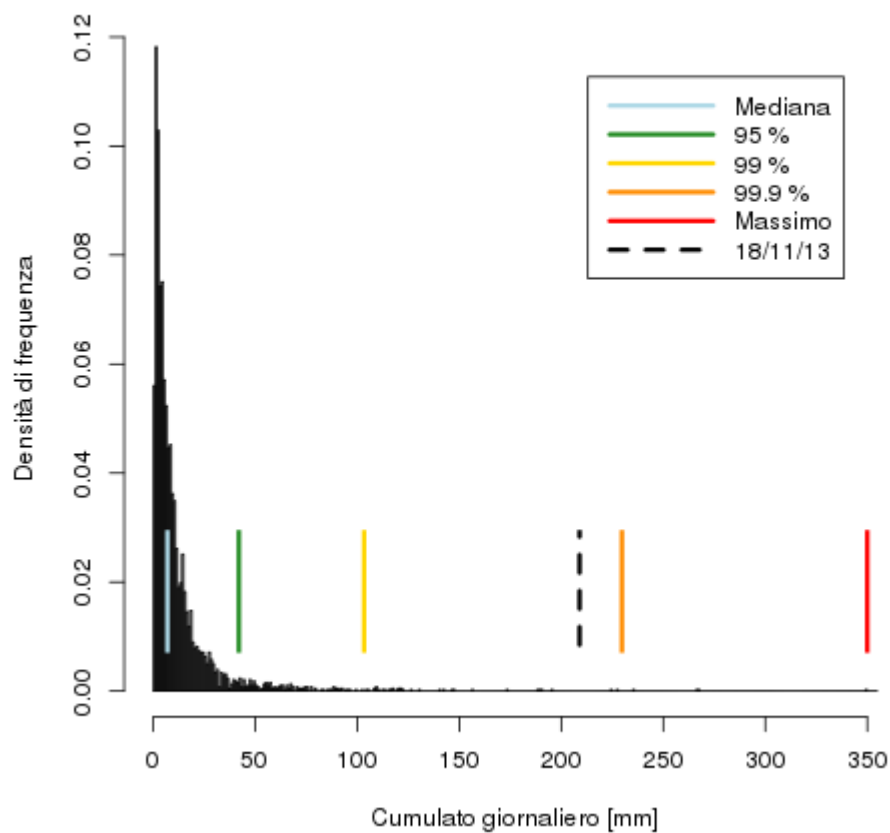
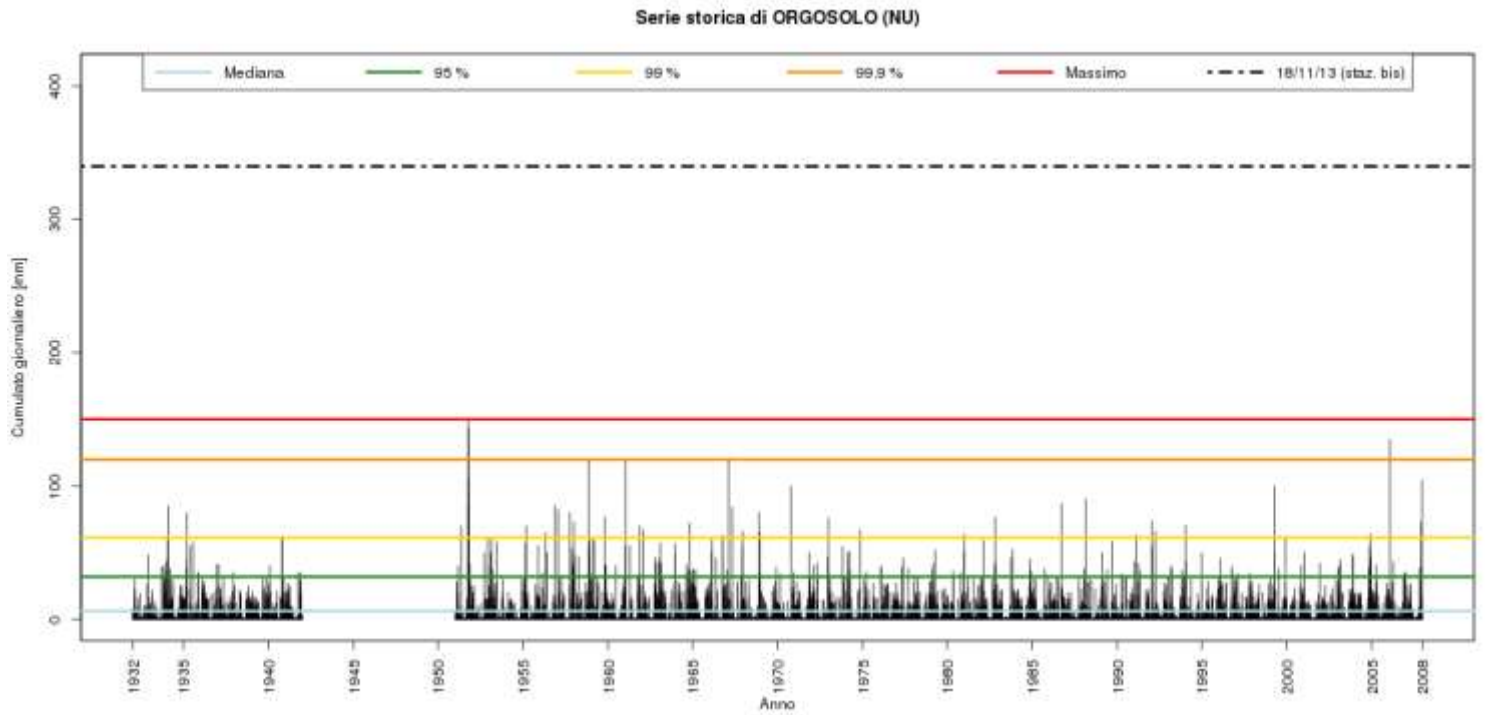


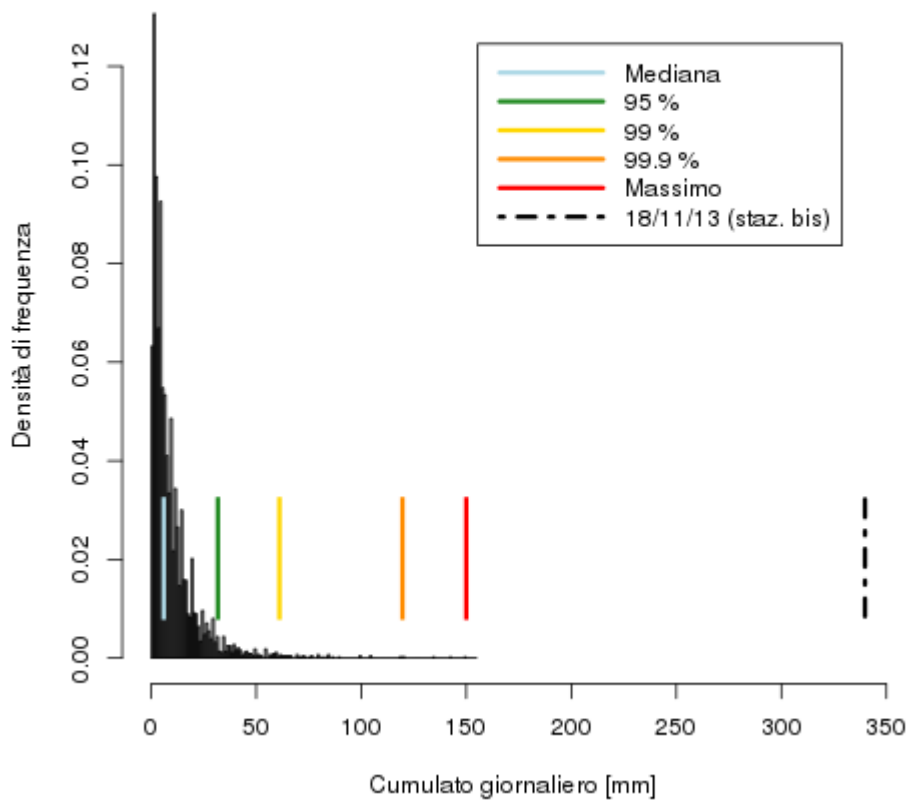
Tabella 3-B

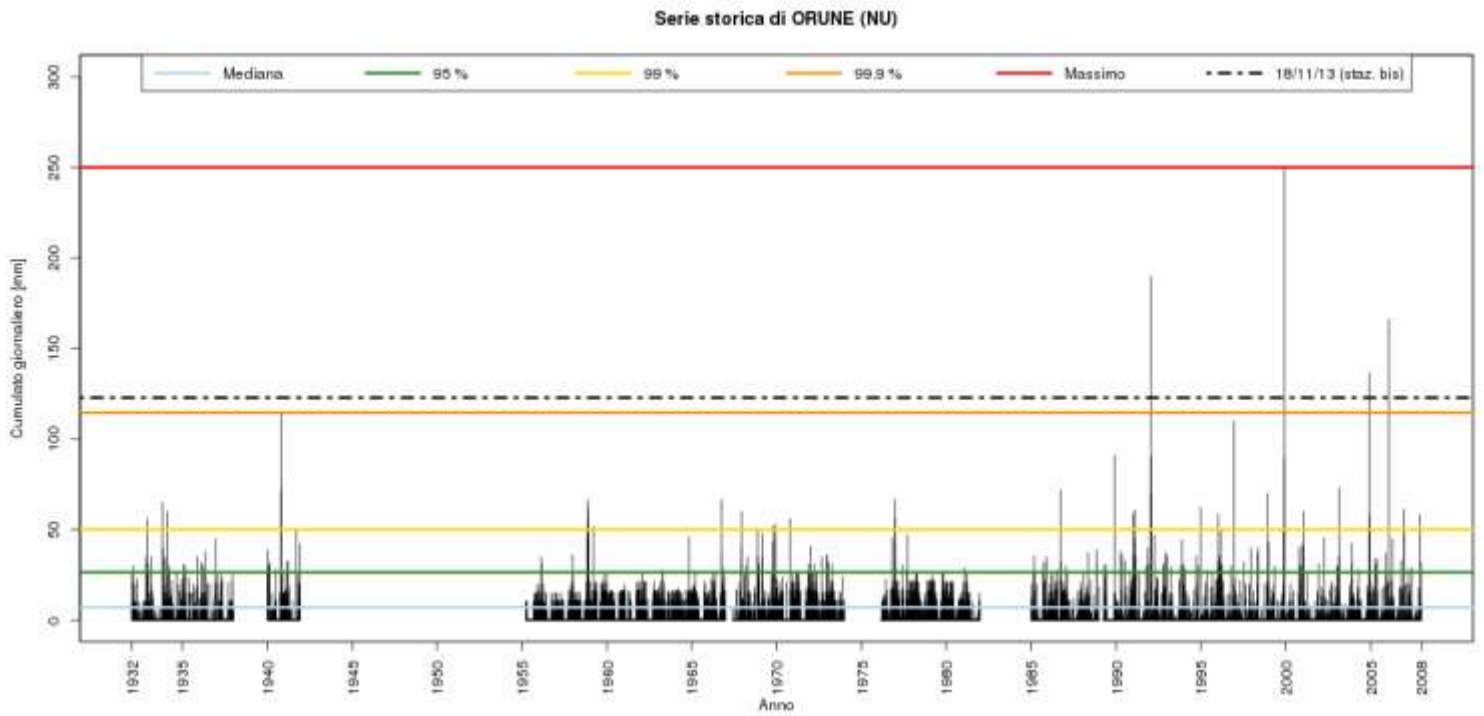
STAZIONE STORICA	LATITUDINE (WGS84)	LONGITUDINE (WGS84)	QUOTA [m]	N° GIORNI SERIE STORICA	N° GIORNI PIOVOSI	MEDIANA [mm]	95-ESIMO PERCENTILE [mm]	99-ESIMO PERCENTILE [mm]	99.9-ESIMO PERCENTILE [mm]	MASSIMO STORICO [mm]	SCARTO ₁₀₀ $\left(\frac{\text{Massimo storico}}{99,9\text{-esimo percentile}} - 1 \right) \%$	CUMULATO DEL 18/11 [mm]	STAZIONE distante e/o non omogenea rispetto alla stazione storica e della quale si dispone del cumulado del 18/11/2013	PROVINCIA	LATITUDINE (WGS84)	LONGITUDINE (WGS84)	QUOTA [m]
ORGOSOLO	40,204535	9,353838	591	24412	4364	6	31,8	61,1	119,6	150	25	339,8	Cumbidanovu	NU	40,553613	9,313612	398
ORUNE	40,406930	9,367388	745	19993	4099	7	26,4	50	114,5	250	118	122,8	Orune	NU	40,411889	9,353861	870
MONTES	40,123499	9,394494	1060	22915	5326	7	39,6	85	180,1	214,2	19	469,6	Monte Novo	NU	40,109167	9,411667	1215



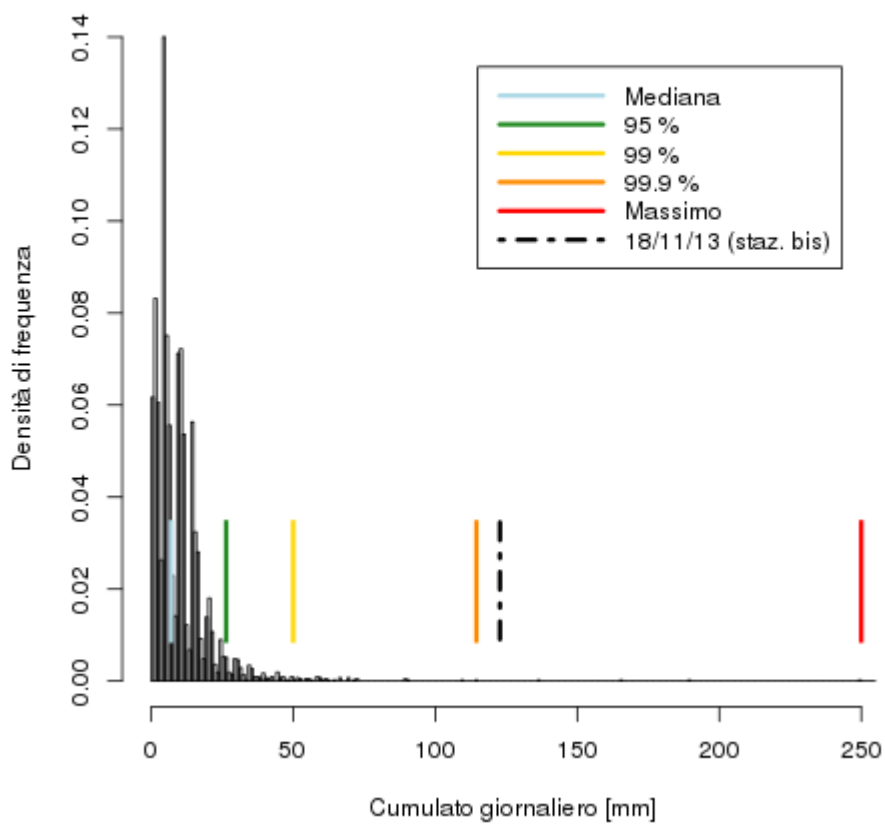


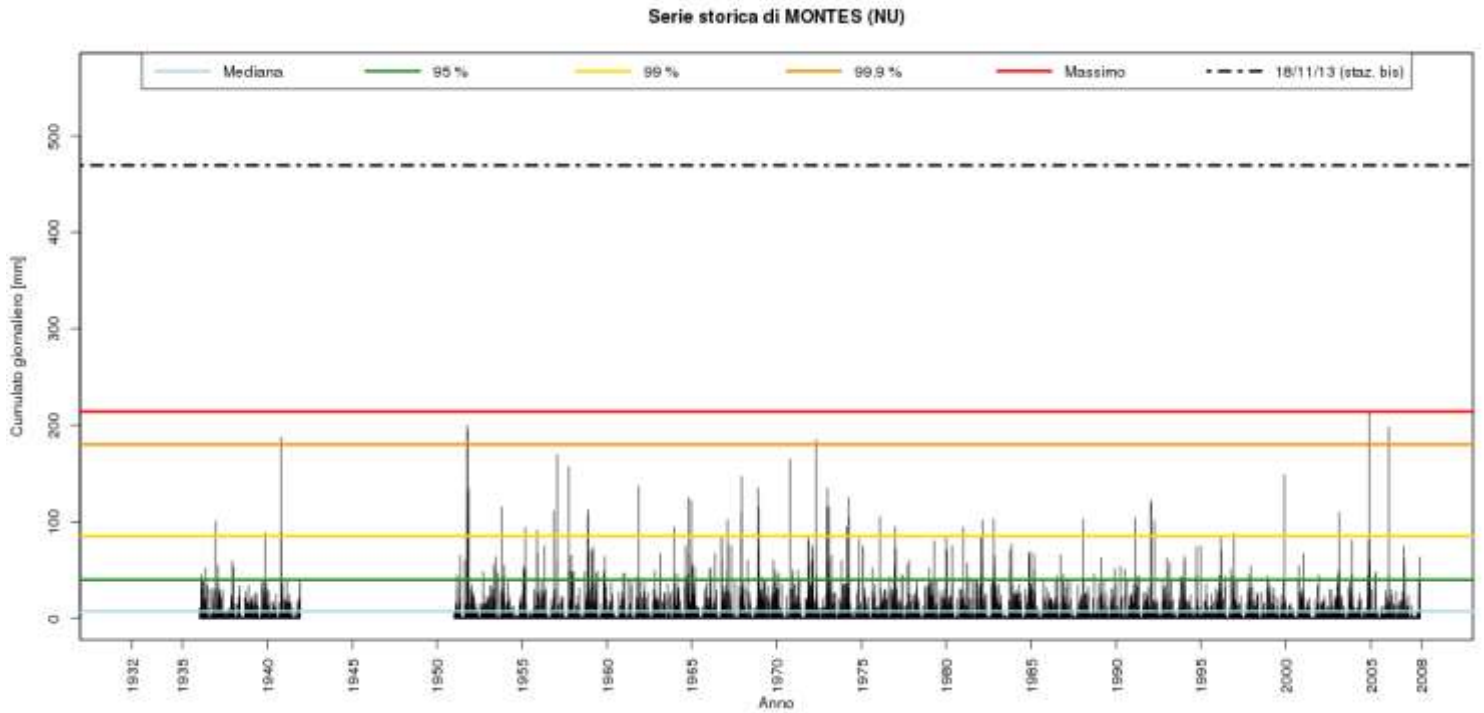
Istogramma serie storica di ORGOSOLO (NU)



