



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Scienze Chimiche

Dipartimento di Geoscienze

Corso di laurea in Scienze e Tecnologie per l'Ambiente

**CAMBIAMENTI CLIMATICI NELLE SERIE PLUVIOMETRICHE DI VERONA,
MONTEGALDELLA (VI) E OLIERO (VI).**

Relatore: Prof. Paolo Fabbri

Laureando: Raiola Riccardo

Matricola: 1201855

Anno Accademico: 2021/2022

Indice:

1. INTRODUZIONE
2. PROCEDIMENTO E SCOPO DELLA TESI
3. ANALISI DEI DATI PLUVIOMETRICI E TERMOMETRICI
 - 3.1 Analisi pluviometrica annuale
 - 3.2 Analisi pluviometrica stagionale
 - 3.3 Analisi pluviometrica mensile
 - 3.4 Analisi pluviometrica giornaliera
 - 3.5 Analisi pluvio-termometrica
4. CONFRONTO PLUVIO-TERMOMETRICO TRA DUE PERIODI
 - 4.1 Verona 1951-1962 / 1993-2004
 - 4.2 Montegaldella 1931-1942 / 2010-2021
 - 4.3 Oliero 1931-1946 / 1988-2003
5. ANALISI SULL'INCREMENTO DELL'INTENSITÀ DI PRECIPITAZIONE
NEGLI ANNI
6. CONCLUSIONI
7. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

1. INTRODUZIONE

I cambiamenti climatici rappresentano una sfida urgente e potenzialmente irreversibile per l'umanità e per il pianeta; è ormai divenuto evidente che il clima sta cambiando con una velocità che sembra crescere di anno in anno, e la responsabilità di questa alterazione è da imputare principalmente all'emissione dei gas serra (IPCC, 2001).

I cambiamenti climatici influiscono direttamente anche sulle precipitazioni: il crescente riscaldamento globale conduce ad una maggiore evaporazione dell'acqua, aumentando così l'intensità e la durata dei periodi di siccità. D'altro canto, però, questo aumento dell'evaporazione porta ad un maggiore accumulo di vapore acqueo nell'aria e di conseguenza il raggiungimento della saturazione, che causa il rilascio di precipitazioni; tuttavia, la capacità dell'aria di trattenere acqua aumenta del 7% per ogni grado in più (Trenberth, 2011), pertanto gli eventi di precipitazione sono sempre più intensi, seppur meno frequenti, e innalzano la probabilità che si verifichino inondazioni. Esistono e cooperano quindi due facce della stessa medaglia: l'aumento del contenuto di vapore acqueo nell'aria si traduce nell'aumento della temperatura media globale, infatti il vapore acqueo rappresenta uno dei principali gas serra, ma l'aumento della temperatura media globale conduce ad un incremento del vapore acqueo trattenuto dall'atmosfera, con le conseguenze descritte pocanzi.

Il cambiamento del clima può essere approfonditamente studiato anche attraverso l'indagine sulla variabilità di alcuni indicatori tipici del "tempo atmosferico", come ad esempio la frequenza e l'intensità delle precipitazioni, oppure la temperatura e via dicendo. Gli eventi climatici estremi, infatti, possono concorrere a determinare gravi conseguenze sul territorio, sulla salute della popolazione, sulle attività economiche, sull'ambiente e sulla società in generale. Una maggiore conoscenza delle caratteristiche del clima locale e dei suoi cambiamenti nel recente passato, permette agli studiosi di formulare proiezioni climatiche e di conseguenza di elaborare strategie per poter mitigare e contrastare questo problema quanto più possibile; per quanto riguarda l'Italia, l'Ispra ha osservato che 3 modelli su 4 prevedono una diminuzione della precipitazione annuale cumulata compresa tra 6 e 75 mm (ISPRA, 2015). In futuro potremmo quindi aspettarci di osservare precipitazioni di forte intensità alternate da lunghi periodi di siccità.

Stando alla classificazione dei climi di Köppen, la regione Veneto è caratterizzata da clima sub-continentale temperato (ARPAV, 2013). Scendendo più nel dettaglio è possibile distinguere tre diversi mesoclimi fondamentali: il mesoclima della pianura, che interessa l'area pianeggiante della regione, compresa tra la fascia litoranea e l'areale pedemontano, comprendendo anche i Colli Euganei e i Colli Berici. Di questo mesoclima fanno parte due delle tre stazioni pluviometriche da me prese in esame, ovverosia Verona e Montegaldella (VI). Il secondo mesoclima individuabile è quello prealpino, di cui fa parte la stazione pluviometrica di Oliero (VI), ed è caratterizzato dall'abbondanza delle precipitazioni che presentano valori medi intorno ai 1300 – 1500 mm annui, con massimi che possono raggiungere anche i 2000 mm (ARPAV, 2022). Il terzo ed ultimo è il mesoclima alpino, il quale interessa le aree montane più interne e settentrionali. Rispetto a quello della fascia prealpina, questo clima si caratterizza per precipitazioni ancora relativamente elevate ma, leggermente inferiori e distribuite più uniformemente nel corso dell'anno.

2. PROCEDIMENTO E SCOPO DELLA TESI

Il lavoro compiuto per giungere alla stesura finale di questo elaborato è stato articolato in due fasi. Nella prima fase, la più duratura e complicata, sono state individuate tre stazioni pluviometriche sparse per il Veneto, i cui dati di precipitazioni e temperature offrirono il maggior arco temporale possibile al fine di avere un ampio periodo da analizzare. Le tre stazioni pluviometriche individuate (figura 1) sono quelle di Verona, per la quale i dati pluviometrici disponibili vanno dall'anno 1927 al 2005 mentre quelli termometrici dal 1947 al 2005, Montegaldella (VI), per la quale i dati pluviometrici vanno dal 1917 al 2004 e quelli termometrici dal 1994 al 2004, e per ultima la stazione di Oliero (VI) i cui dati pluviometrici vanno dal 1929 al 2003 mentre i dati termometrici sono assenti fino al 2010. Sono state poi individuate delle stazioni poste nelle vicinanze a quelle sopra citate in modo tale da sopperire alla mancanza dei dati di temperature e precipitazioni più recenti. Per Verona è stata individuata la stazione di Parco Adige Nord; per Montegaldella è stata individuata quella di Montegalda ed in fine da Oliero si passa alla stazione di Pove del Grappa. Tutte le stazioni tra loro complementari distano da uno a massimo dieci chilometri l'una dall'altra. Il passo successivo è stato quello di digitalizzare i dati pluviometrici e termometrici giornalieri in un foglio di lavoro Excel, dal momento che i dati degli annuali dell'ex Ufficio Idrografico di Venezia, della Regione Veneto e dell'ARPAV sono riportati unicamente su carta.

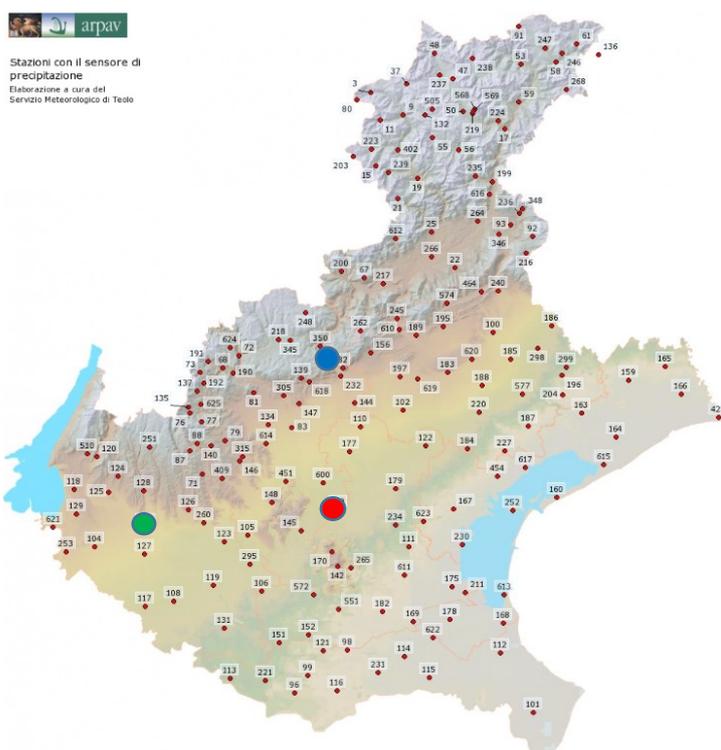


Figura 1 – Stazioni pluviometriche di Verona (in verde), Montegaldella (in rosso) e Oliero (in blu). Immagine tratta dalla pagina web “Dati disponibili degli ultimi giorni”, ARPAV 2022⁵.

La seconda fase è stata l'elaborazione dei dati attraverso l'utilizzo del software "Rstudio" (RStudio Team, 2020) che funziona da interfaccia del software R (R Core Team, 2020). Grazie a questo software è stato possibile compiere analisi delle precipitazioni annuali, stagionali, mensili e giornaliere, e anche delle temperature medie. Rstudio offre anche la possibilità di mettere a confronto due periodi differenti per ogni stazione pluviometrica, al fine di poterne osservare, nell'arco di un secolo, i cambiamenti pluviometrici e termometrici eventualmente avvenuti.