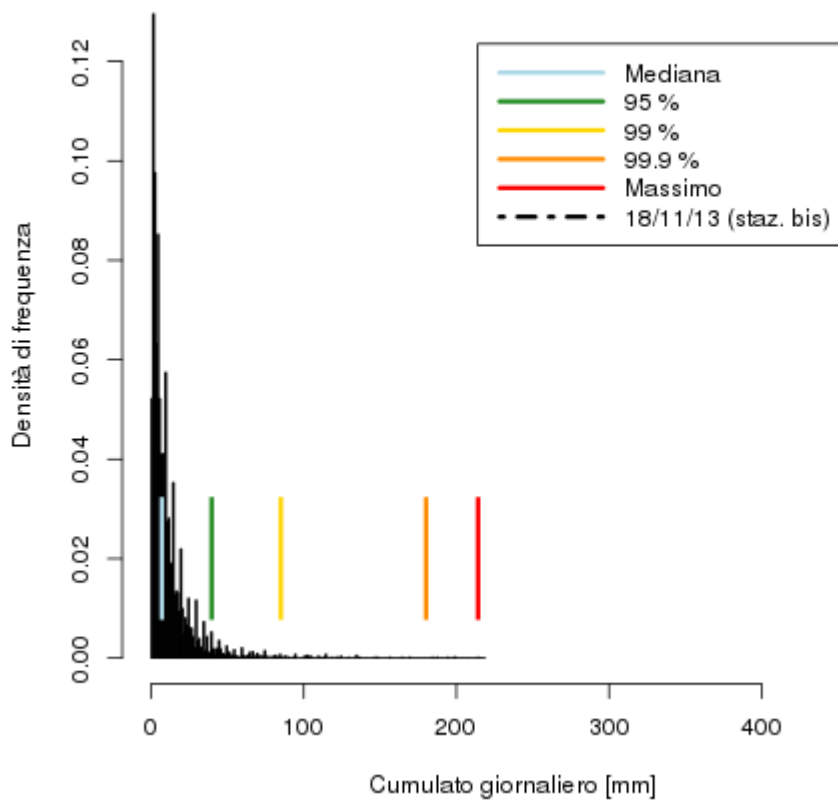


Istogramma serie storica di ORUNE (NU)





Istogramma serie storica di MONTES (NU)



4.4 Sardegna centro – nord-orientale, Area 4

Figura 4.4.1

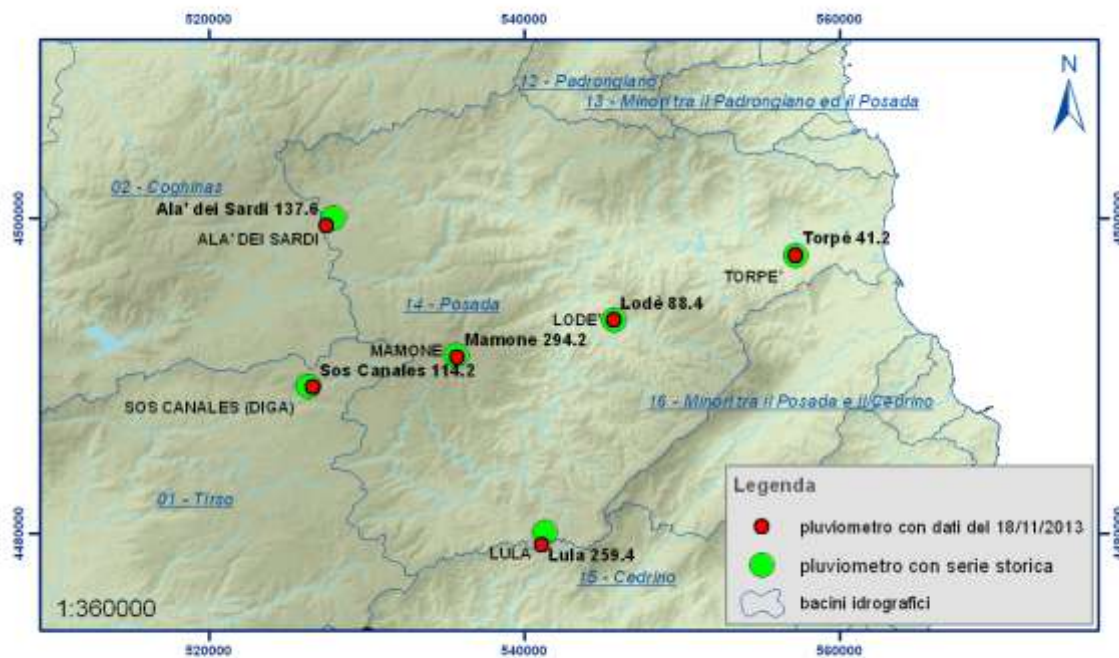
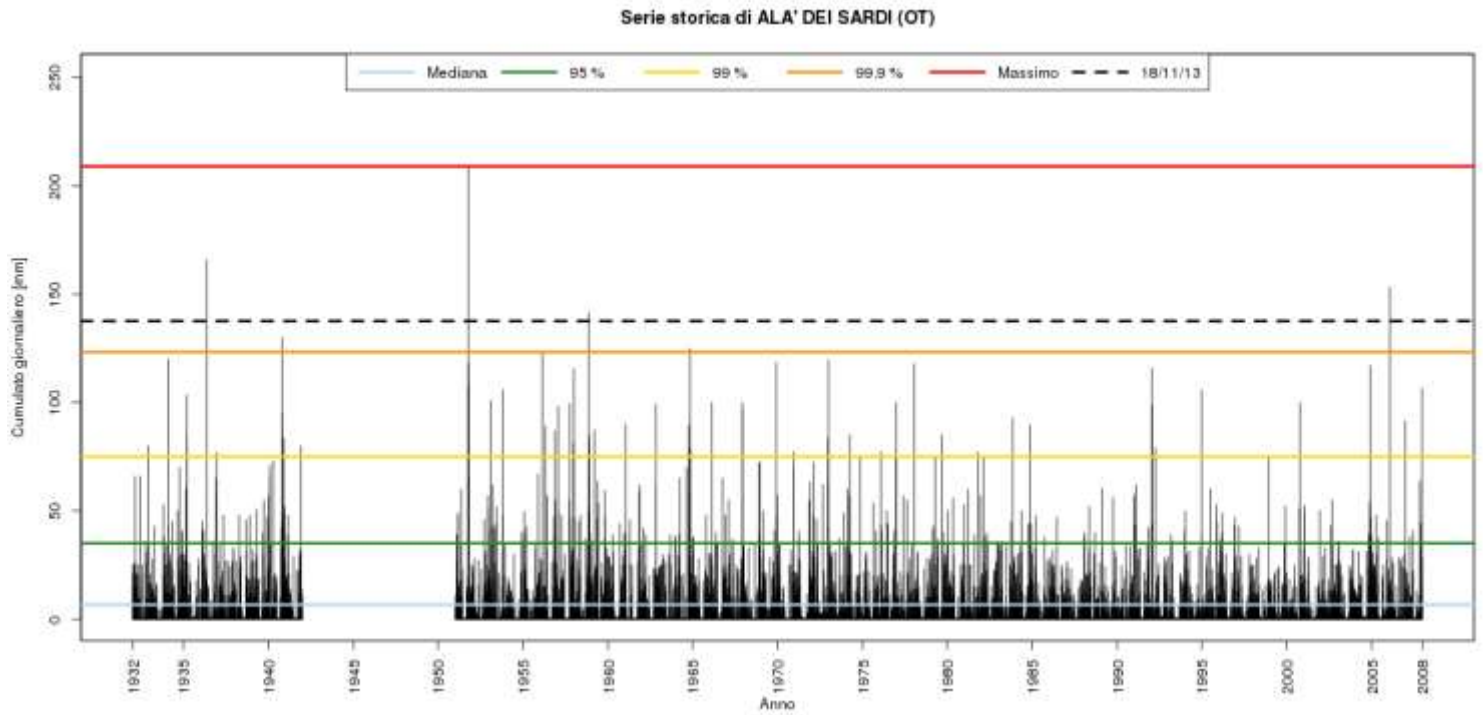


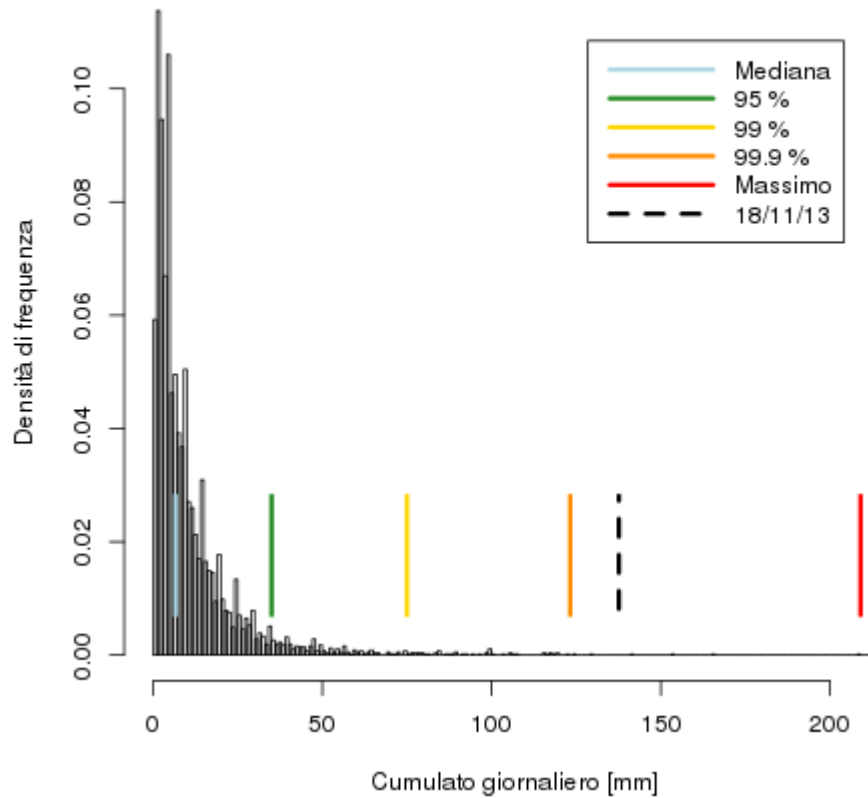
Tabella 4-A

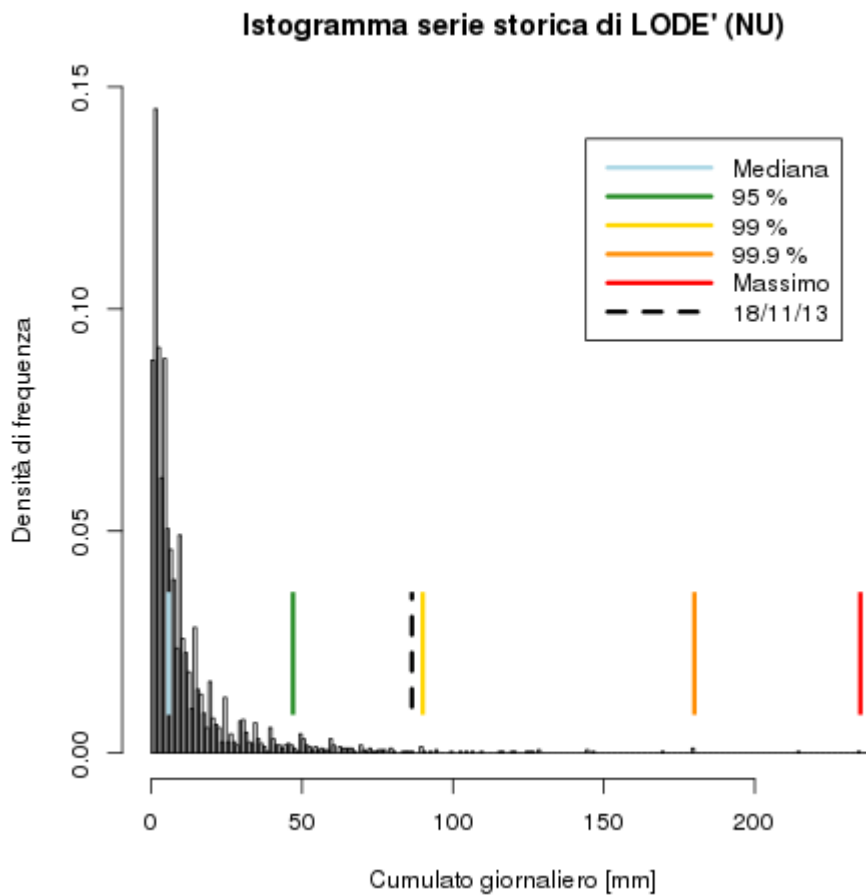
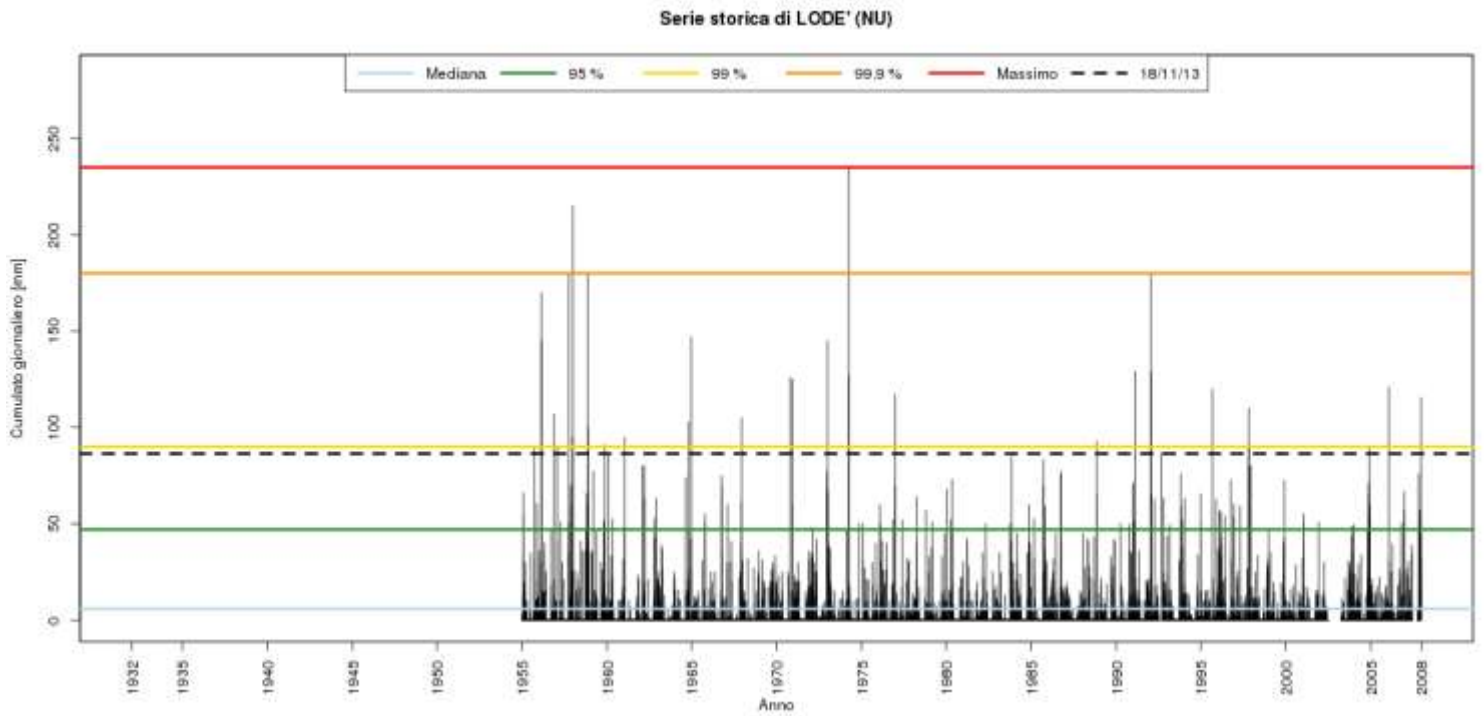
STAZIONE STORICA	PROVINCIA	LATTITUDINE (WGS84)	LONGITUDINE (WGS84)	QUOTA [m]	N° GIORNI SERIE STORICA	N° GIORNI PIOVOSI	MEDIANA [mm]	95-ESIMO PERCENTILE [mm]	99-ESIMO PERCENTILE [mm]	99.9-ESIMO PERCENTILE [mm]	MASSIMO STORICO [mm]	SCARTO $100 \left(\frac{\text{Massimistorico}}{99.9\text{-esimo percentile}} - 1 \right) \%$	CUMULATO DEL 18/11 [mm]	STAZIONE coincidente (*) o prossima alla stazione storica e della quale si dispone del cumulo del 18/11/2013	LATTITUDINE (WGS84)	LONGITUDINE (WGS84)	QUOTA [m]
ALA'DEISARDI	OT	40,650555	9,329334	663	24434	5689	6,6	35	75	123,2	209	70	137,6	Alà dei Sardi	40,645889	9,324444	665
LODE'	NU	40,591298	9,539513	345	18925	2792	5,8	47	90	180	235	31	86,4	Lodè *	40,591298	9,539513	345
LULA	NU	40,470361	9,487230	521	23914	4675	5,2	39,4	95	232	282	22	259,4	Lula	40,463333	9,484444	611
MAMONE	NU	40,571610	9,421333	881	7547	1527	5,1	33,6	70,8	187,8	230	22	294,2	Mamone	40,570694	9,422278	868
SOS CANALES (DIGA)	OT	40,554168	9,310495	714	16671	3810	4,6	24,6	43,8	94,3	123,6	31	114,2	SosCanales	40,212774	9,374445	719
TORPE'	NU	40,627693	9,676491	24	24347	4023	5,4	41,9	75,2	112	141	26	41,2	Torpè *	40,627693	9,676491	24

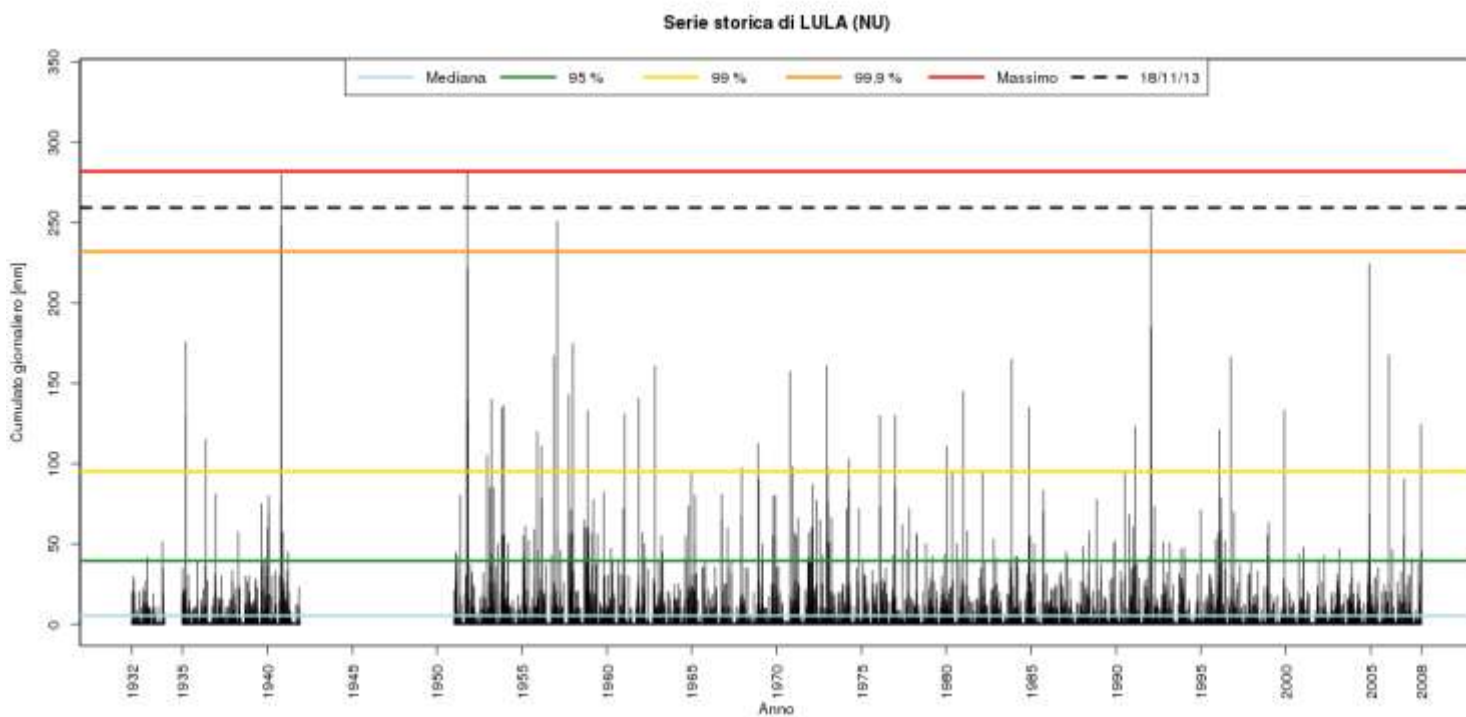




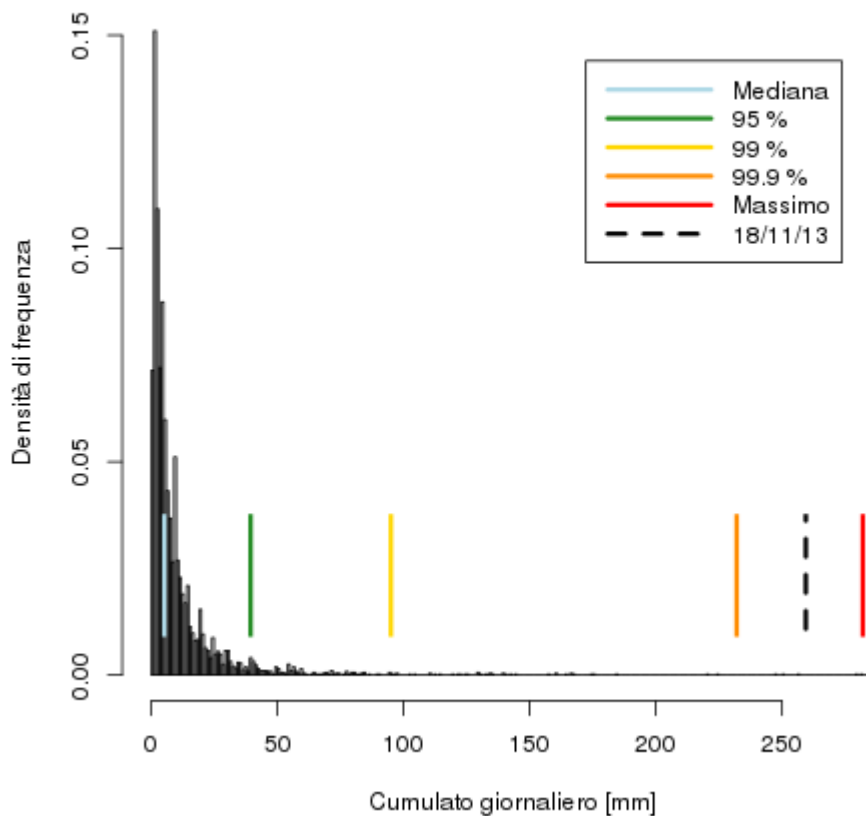
Istogramma serie storica di ALA' DEI SARDI (OT)

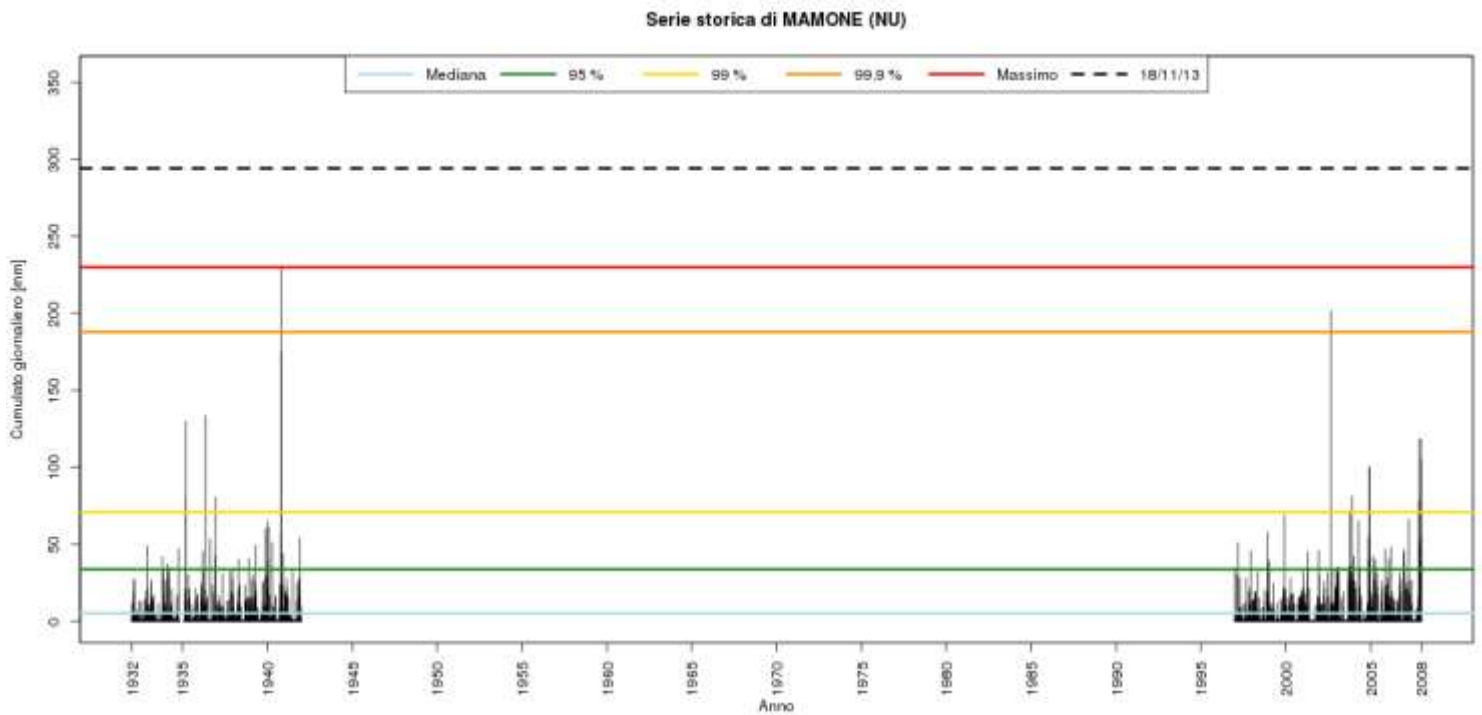




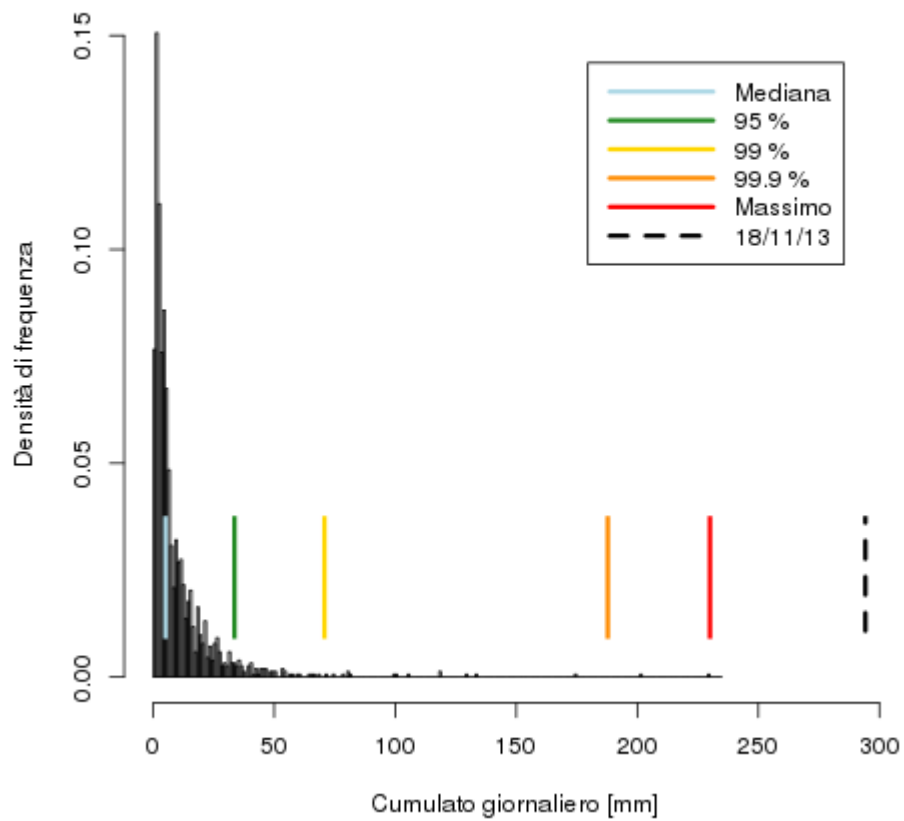


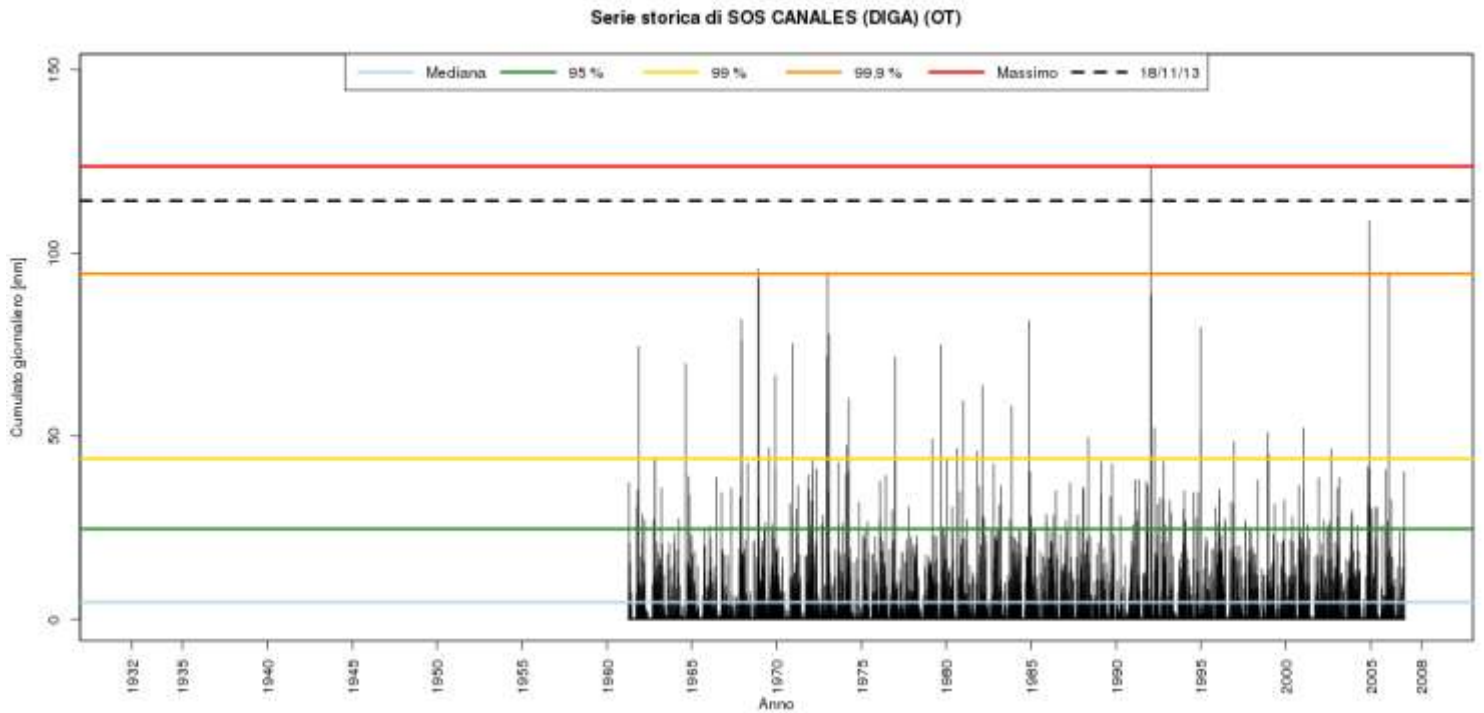
Istogramma serie storica di LULA (NU)