All'interno di R-Studio è possibile installare una grande varietà di pacchetti, i quali vengono utilizzati per specifiche finalità, come nel caso in oggetto. In particolare, è stato installato ed usato "Hydro-TSM" (Zambrano-Bigiarini, 2020), un pacchetto per la gestione, l'analisi e l'interpolazione di serie temporali utilizzate in idrologia e scienze ambientali. Tramite Hydro-TSM è stato possibile quindi produrre ed analizzare istogrammi, grafici a punti e boxplot. Quest'ultimo (figura 2), in particolare, è un prezioso diagramma che permette di capire se la distribuzione dei dati è simmetrica o meno, e permette di individuare molto velocemente la presenza di valori anomali. Si compone di una sorta di scatola, la cui lunghezza viene denominata "IQR" o range interquartile. La linea centrale della scatola rappresenta la mediana dei dati. Se i dati sono simmetrici, la mediana è al centro della scatola. Se invece i dati sono asimmetrici la mediana sarà più vicina alla parte superiore della scatola, detta "terzo quartile" o a quella inferiore, detta "primo quartile". Dalla scatola si estendono due linee, i cosiddetti "baffi", una verso l'alto, fino al valore massimo non considerato outlier, e l'altra verso il basso, fino al valore minimo non considerato outlier. Gli outliers, ovvero i valori anomali, ricadono al di fuori dei baffi e sono rappresentati con dei pallini.

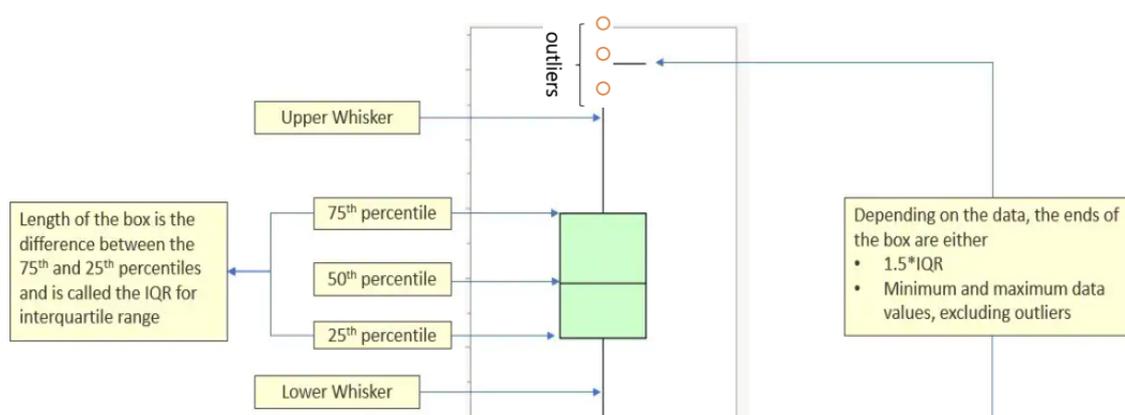


Figura 2 - Rappresentazione grafica di un diagramma Boxplot.

3. ANALISI DEI DATI PLUVIOMETRICI E TERMOMETRICI

3.1 Analisi pluviometrica annuale

Si vogliono illustrare tre grafici in cui vengono rappresentati gli andamenti annuali delle precipitazioni espressi in mm/anno per ciascuna stazione esaminata. I minimi a 0 sono dovuti alla totale o parziale assenza delle misurazioni negli annali. Per la stazione di Verona (figura 3) i dati vanno dall'anno 1927 al 2021, per Montegaldella (figura 4) dal 1917 al 2021 e per Oliero (figura 5) dal 1929 al 2021

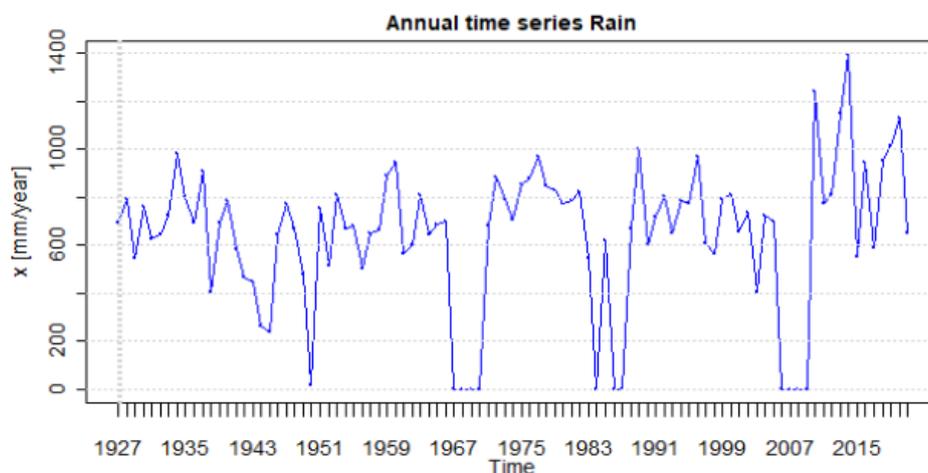


Figura 3: regime pluviometrico annuale della stazione di Verona

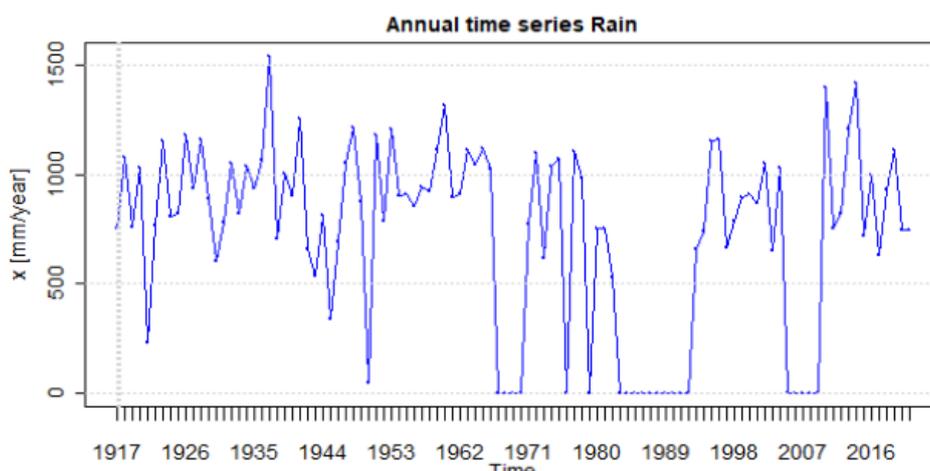


Figura 4: regime pluviometrico annuale della stazione di Montegaldella (VI)

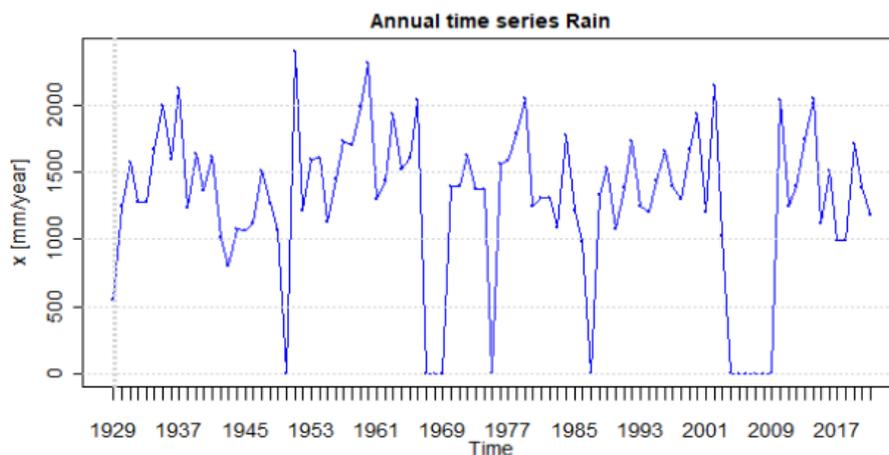


Figura 5: regime pluviometrico annuale della stazione di Oliero (VI)

Si osservino i grafici rappresentanti il regime pluviometrico annuale delle tre stazioni pluviometriche. Dall'analisi del grafico rappresentante la stazione di Verona (figura 3) si evince che le precipitazioni annuali si attestano tra i 700 e i 1100 millimetri, in perfetto accordo con le caratteristiche del mesoclima di pianura, di cui la suddetta stazione fa parte. Montegaldella (figura 4) fa parte altresì del mesoclima di pianura, infatti le precipitazioni annuali si aggirano intorno agli 800-1000 mm. Non si può dire lo stesso per Oliero (figura 5), per quanto riguarda il mesoclima di appartenenza, dal momento che le precipitazioni annuali si attestano all'incirca tra i 1300 e i 1600 mm, con picchi che raggiungono e talvolta addirittura superano i 2000 mm, in accordo col mesoclima prealpino di cui fa parte.