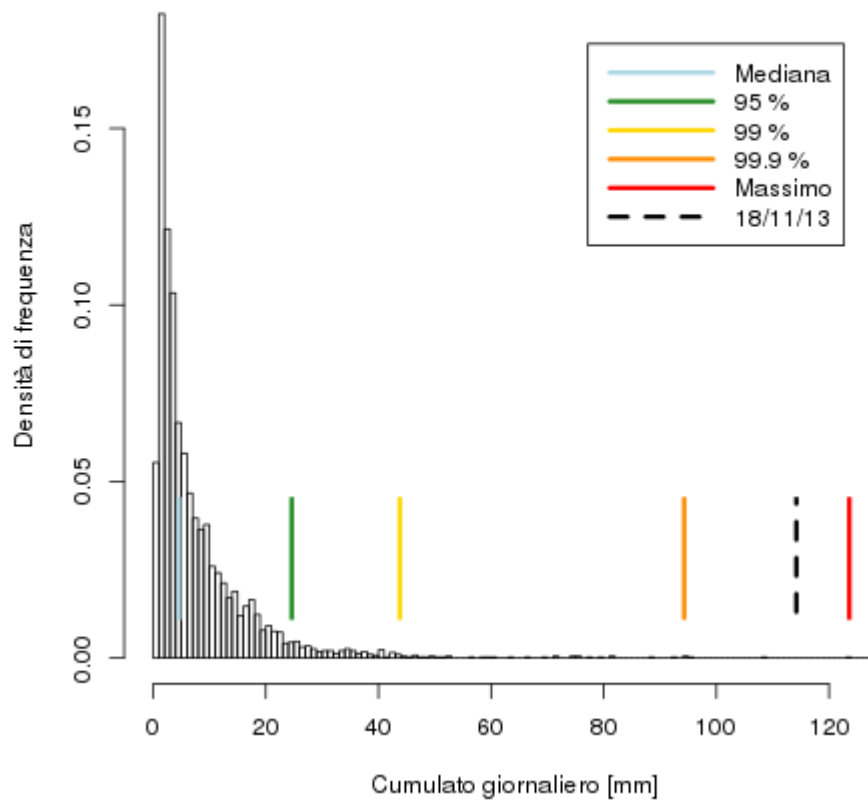


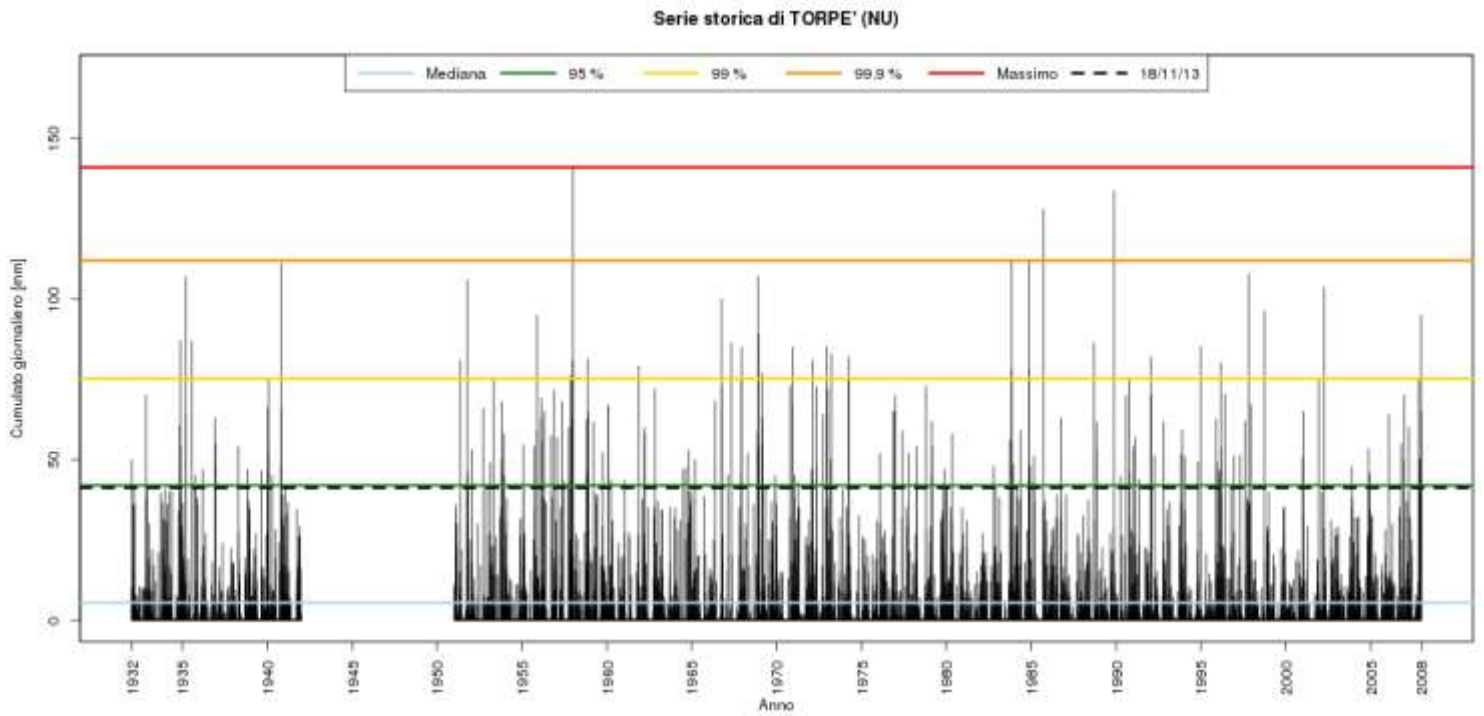
Istogramma serie storica di MAMONE (NU)



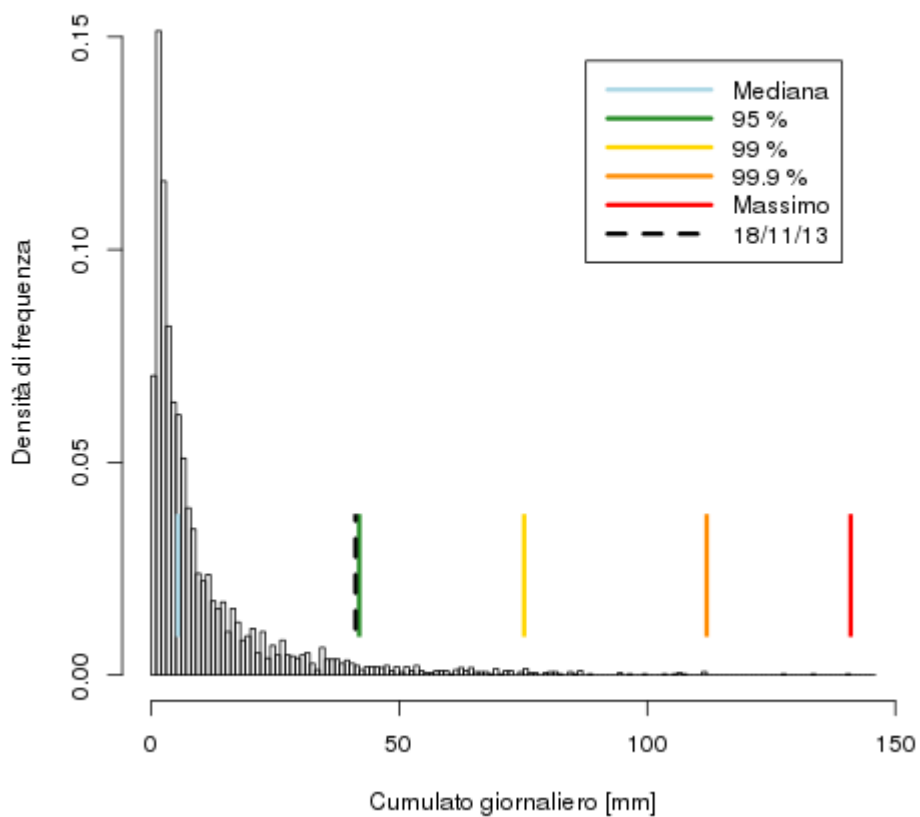


Istogramma serie storica di SOS CANALES (DIGA) (OT)





Istogramma serie storica di TORPE' (NU)



4.5 **Sardegna nord-orientale, Area 5** – Bacini idrografici *Padrongiano* e *Minori fra il Liscia e il Padrongiano*

Figura 4.5.1

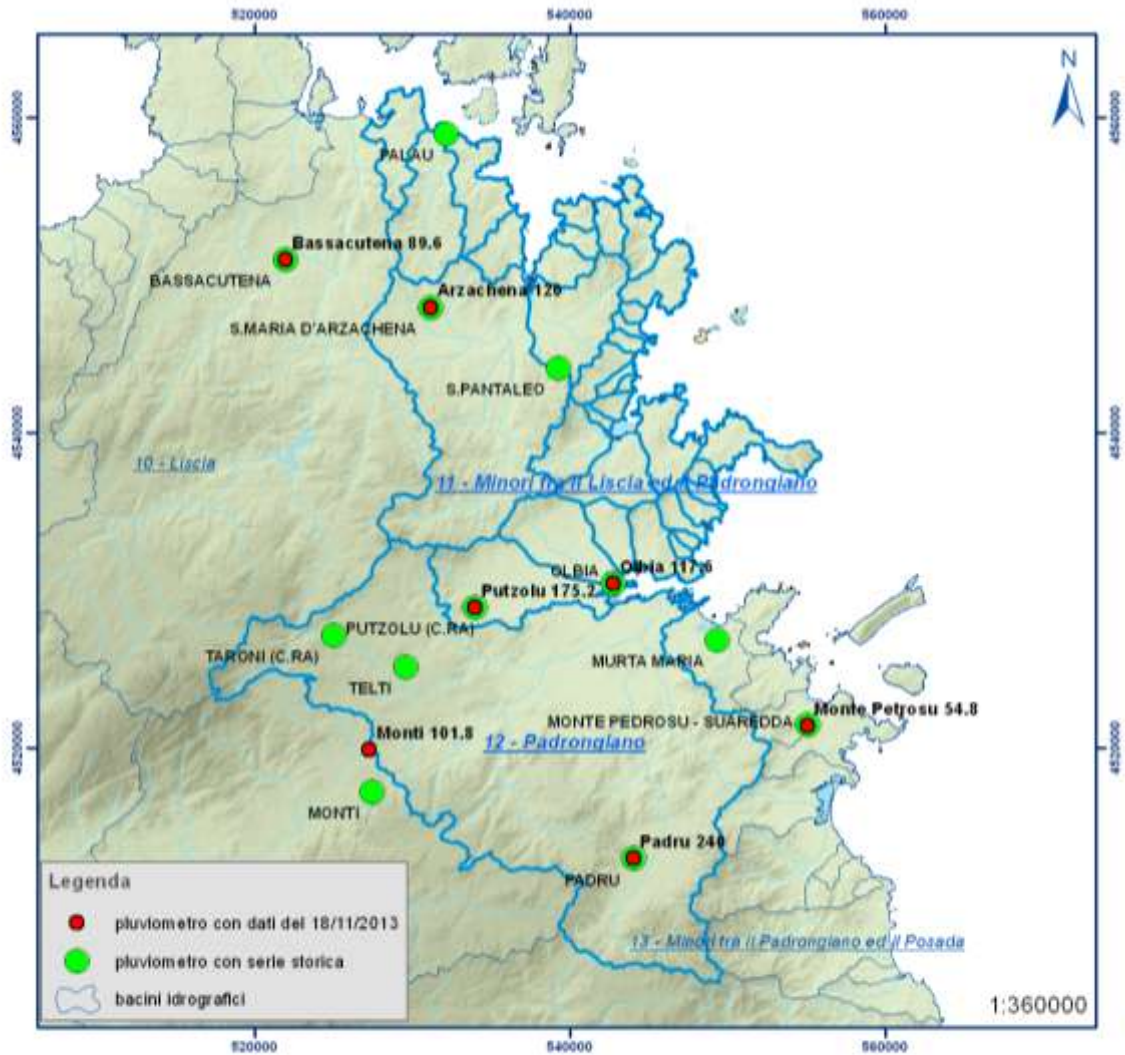
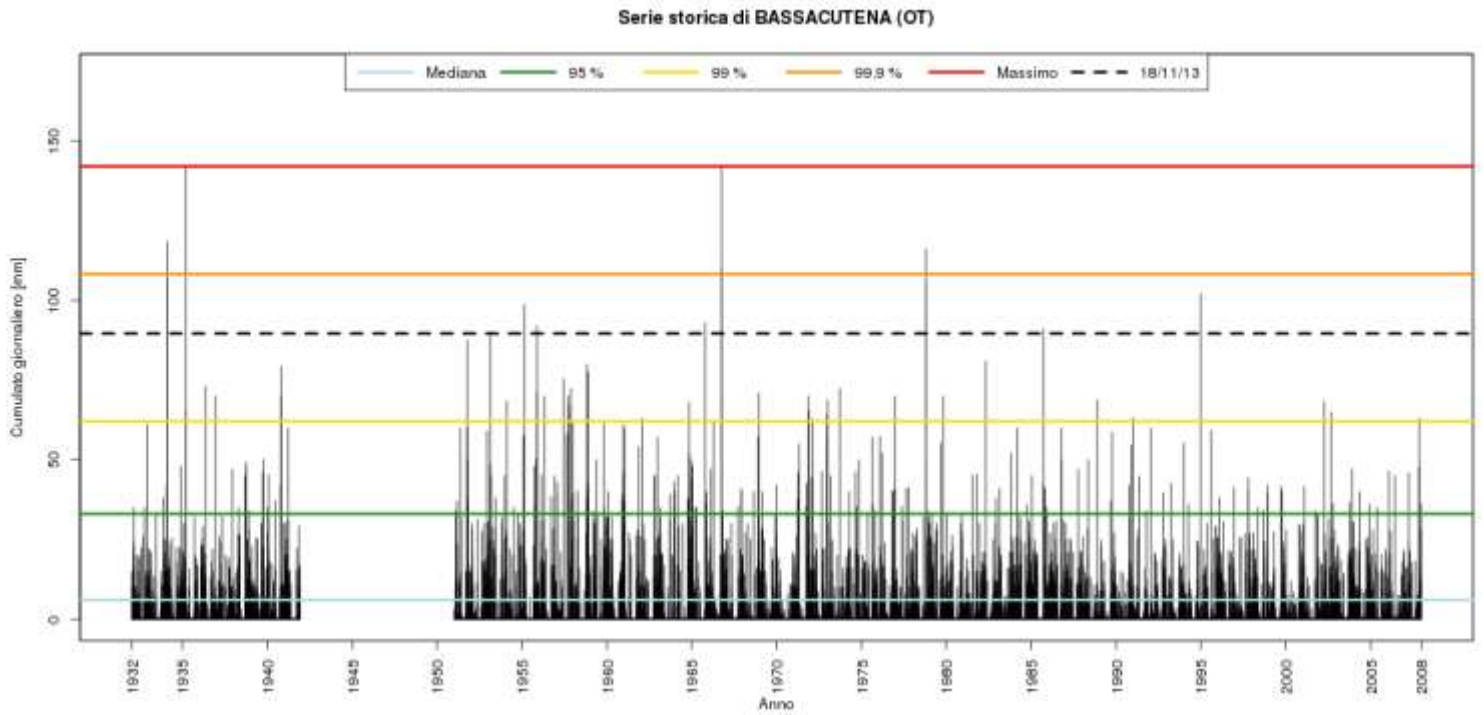