Dando uno sguardo ravvicinato all'andamento delle precipitazioni annuali lungo tutto l'arco temporale esaminato, si può notare che la stazione di Verona presenta un trend più o meno costante fino ai primissimi anni del ventunesimo secolo, per poi aumentare fino al periodo attuale. Per Montegaldella invece, è chiaramente osservabile un andamento in lieve diminuzione costante. In ultima analisi, la stazione di Oliero presenta un andamento particolare, altalenante, in quanto sono osservabili periodi di diminuzione alternati da periodi di aumento delle piogge annuali, che culminano con un trend in diminuzione fino alla fine del periodo analizzato. In generale comunque il trend annuale è in diminuzione.

3.2 Analisi pluviometrica stagionale

Con l'analisi pluviometrica stagionale si potranno osservare eventuali variazioni stagionali nelle tre località esaminate. Al fine di ottenere i corretti grafici, i dati pluviometrici sono suddivisi in trimestri e sommati in relazione alle stagioni: Inverno (dicembre, gennaio e febbraio), Primavera (marzo, aprile, maggio), Estate (giugno, luglio, agosto) ed Autunno (settembre, ottobre, novembre).

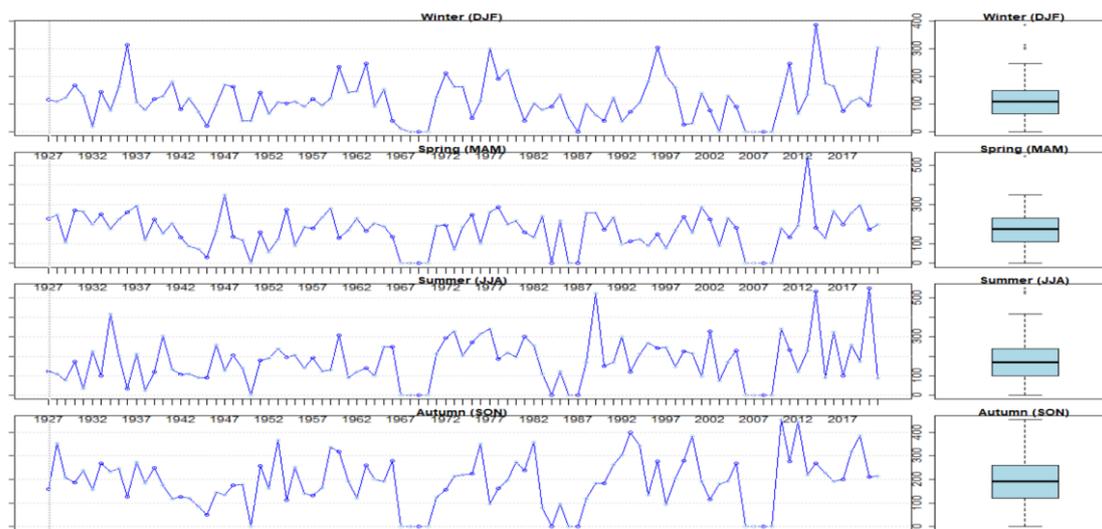


Figura 6- Regime pluviometrico stagionale della stazione di Verona

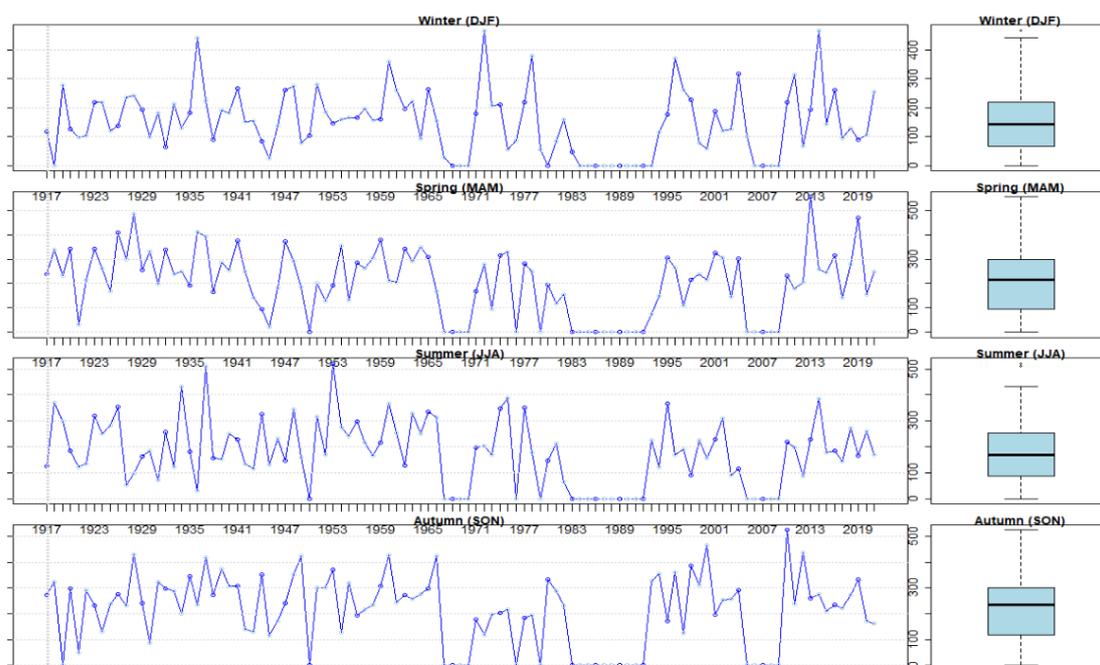


Figura 7-Regime pluviometrico stagionale della stazione di Montegaldella (VI)

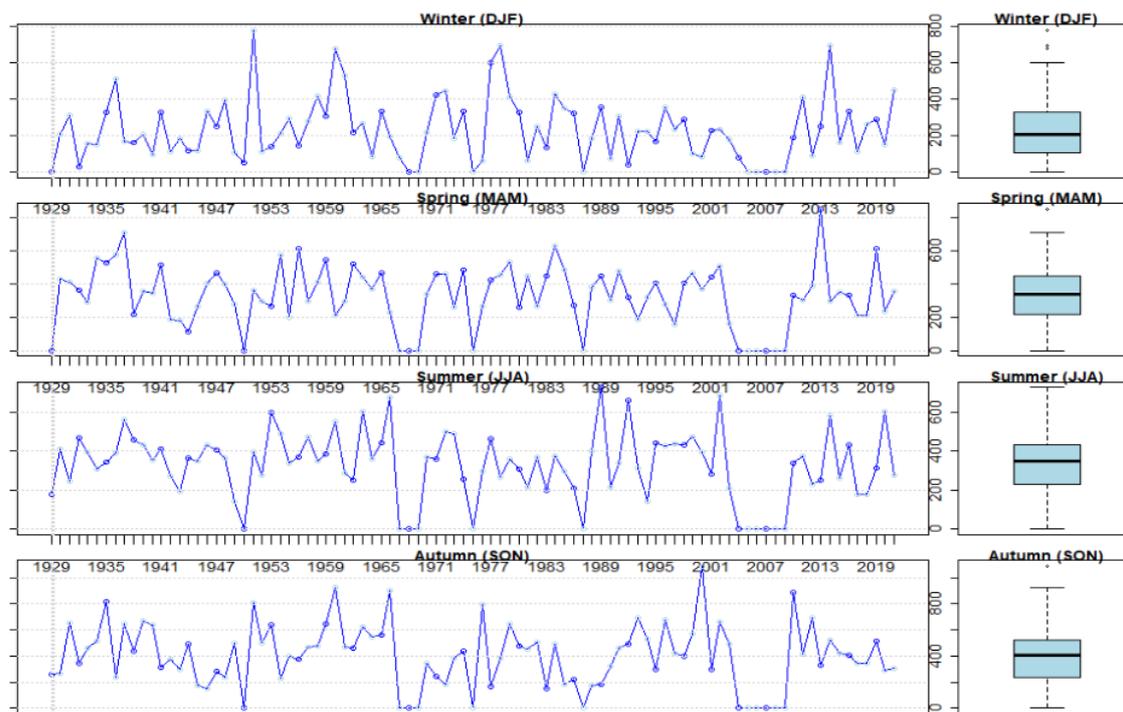


Figura 8-Regime pluviometrico stagionale della stazione di Oliero (VI)

Osservando i dati delle stazioni di Verona e Montegaldella (figure 6-7), saltano subito all'occhio le caratteristiche tipiche del mesoclima di pianura: le precipitazioni sono distribuite uniformemente durante l'anno e la stagione più secca è quella invernale. In accordo con quanto visto nelle analisi pluviometriche annuali, per quanto riguarda Verona (figura 6), si nota che vi è un trend mensile pressoché costante fino all'incirca l'inizio del ventunesimo secolo, per poi aumentare leggermente. Per la stazione di Montegaldella (figura 7), come già visto nelle analisi pluviometriche annuali, si può osservare una lieve diminuzione delle precipitazioni. La stazione di Oliero (figura 8) appare di analisi più complicata, perché presenta un andamento stagionale più discontinuo, in accordo con quanto si è visto nelle analisi pluviometriche annuali. Nonostante ciò, è comunque possibile osservare un trend in diminuzione per quanto riguarda tutte le stagioni escluso l'autunno (la stagione più piovosa del mesoclima prealpino) che presenta un andamento abbastanza uniforme negli anni.

Si noti come negli ultimi decenni sia aumentata la variabilità delle precipitazioni nei periodi considerati: stagioni molto piovose si alternano a stagioni più secche. Questo fenomeno è ben visibile ad esempio nella stazione di Verona (Figura 6) andando ad osservare l'andamento delle ultime stagioni estive ed invernali.

3.3 Analisi pluviometrica mensile

Di seguito vengono riportati i diagrammi boxplot che riportano la distribuzione mensile delle piogge, considerando l'intero periodo preso in esame per ogni stazione pluviometrica.

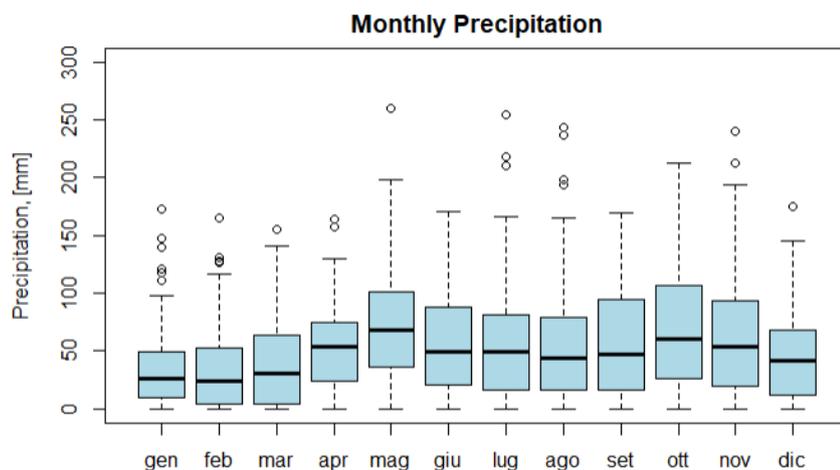


Figura 9-
Regime
pluviometrico
mensile della
stazione di
Verona

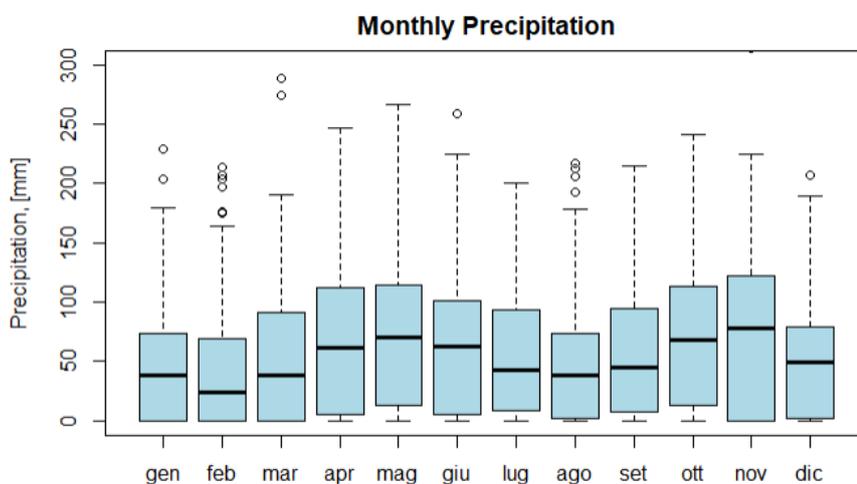


Figura 10-
Regime
pluviometrico
mensile della
stazione di
Montegaldella

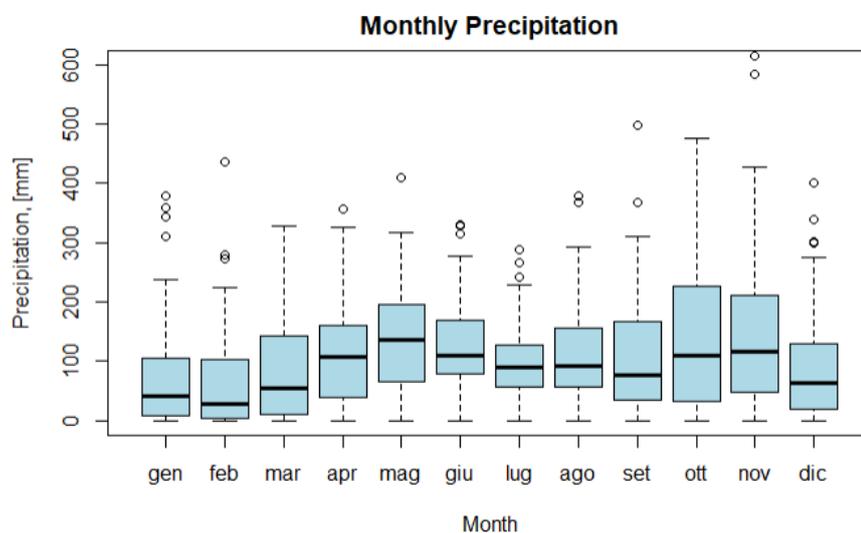


Figura 11-
Regime
pluviometrico
mensile della
stazione di
Oliero

La scatola azzurra contiene il 50% dei dati di quel determinato mese di ogni anno, compresi tra il primo quartile (25%) ed il terzo quartile (75%); sopra e sotto di essa si estendono i baffi: nella parte inferiore il baffo raggiunge il valore zero, pari all'assenza di precipitazione, mentre nella parte superiore il baffo rappresenta i valori al di fuori del boxplot non considerati outliers; questi ultimi sono rappresentati con dei pallini al di sopra del baffo superiore, e nel caso in esame rappresentano i valori delle precipitazioni estreme avvenute in quei determinati mesi.

Si vogliono identificare i regimi pluviometrici di cui fanno parte le stazioni esaminate. Osservando i boxplot di Verona (figura 9) e Montegaldella (figura 10), si notano due massimi uno in corrispondenza della stagione primaverile e l'altro di quella autunnale, con il massimo di quest'ultima leggermente più accentuato, mentre il minimo invernale è più accentuato di quello estivo. Queste sono le precipitazioni che tipicamente rappresentano il regime pluviometrico sublitoraneo padano-veneto. Si nota anche una marcata presenza di outliers nella stazione di Verona (figura 9), molto più rispetto alla stazione di Montegaldella (figura 10), concentrati per lo più nella stagione invernale e in quella estiva. La località di Oliero (figura 11), parimenti, fa parte del regime pluviometrico sublitoraneo, ma in questo caso di tipo alpino, in quanto il minimo invernale è più accentuato di quello estivo. Anche Oliero, come Verona presenta molteplici valori outliers per quasi tutti i mesi dell'anno.

3.4 Analisi pluviometrica giornaliera

Vengono riportati di seguito i valori di precipitazione giornaliera per le tre stazioni esaminate.