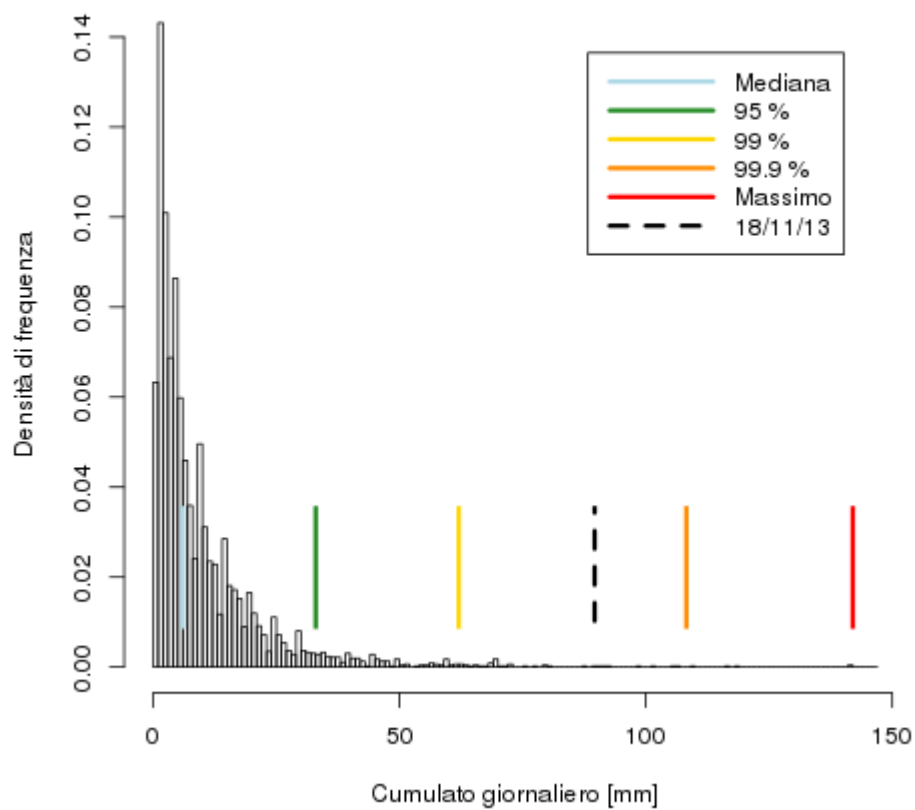
Tabella 5-A

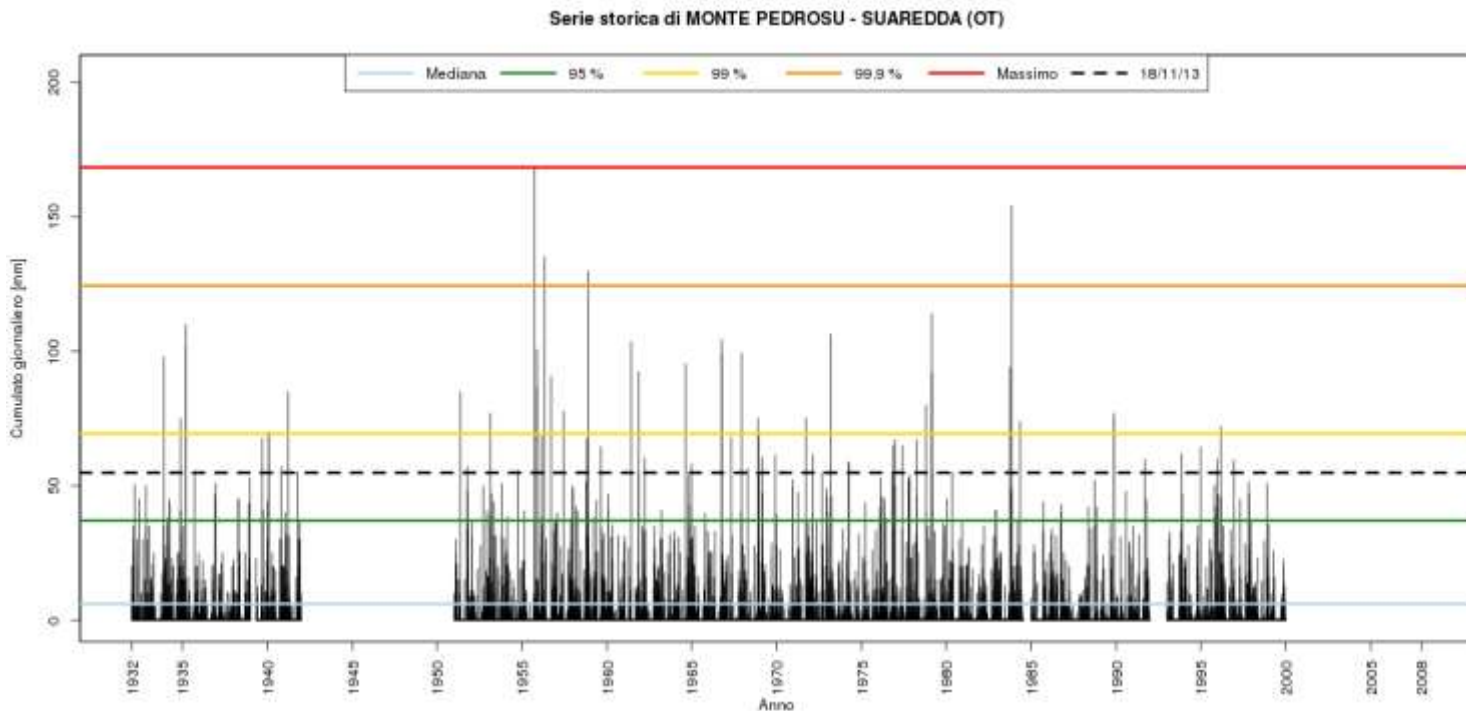
STAZIONE STORICA	PROVINCIA	LATITUDINE (WGS84)	LONGITUDINE (WGS84)	QUOTA [m]	N° GIORNI SERIE STORICA	N° GIORNI PIOVOSI	MEDIANA [mm]	95-ESIMO PERCENTILE [mm]	99-ESIMO PERCENTILE [mm]	99.9-ESIMO PERCENTILE [mm]	MASSIMO STORICO [mm]	SCARTO $100 \left(\frac{M_{\text{Massimostorico}}}{(99,9 - \text{esimo percentile})} - 1 \right) \%$	CUMULATO DEL 18/11 [mm]	STAZIONE coincidente (*) o prossima alla stazione storica e della quale si dispone del cumulo del 18/11/2013	LATITUDINE (WGS84)	LONGITUDINE (WGS84)	QUOTA [m]
BASSACUTENA	OT	41,109704	9,261229	69	24364	4597	6	33	62	108,2	142	31	89,6	Bassacutena *	41,109704	9,261229	69
MONTE PEDROSU-SUAREDDA	OT	40,842501	9,652930	96	20874	3348	6	37	69,3	124,4	168,4	35	54,8	Monte Petrosu	40,841556	9,652917	45
OLBIA	OT	40,923766	9,507647	15	26520	4678	4,8	30,4	59,8	103,9	116,8	12	117,6	Olbia *	40,923766	9,507647	15
PADRU	OT	40,766328	9,521376	165	22223	3468	6,6	48	96	191,1	238	25	240,0	Padru *	40,766328	9,521376	165
PUTZOLU (C.RA)	OT	40,910395	9,403290	100	18881	3764	5,6	35,3	66,7	117	163	39	175,2	Putzolu *	40,910395	9,403290	100
SMARIA D'ARZACHENA	OT	41,082018	9,371122	81	22108	3883	5	30	54	107,1	165	54	120,0	Arzachena *	41,082018	9,371122	81



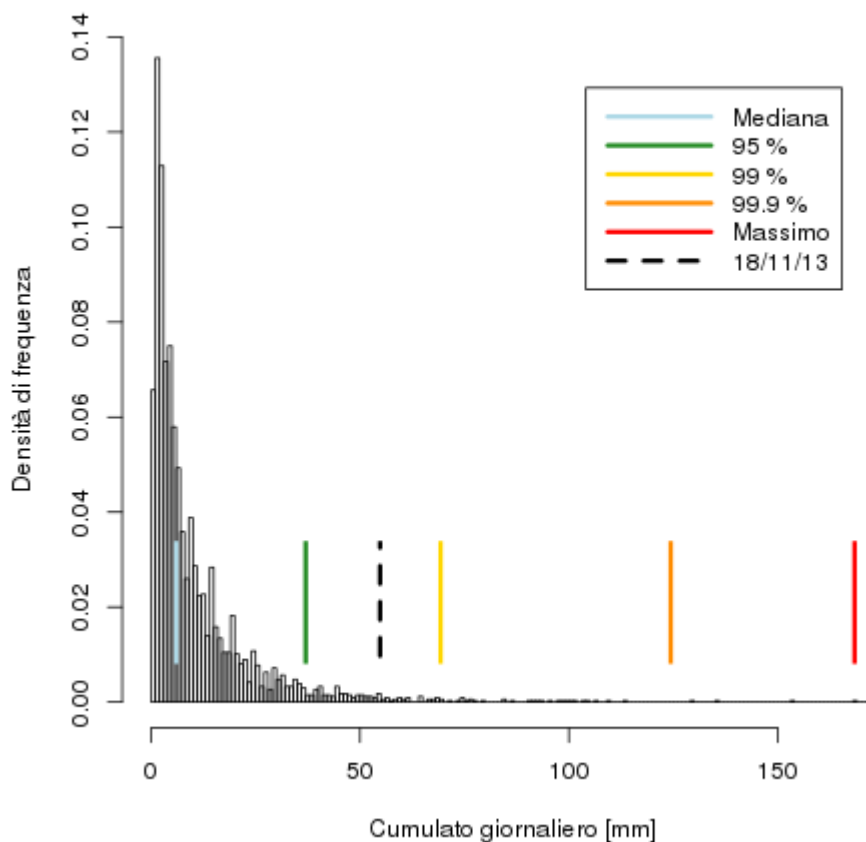


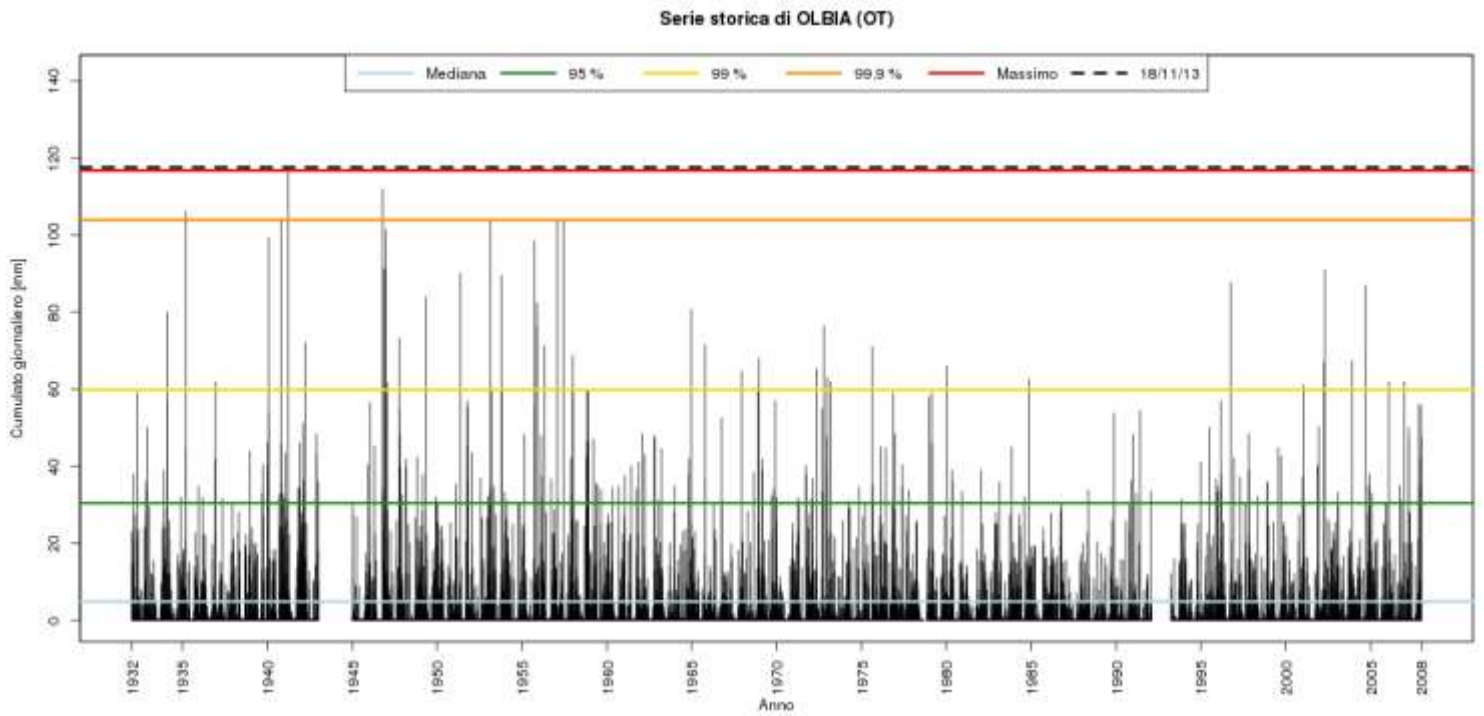
Istogramma serie storica di BASSACUTENA (OT)