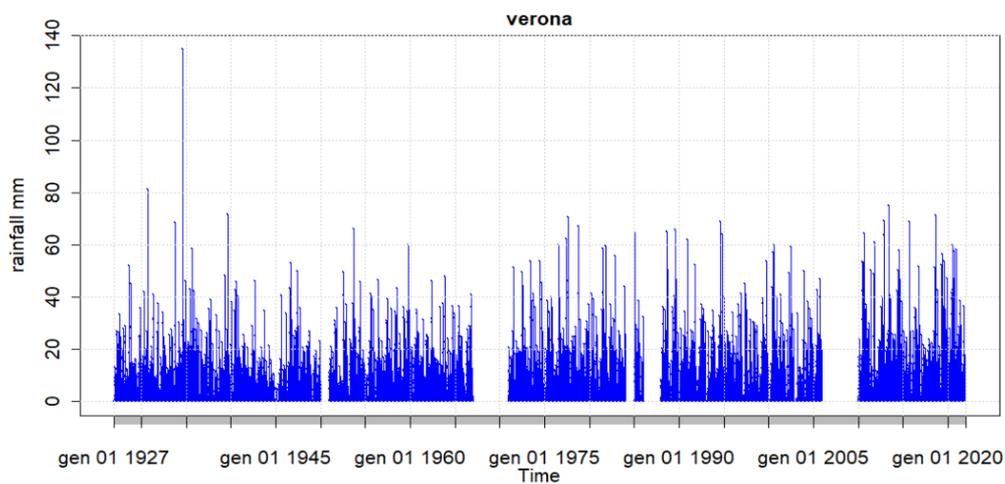


Figura 12 - Regime pluviometrico giornaliero della stazione di Verona

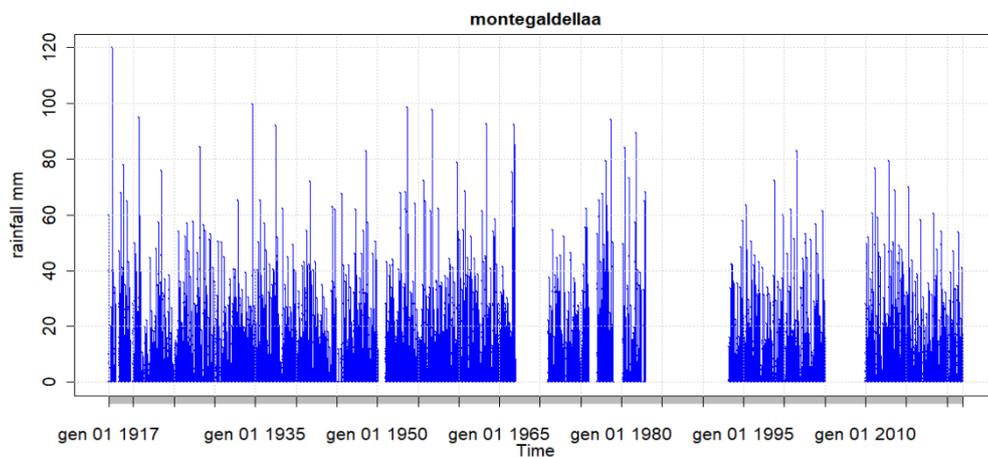


Figura 13 - Regime pluviometrico giornaliero della stazione di Montegaldella

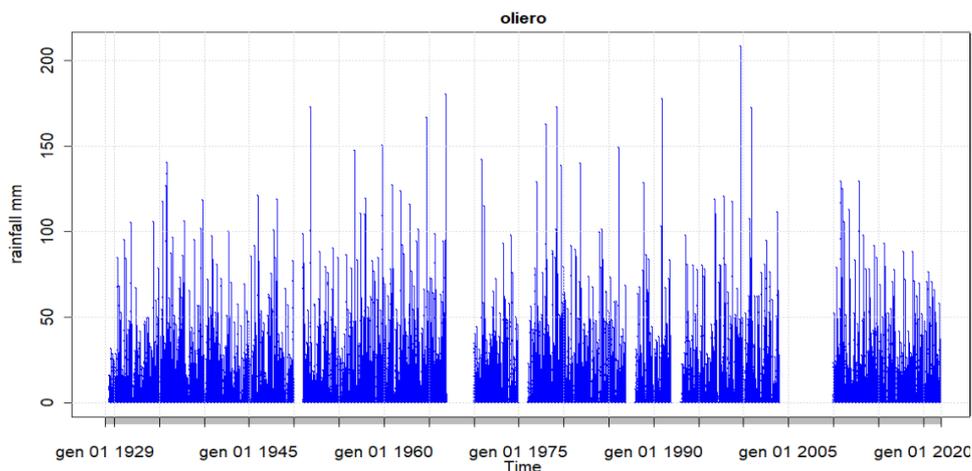


Figura 14- Regime pluviometrico giornaliero della stazione di Oliero

Da una prima analisi di questi grafici non si può notare nulla di particolare, se non una diminuzione dell'altezza di precipitazioni estreme nella località di Montegaldella (figura 13), e una costanza nei valori di Verona (figura 12). Pertanto si è proseguita l'analisi prendendo in considerazione una soglia minima dei valori di precipitazione per ogni stazione: per la stazione di Verona sono stati presi in considerazione i dati di piovosità giornaliera >30 mm/giorno, per Montegaldella i dati >40 mm/giorno e in fine per Oliero i dati >55 mm/giorno. Per i valori di riferimento appena menzionati, poi, si è individuato il 95° percentile, ossia il valore di precipitazione sotto al quale ricade il 95% dei dati. Di seguito sono riportati i grafici che presentano i dati superiori al 95° percentile, ovvero il 5% dei dati che superano tale soglia.

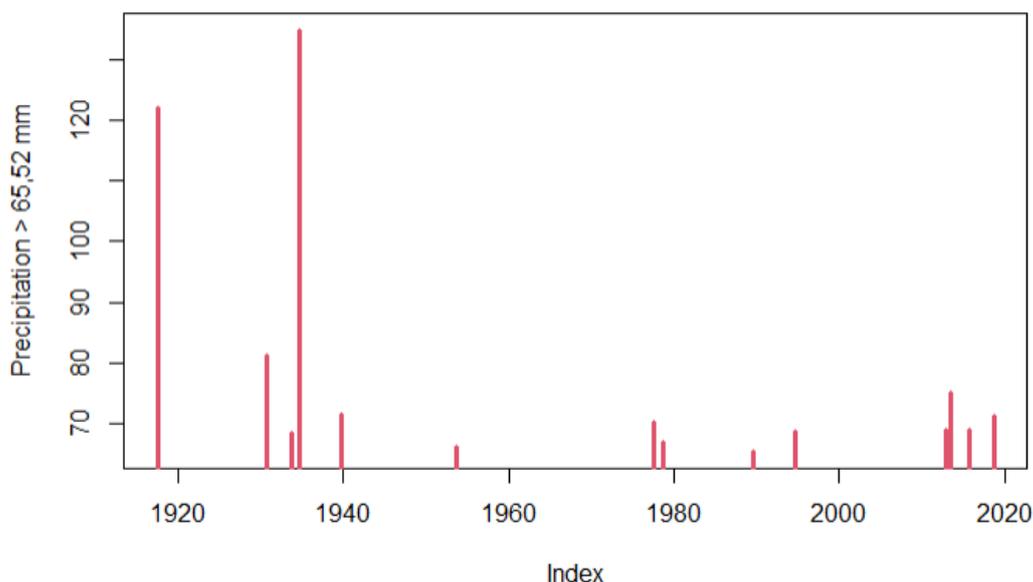


Figura 15- precipitazioni giornaliere superiori a 65,52mm/giorno presso la stazione di Verona

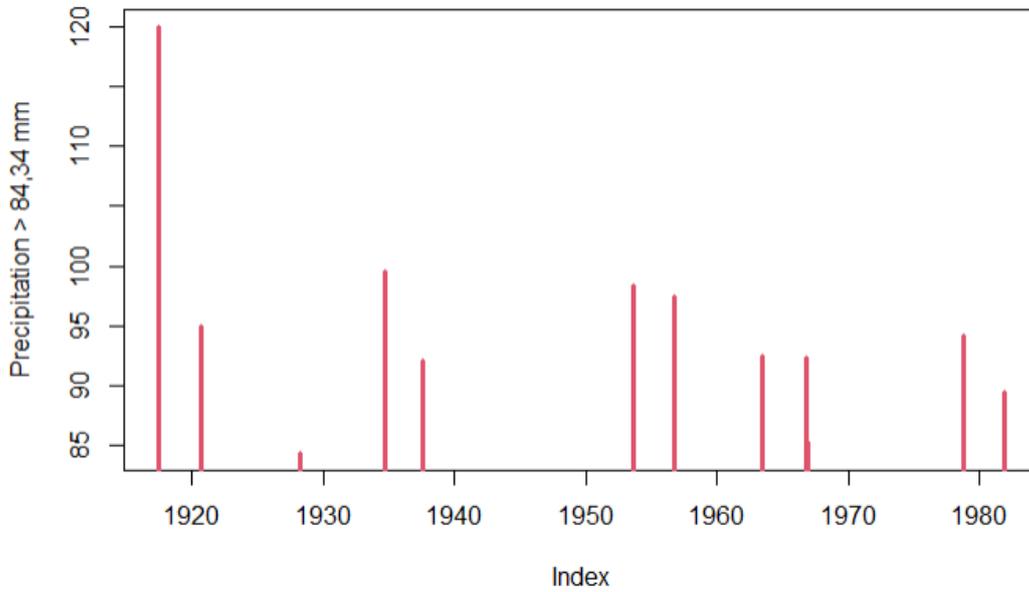


Figura 16- precipitazioni giornaliere superiori a 84,34mm/giorno presso la stazione di Montegaldella

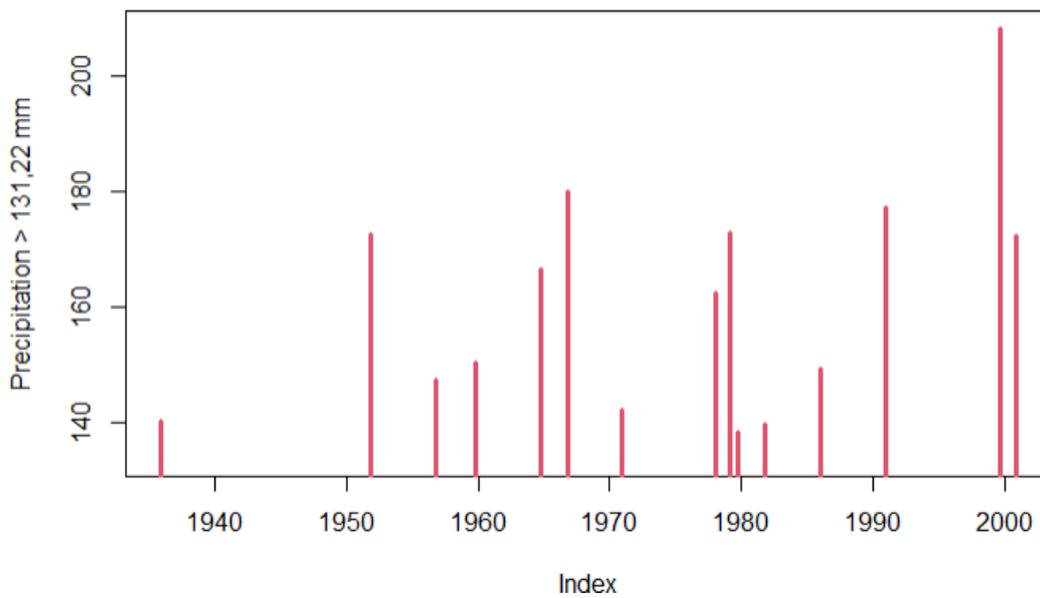


Figura 17- precipitazioni giornaliere superiori a 131,22mm/giorno presso la stazione di Oliero

Osservando la stazione di Verona (figura 15), è facile notare come, nonostante il giorno più piovoso registrato sia il 27-08-1934, a partire dalla fine degli anni settanta sia aumentata la frequenza dei giorni con precipitazioni intense che superano la soglia predefinita di 65,52 mm.

Come per la località di Verona, lo stesso avviene anche per Montegaldella (figura 16): il giorno più piovoso, con 120 mm di pioggia, è stato registrato nei primi decenni del ventesimo secolo, più precisamente il giorno 29-05-1917; nonostante ciò, da metà degli anni '50 è aumentata la frequenza di precipitazioni intense che superano il 95° percentile calcolato.

Il fenomeno dell'incremento della frequenza di giorni in cui si sono registrate precipitazioni intense è ben visibile nel grafico che descrive la stazione di Oliero (figura 17). Qui, a partire dalla seconda metà del ventesimo secolo, si concentrano praticamente tutte le precipitazioni intense registrate, ed il giorno in cui si è registrata la massima piovosità è stato il 21-09-1999, con ben 208,2 mm di pioggia in un solo giorno.

3.5 Analisi pluviotermometrica

Vengono di seguito proposti i climogrammi. Si tratta di istogrammi che riportano le precipitazioni medie mensili messi in relazione con diagrammi a linee che rappresentano le temperature, e ciò serve a mettere in correlazione l'andamento delle temperature medie mensili con quello delle precipitazioni nel corso periodo analizzato.

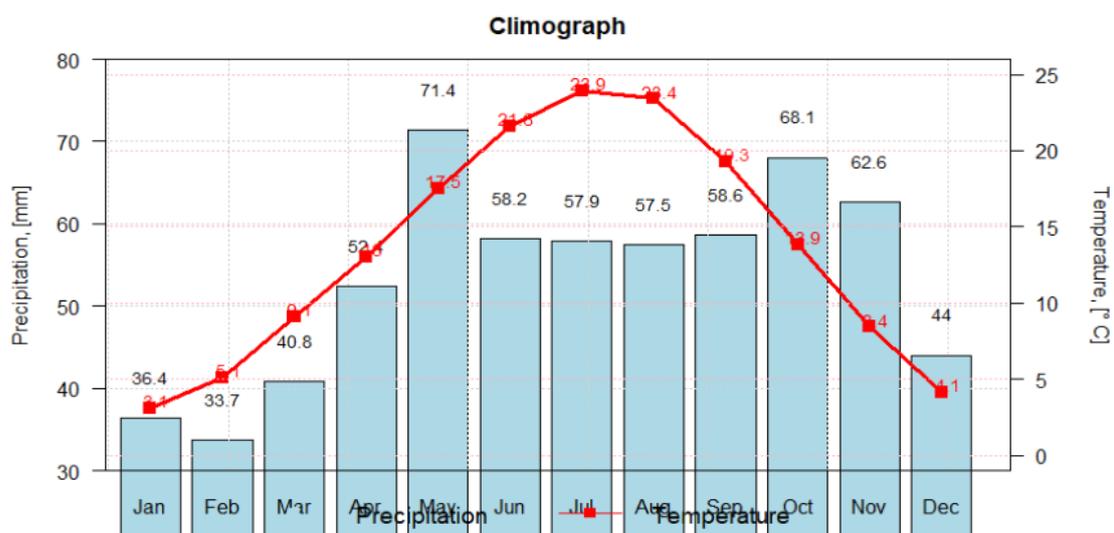


Figura 18- climogramma stazione di Verona

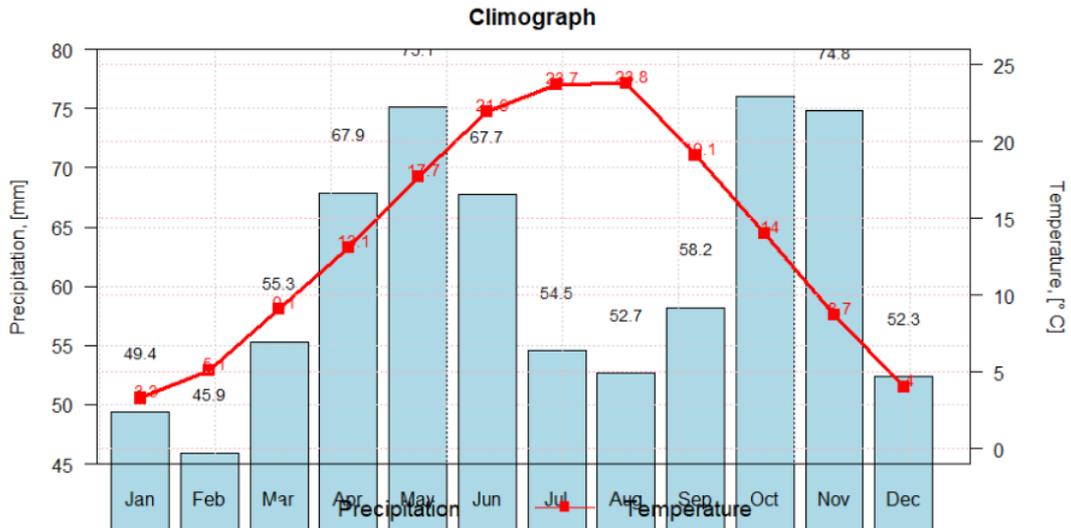


Figura 19- climogramma stazione di Montegaldella

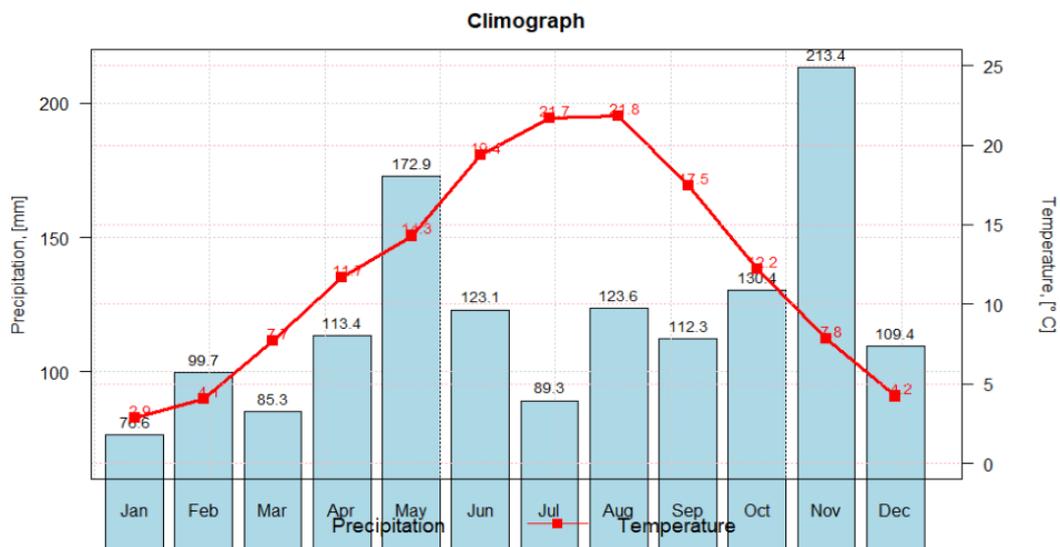


Figura 20- climogramma stazione di Oliero

Per le stazioni di Verona e Montegaldella (figure 18 e 19) si osserva una iniziale correlazione tra l'aumento delle temperature e l'aumento delle precipitazioni nei primi cinque mesi dell'anno. Durante la stagione estiva, invece, al crescere della temperatura diminuiscono le precipitazioni. I mesi estivi, da giugno a settembre compresi, a Verona, presentano pressoché lo stesso identico valore di precipitazione media, cosa che invece non accade nella stazione di Montegaldella, in cui si nota che i mesi più caldi (luglio e agosto) sono anche i meno piovosi, in particolar modo agosto che è il più caldo e il meno piovoso. Per entrambe le stazioni menzionate i mesi più secchi sono anche quelli più freddi.