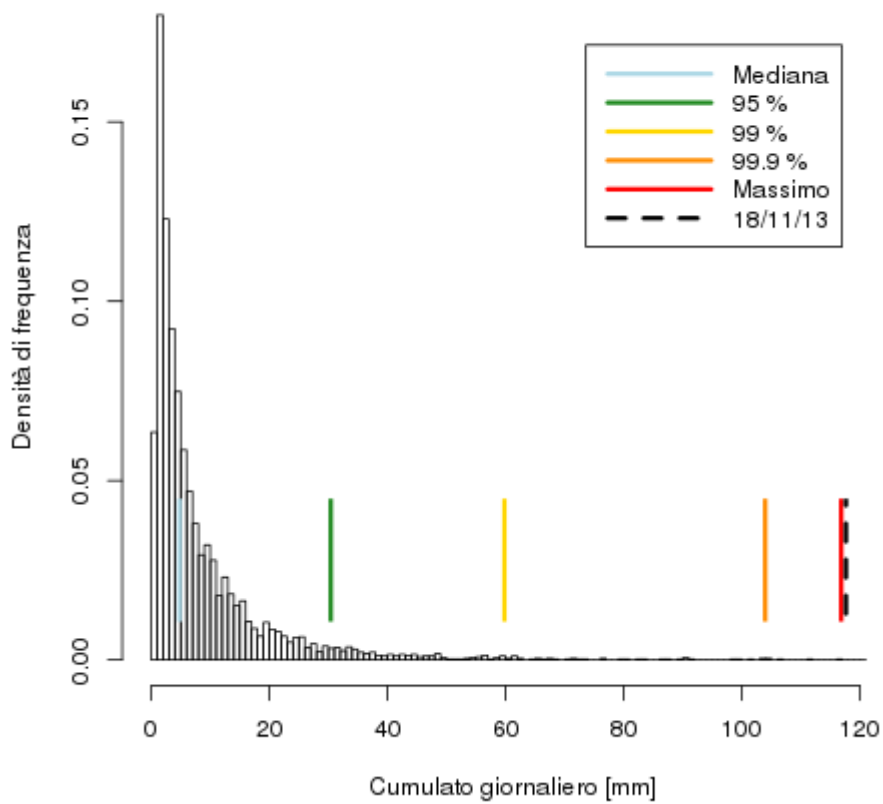


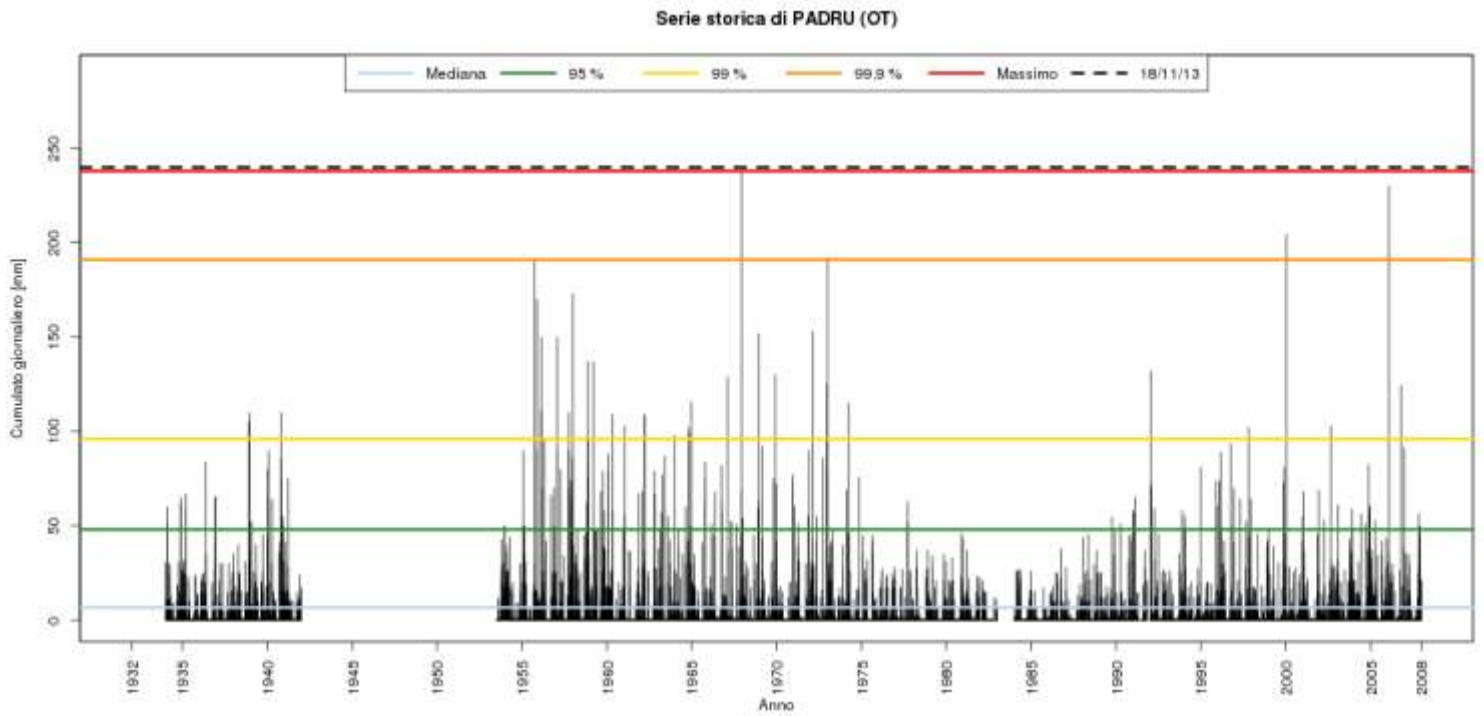
Istogramma serie storica di MONTE PEDROSU - SUAREDDA (OT)



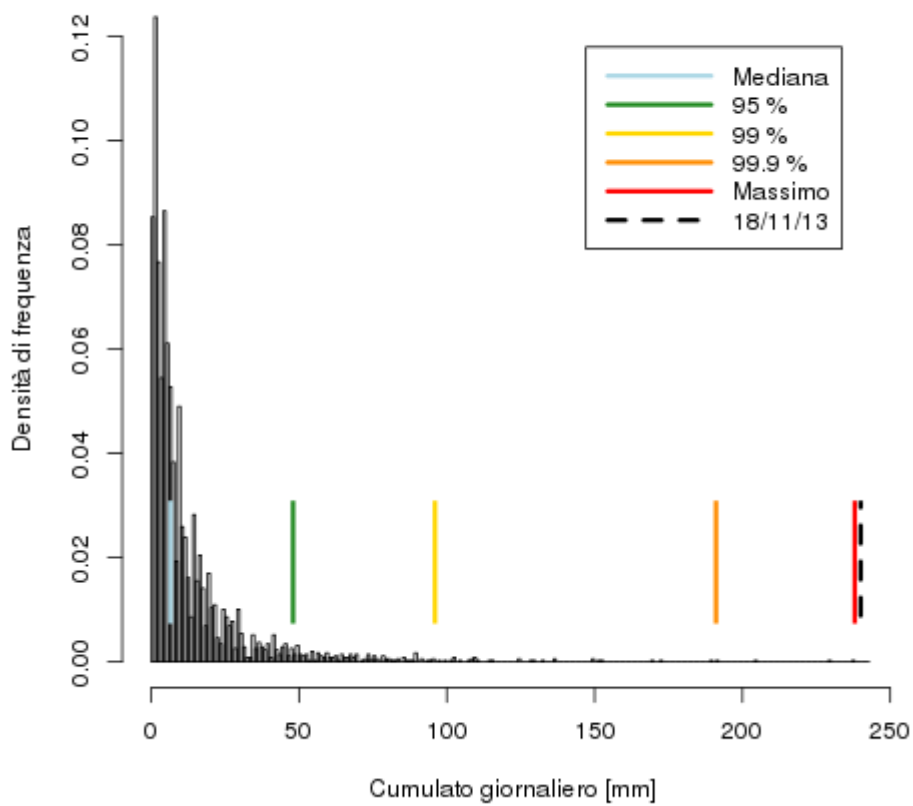


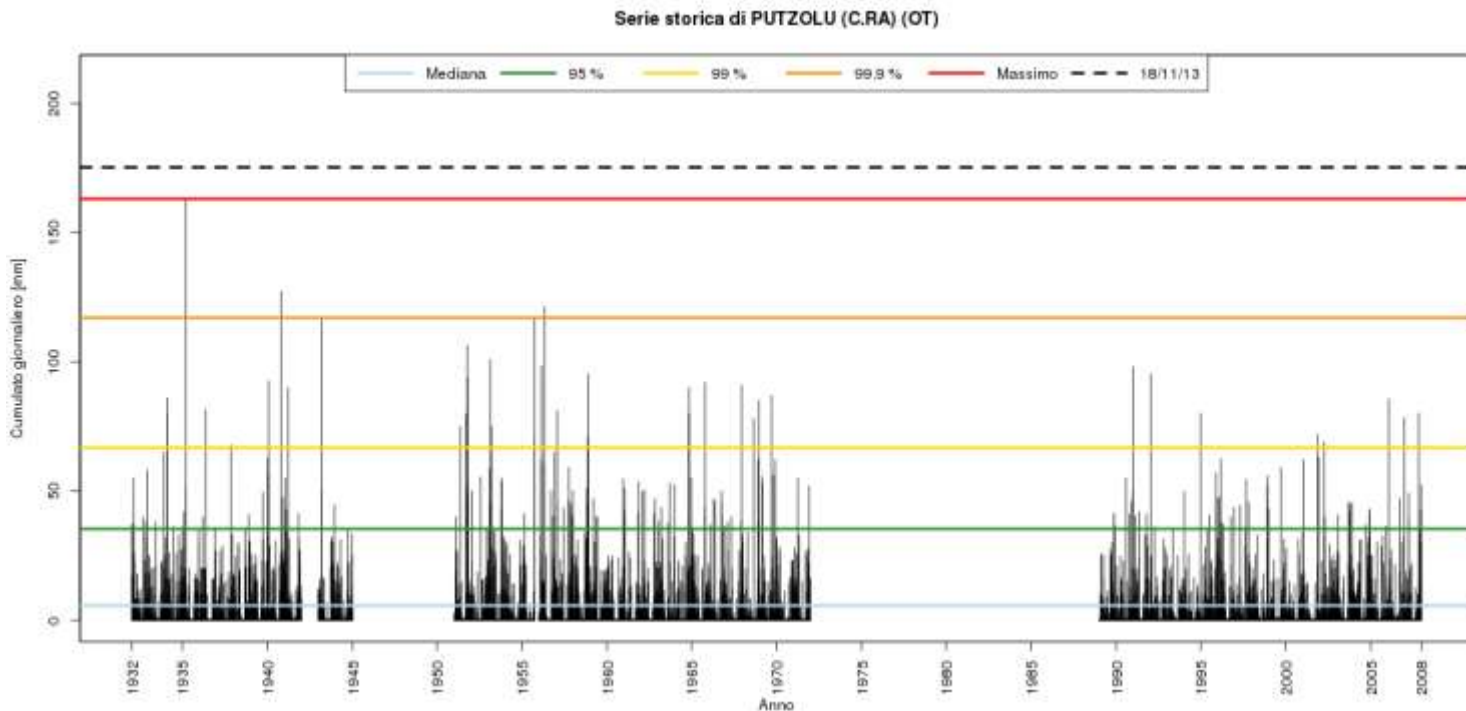
Istogramma serie storica di OLBIA (OT)



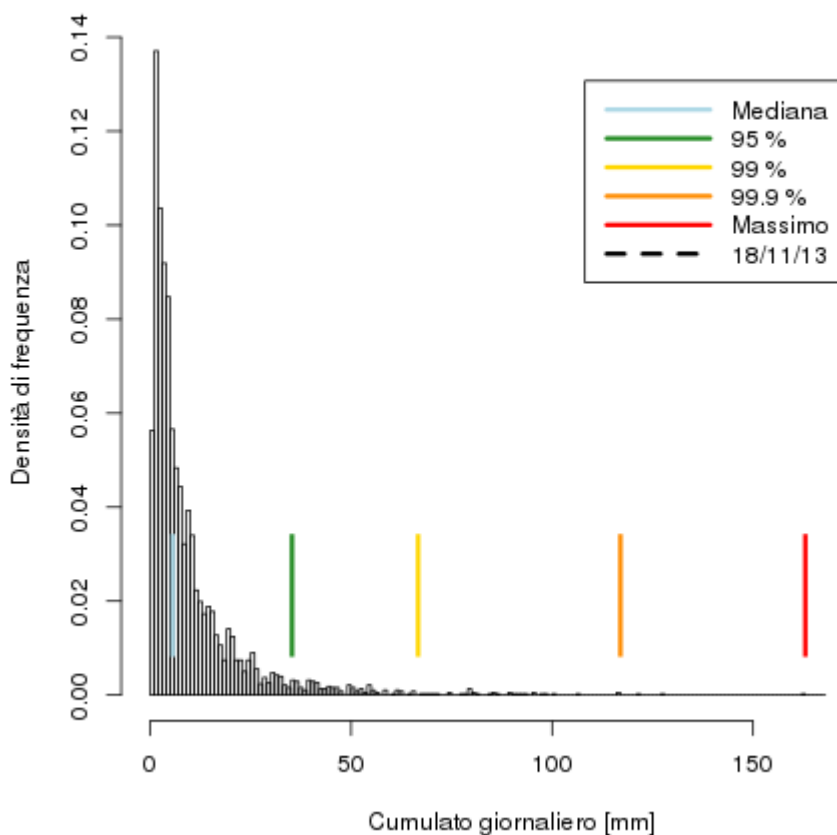


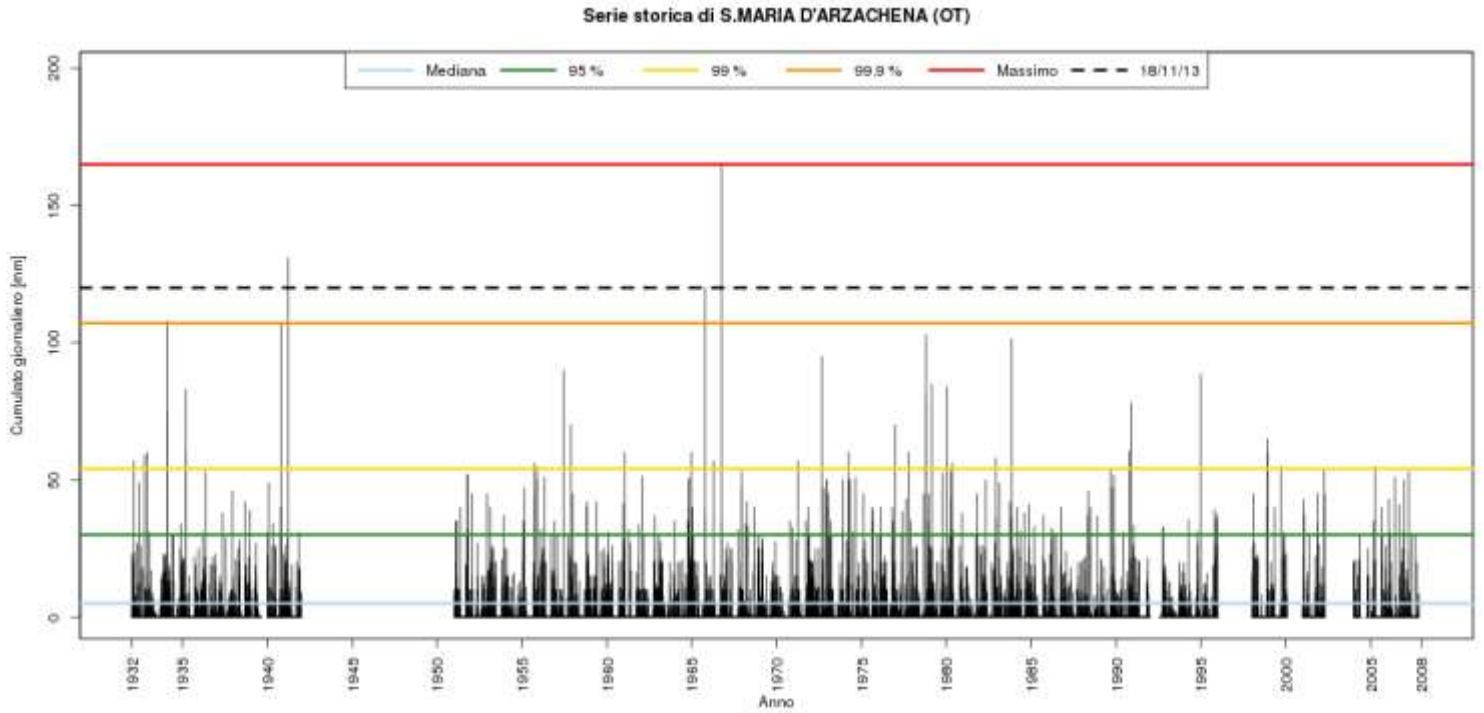
Istogramma serie storica di PADRU (OT)





Istogramma serie storica di PUTZOLU (C.RA) (OT)





Istogramma serie storica di S.MARIA D'ARZACHENA (OT)

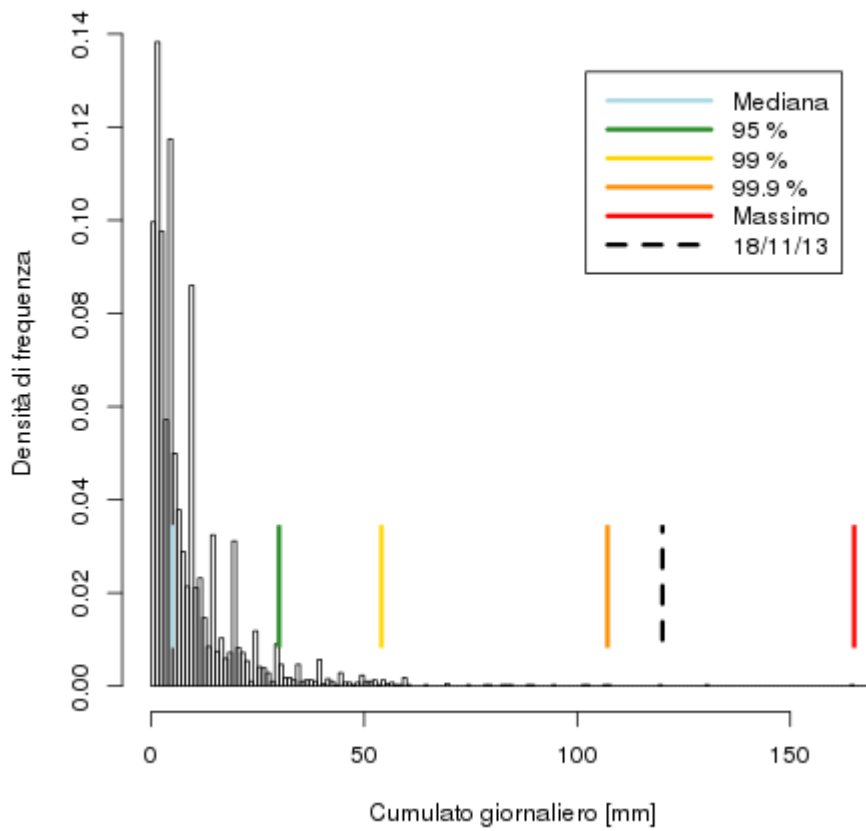
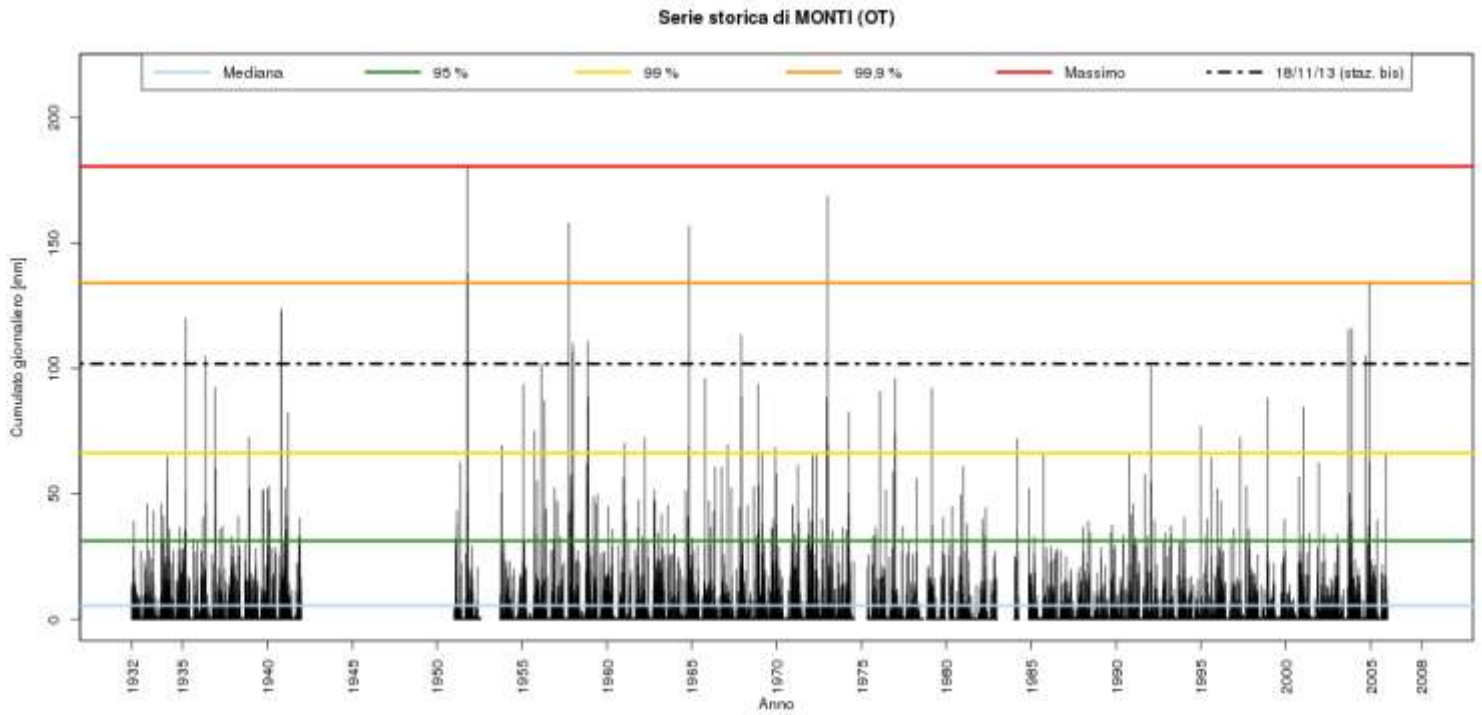


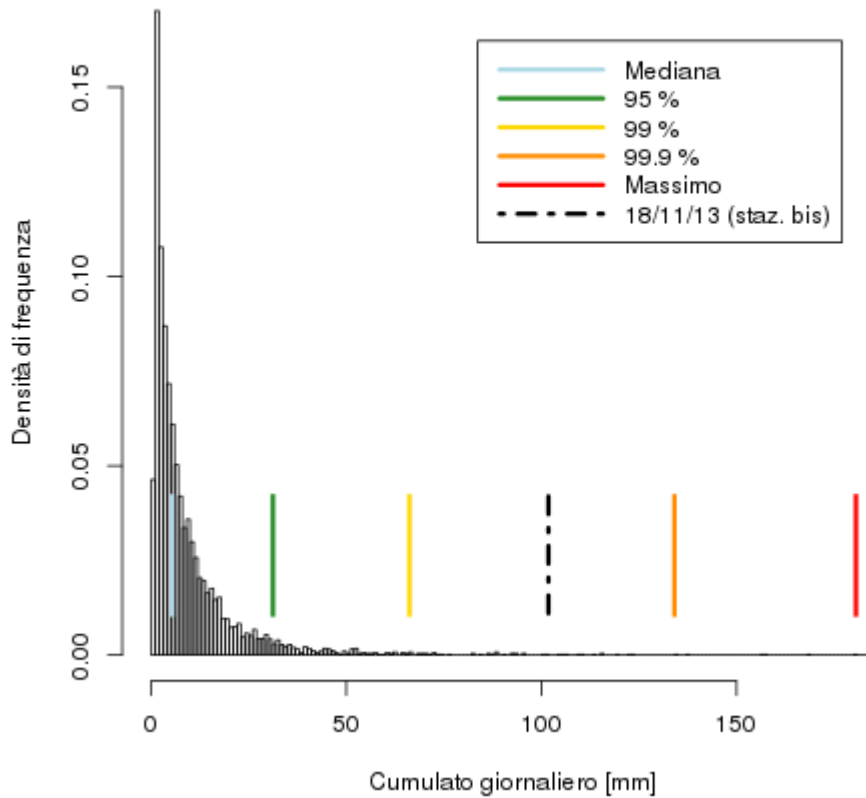
Tabella 5-B

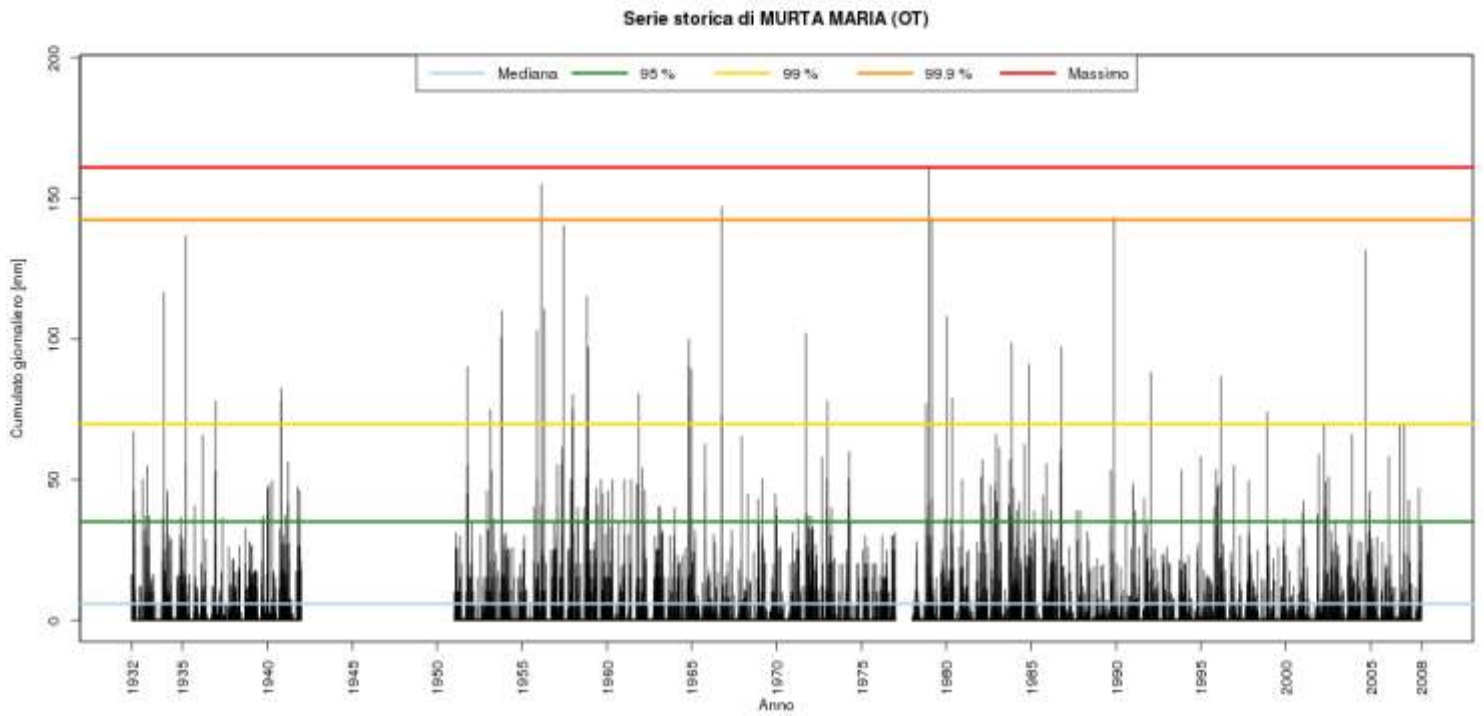
STAZIONE STORICA	LATITUDINE (WGS84)	LONGITUDINE (WGS84)	QUOTA [m]	N° GIORNI SERIE STORICA	N° GIORNI PIOVOSI	MEDIANA [mm]	95-ESIMO PERCENTILE [mm]	99-ESIMO PERCENTILE [mm]	99.9-ESIMO PERCENTILE [mm]	MASSIMO STORICO [mm]	SCARTO $100 \left(\frac{\text{Massimostorico}}{99.9\text{-esimopercentile}} - 1 \right) \%$	CUMULATO DEL 18/11 [mm]	STAZIONE distante e/o non omogenea rispetto alla stazione storica e della quale si dispone del cumulato del 18/11/2013	PROVINCIA	LATITUDINE (WGS84)	LONGITUDINE (WGS84)	QUOTA [m]
MONTI	40,805243	9,325592	296	22276	5049	5,4	31,2	66,2	134,1	180,6	35	101,8	Monti	OT	40,829444	9,323556	292
MURTA MARIA	40,890785	9,585860	17	24031	4257	5,8	35	69,7	142,3	161	13	-	-	-	-	-	-
PALAU	41,181518	9,382891	5	24392	4317	6,7	34	59,9	113,2	166,4	47	-	-	-	-	-	-
S.PANTALEO	41,047167	9,467425	169	24436	5300	6	35,5	58,8	101,4	146	44	-	-	-	-	-	-
TARONI (C.RA)	40,894954	9,296650	366	24465	6104	6	35,4	66	139,7	220	57	-	-	-	-	-	-
TEITI	40,876335	9,350863	100	13143	2640	5,6	35	77	127,4	163	28	-	-	-	-	-	-



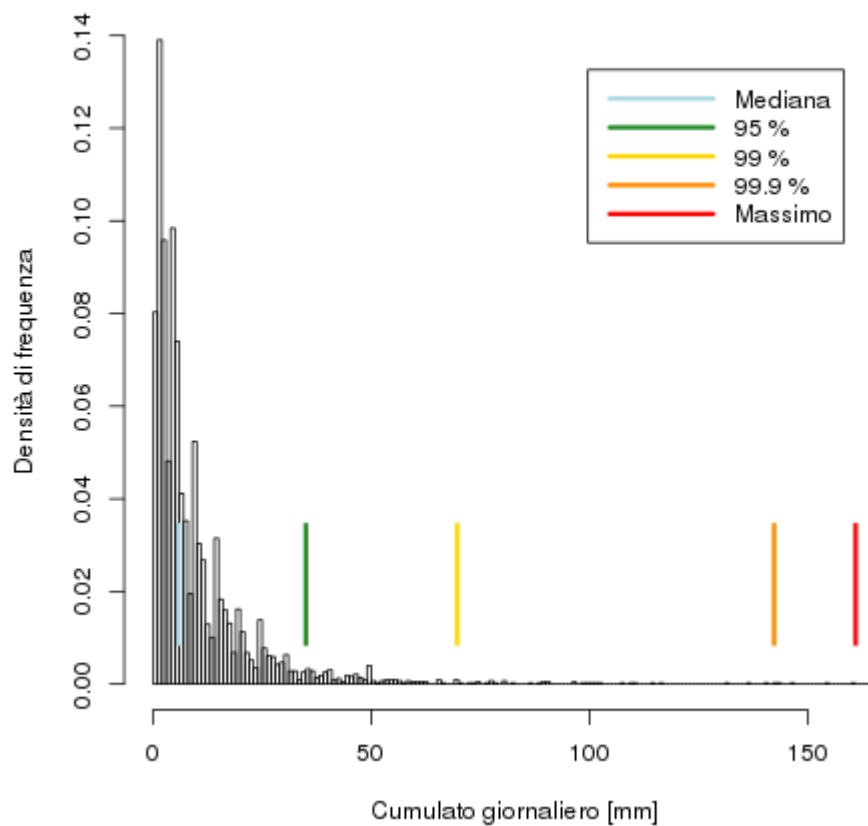


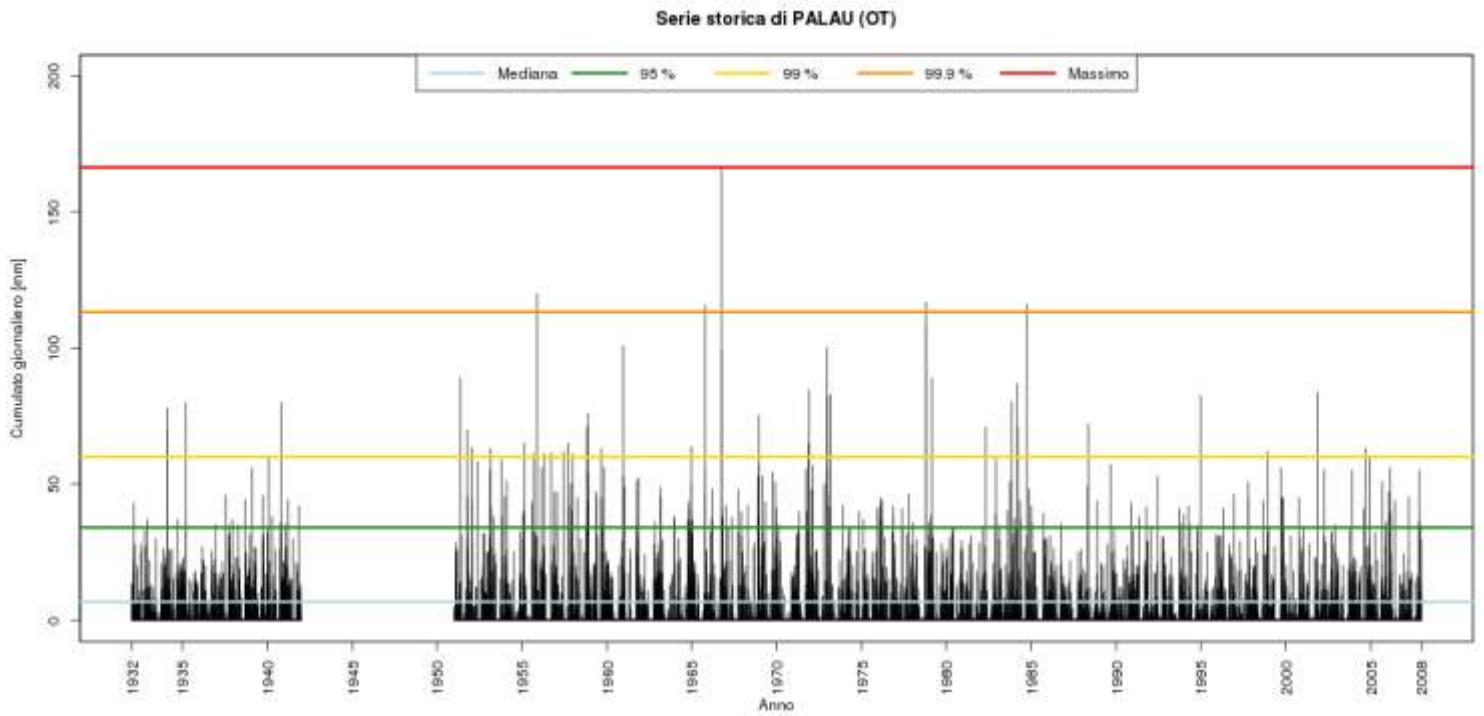
Istogramma serie storica di MONTI (OT)