Il range di temperature analizzate per la stazione di Oliero (figura 20) va dall'anno 2010 al 2021, in quanto le temperature non sono state registrate in questa stazione nei decenni

precedenti; anche per le precipitazioni, di conseguenza, è stato considerato solo questo lasso di tempo. Si nota che la stagione invernale è quella più secca. È curioso notare come gli ultimi mesi estivi abbiano valori di precipitazione media abbastanza vicini ai valori dei mesi autunnali; fa eccezione il mese di novembre che oltre ad essere il più piovoso dell'anno, presenta una media di precipitazioni molto più elevata in confronto agli altri mesi autunnali. Per la stazione di Verona la temperatura media estiva registrata è pari a 22,9 °C, mentre quella invernale è di 5,7 °C. La stazione di Montegaldella registra una temperatura media estiva di 23,1 °C, quella invernale è pari a 5,8 °C. In ultima analisi, la stazione di Oliero presenta una temperatura media estiva di 21 °C e una temperatura media invernale di 4,7 °C

4. CONFRONTO PLUVIO-TERMOMETRICO TRA DUE PERIODI

4.1 Verona 1951-1962 / 1993-2004

Vengono riportati di seguito i regimi pluviometrici mensili riguardanti i periodi indicati per la stazione di Verona.

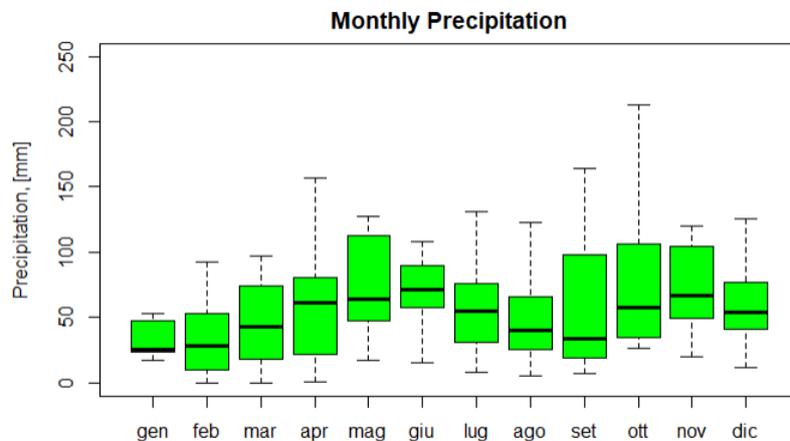


Figura 21- regime pluviometrico mensile nel periodo 1951-1962

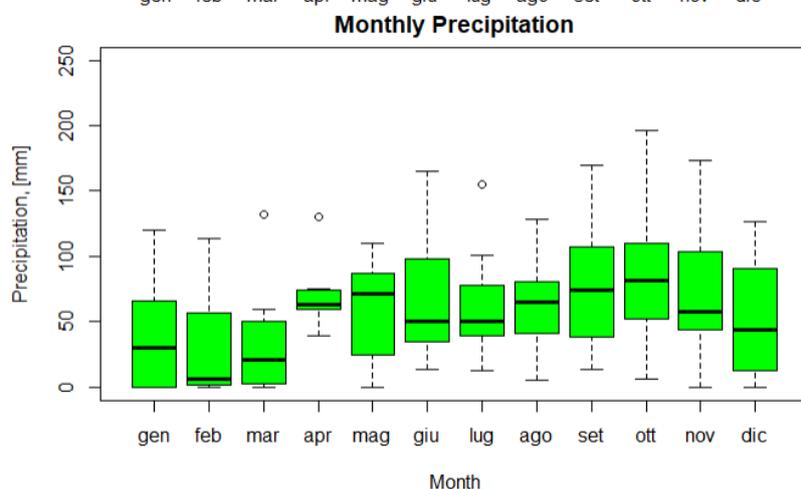


Figura 22- regime pluviometrico mensile nel periodo 1993-2004

Dal confronto tra i grafici illustrati nelle figure 21 e 22 si nota da subito come per quasi la metà dei mesi dell'anno la variabilità di precipitazione sia cambiata talvolta anche drasticamente. Esempio lampante di tale affermazione è il mese di aprile, la cui variabilità è andata scomparendo nell'ultimo periodo analizzato. Per i mesi di dicembre, gennaio e giugno si registra un aumento della variabilità più o meno marcato. Osservando la mediana del mese del settembre è facile notare come essa si sia spostata da un valore attorno ai 25 mm fino ad un valore pari a circa 65 mm; lo stesso trend in aumento vale per i mesi di ottobre ed agosto. Si ha invece uno spostamento della mediana verso valori più bassi nei mesi di giugno, novembre e dicembre, ed in modo particolare febbraio, che passa da valori di mediana pari a 30 mm a valori prossimi a zero. La variabilità mensile descritta pocanzi è più facilmente osservabile dai seguenti grafici a colori.

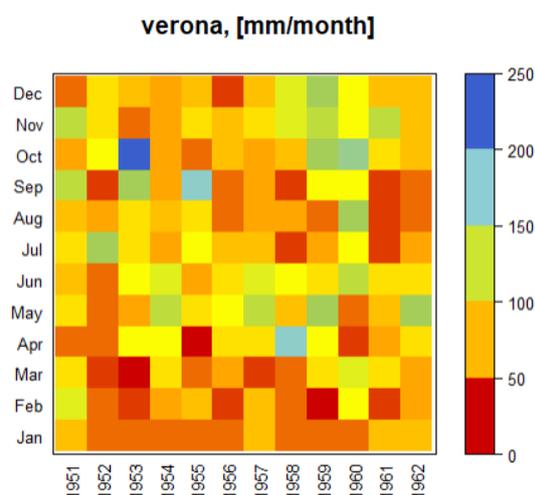


Figura 23- precipitazioni mensili (1951-1962)

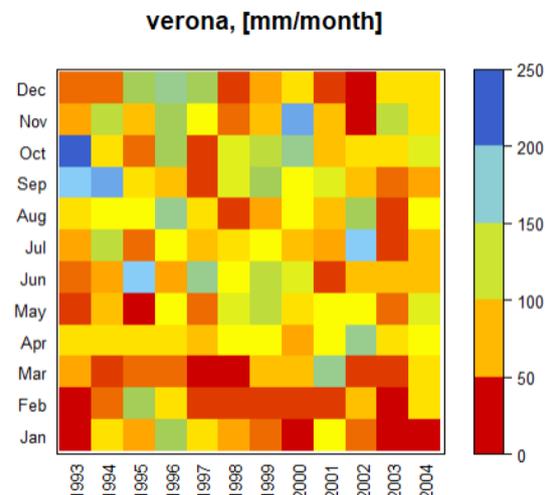


Figura 24- precipitazioni mensili (1993-2004)

Da questi grafici si nota subito come i mesi invernali registrino un maggiore verificarsi di eventi siccitosi nel periodo più recente. Viceversa accade per i mesi di settembre e ottobre, che registrano valori di precipitazioni maggiori. Come visto in precedenza, la variabilità del mese di aprile si appiattisce notevolmente, e questo fenomeno è ben osservabile dal colore quasi uniforme del periodo che va dal 1993 al 2004 (figura 24), interrotto da un solo aprile più piovoso degli altri.

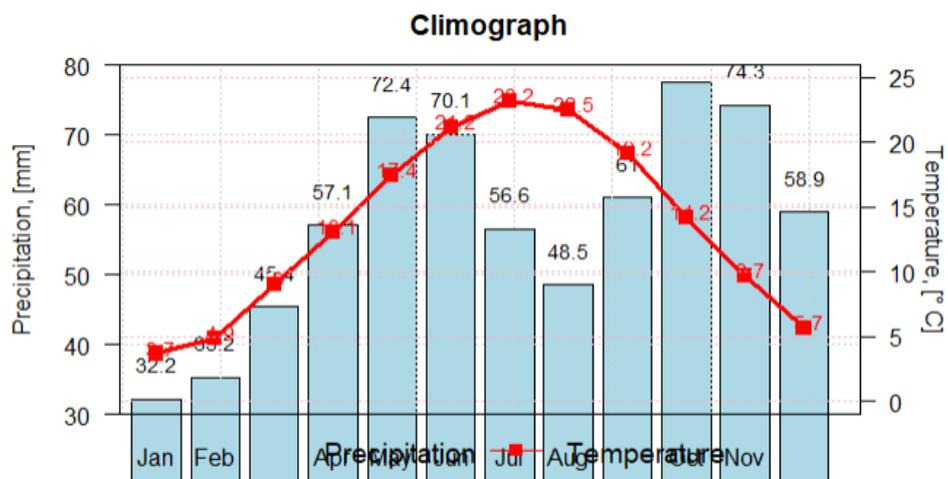


Figura 25- climogramma del periodo 1951-1962

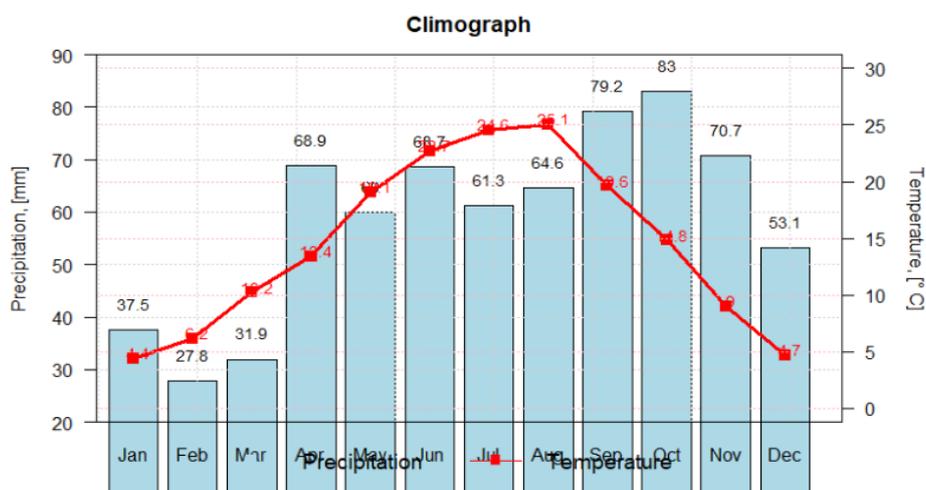


Figura 26- climogramma del periodo 1993-2004

Dall'osservazione dei climogrammi si nota immediatamente una diminuzione delle precipitazioni medie nei mesi di febbraio e marzo. Il contrario avviene per i mesi estivi, in particolar modo nei mesi di luglio e agosto