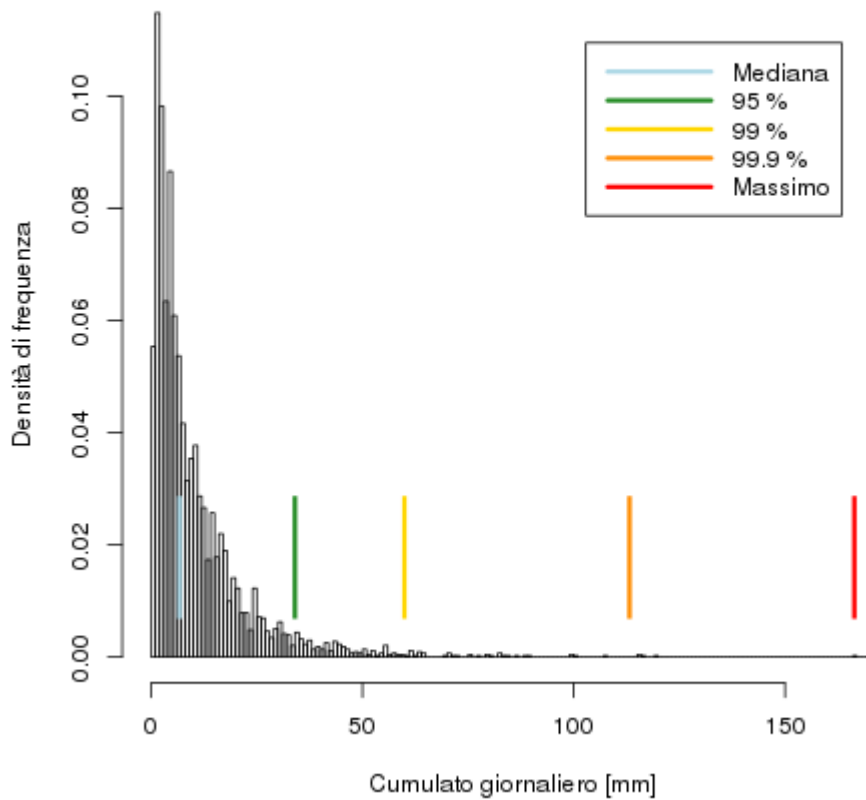


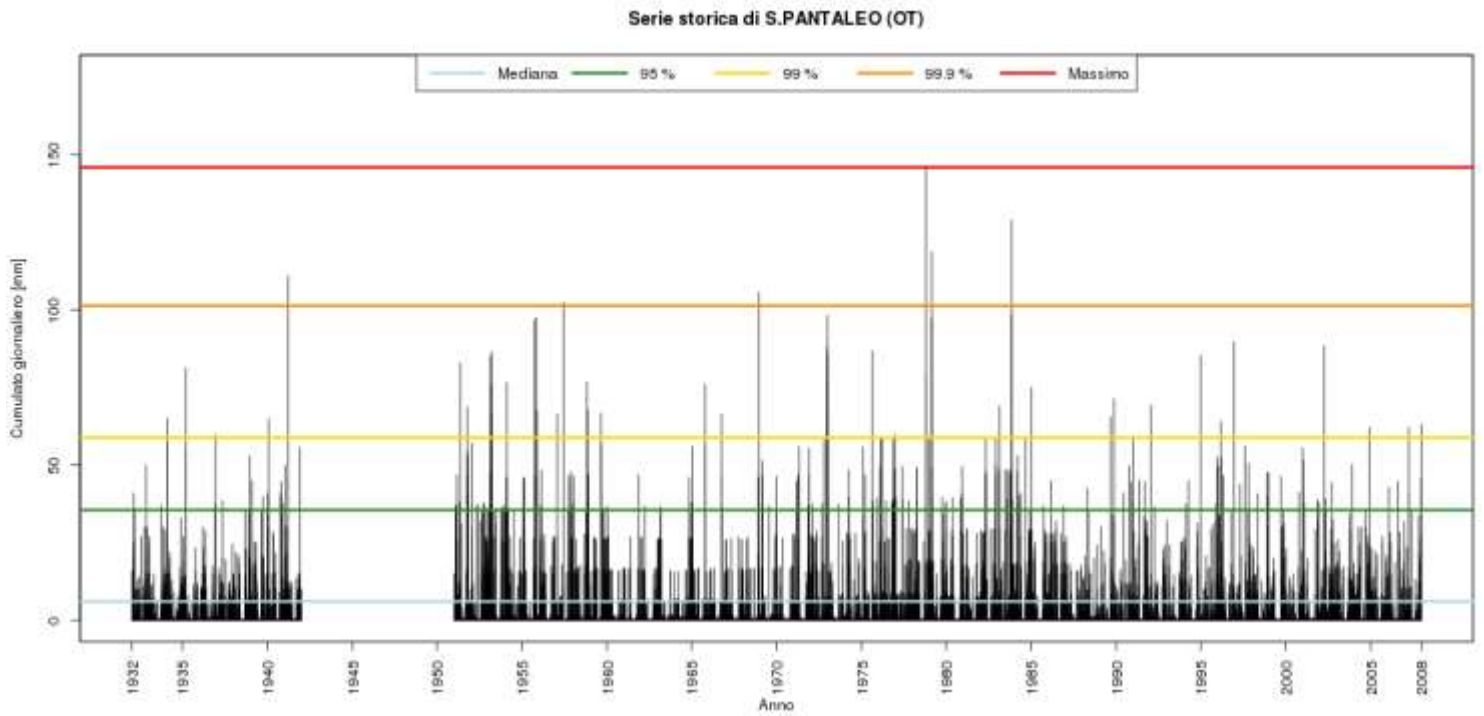
Istogramma serie storica di MURTA MARIA (OT)



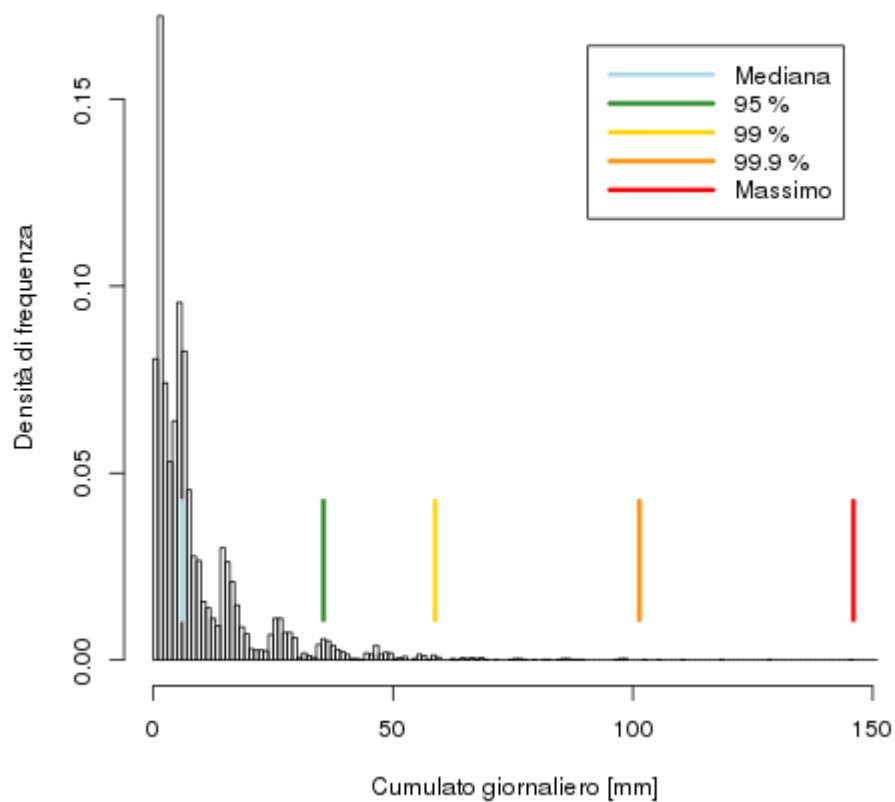


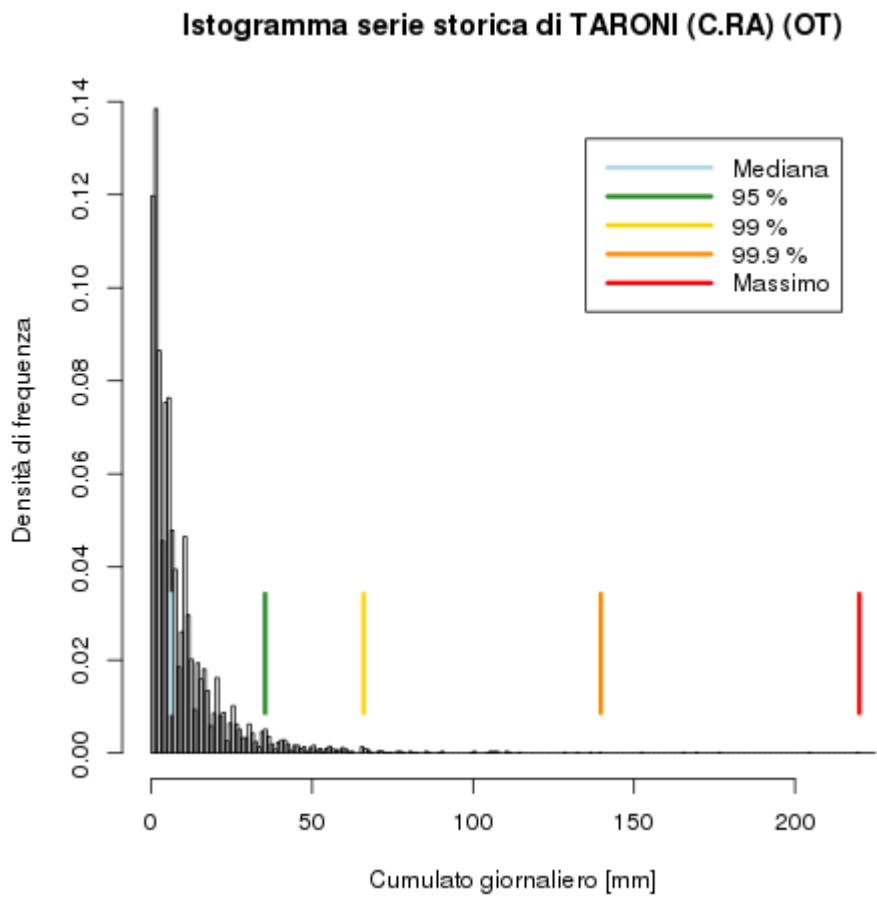
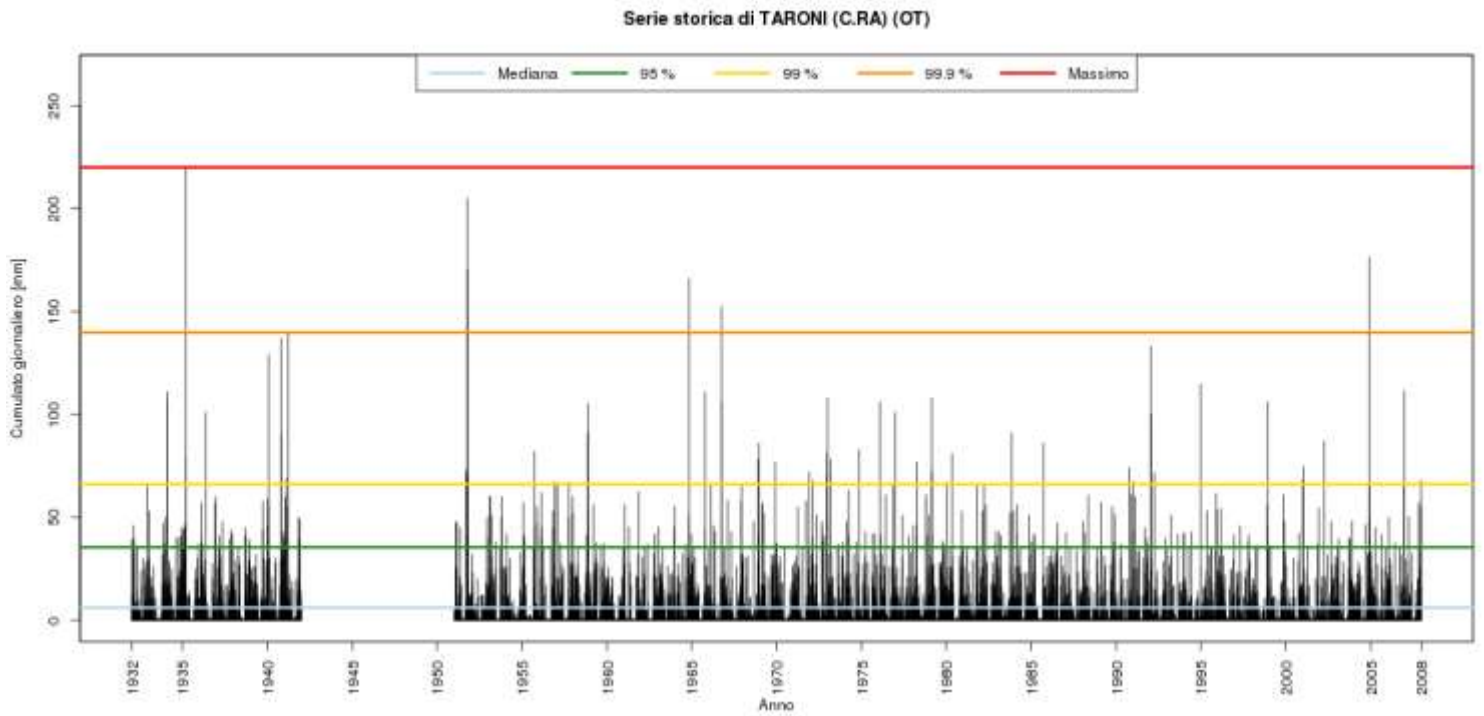
Istogramma serie storica di PALAU (OT)

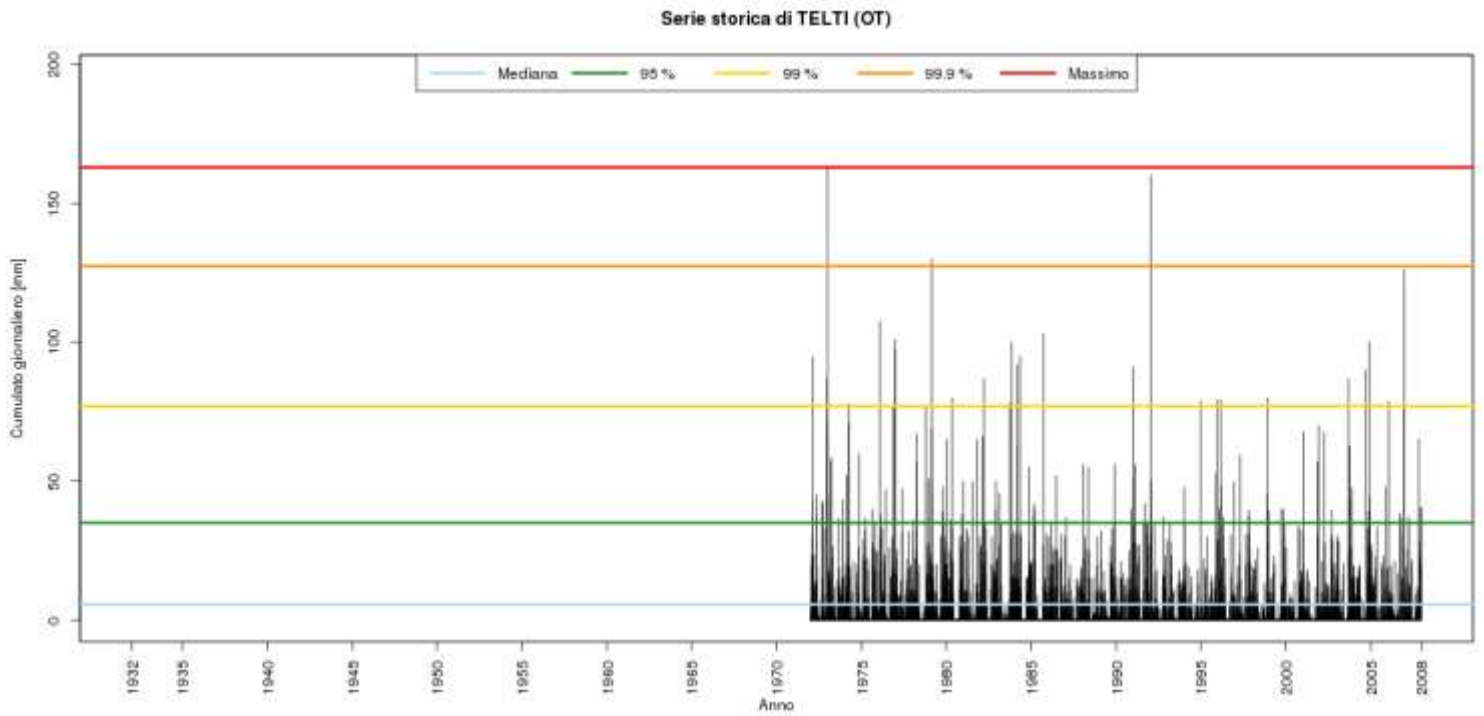




Istogramma serie storica di S.PANTALEO (OT)







Istogramma serie storica di TELTI (OT)