VERONA			
Mesi	1951-1962 (°C)	1993-2004 (°C)	variazione mensile (°C)
G	3,7	4,4	+0,7
F	4,9	6,2	+1,3
M	9	10,2	+1,2
A	13,1	13,4	+0,3
M	17,4	18,1	+0,7
G	21,2	22,7	+1,5
L	23,2	24,6	+1,4
A	22,5	25,1	+2,6
S	19,2	19,6	+0,4
O	14,2	14,8	+0,6
N	9,7	9	-0,7
D	5,7	4,7	-1
			+0,75

Tabella 1- temperature dei due periodi a confronto per la stazione di Verona

Sono stati raccolti e riportati nella tabella 1 i valori delle temperature medie mensili dei due periodi esaminati e contrapposti. È stata ricavata, in seguito, la differenza tra le temperature di ogni stesso mese per poi calcolare la media aritmetica dei valori ottenuti. Così facendo si è potuto constatare un notevole aumento della temperatura media, pari a $+0,75\text{ }^{\circ}\text{C}$, in un arco temporale piuttosto ristretto, considerando i periodi presi in esame. Questo è un valore leggermente più alto di quello che ci si aspettava, e la motivazione è da ricercare nel fatto che, per il periodo 1993-2004, mancano le temperature di alcuni mesi. Si nota anche che i mesi in cui vi è stato un incremento della temperatura siano addirittura dieci su dodici. In particolar modo per i mesi estivi si è registrato l'aumento maggiore ad agosto, mentre per i mesi invernali gli aumenti più sostenuti si sono verificati nei mesi di febbraio e marzo.

4.2 Montegaldella 1931-1942 / 2010-2021

Sono riportati qui di seguito i boxplot mensili riguardanti la stazione di Montegaldella per il periodo temporale indicato.

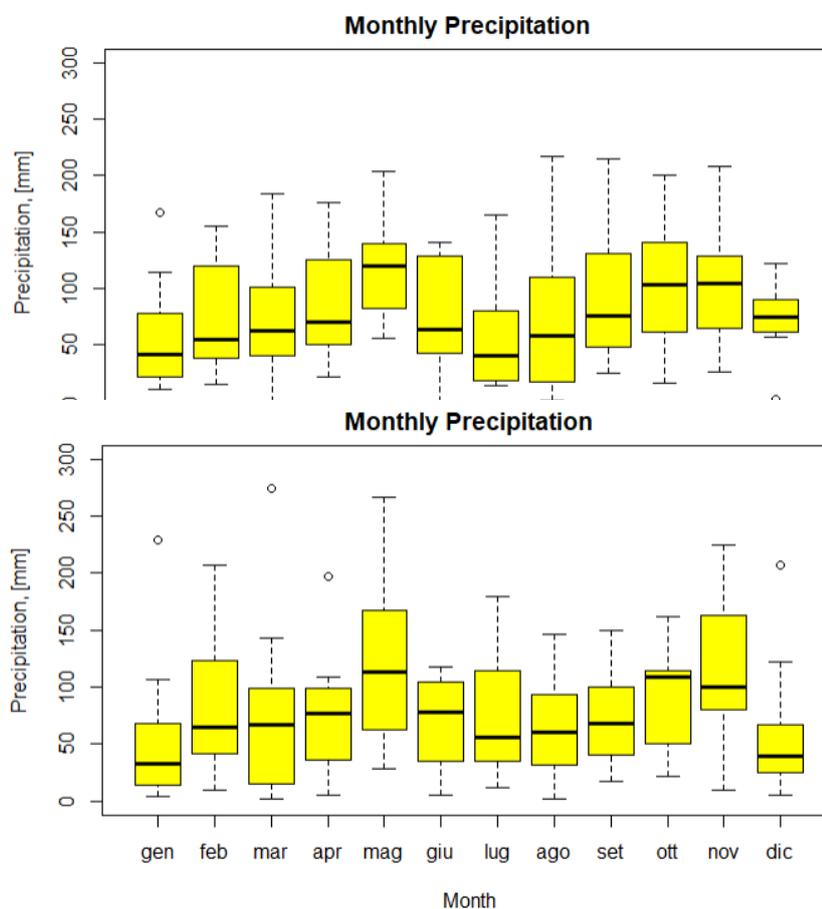


Figura 27- regime pluviometrico mensile nel periodo 1931-1942

Figura 28- regime pluviometrico mensile nel periodo 2010-2021

Svolgendo un'analisi sui regimi pluviometrici dei due periodi, si nota che, tra i primi quattro mesi dell'anno, l'unico ad aver avuto un apprezzabile aumento di variabilità di precipitazioni è stato marzo. maggio ha subito un notevole aumento della variabilità. I mesi di luglio e novembre hanno registrato un aumento di variabilità, mentre da agosto ad ottobre si è verificata una diminuzione della variabilità di precipitazione, che si traduce in una maggiore omogeneità dei valori. Il mese di dicembre mostra un lieve aumento della variabilità seppure essa rimanga comunque contenuta; inoltre, in quest'ultimo mese, è evidente anche uno spostamento della mediana da valori attorno ai 70 mm a valori che si aggirano intorno a 30 mm.

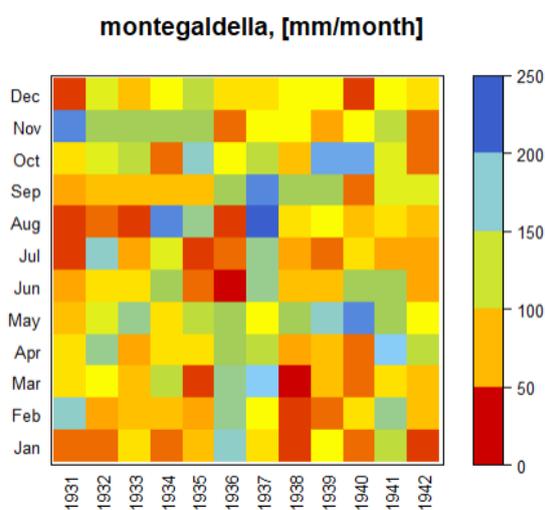


Figura 29- precipitazioni mensili 1931-1942

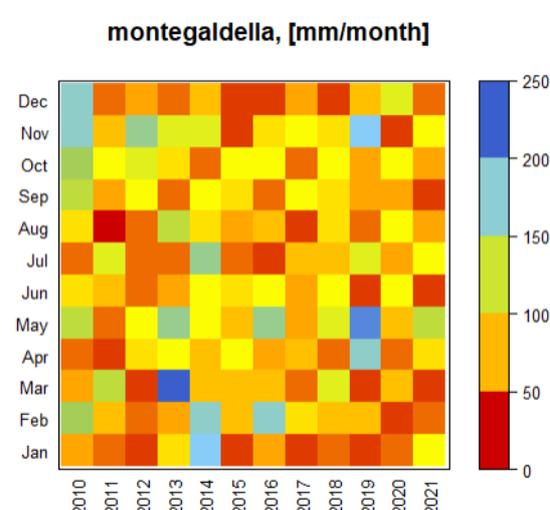


Figura 30- precipitazioni mensili 2010-2021

Osservando i grafici nelle figure 29 e 30 risulta facile individuare i mesi che hanno riscontrato maggiori cambiamenti di variabilità di precipitazione. Si nota in particolare che, come descritto in precedenza, il mese di dicembre ha subito un aumento di variabilità, ma una diminuzione generale delle precipitazioni, con valori talvolta prossimi allo zero più frequenti. Per i mesi di agosto ed ottobre è particolarmente evidente il cambiamento di variabilità, in diminuzione, così anche come per maggio; in particolar modo, analizzando da vicino il mese di ottobre, si evince che nel primo periodo (figura 29) la precipitazione mensile cambiava spesso negli anni, passando da valori molto bassi a valori anche superiori ai 200 mm; ciò non accade nel secondo periodo (figura 30): in questo caso i valori di precipitazione mensile si attestano spesso e volentieri in un range che va dai 40 mm ai 110 mm.

4.3 Oliero 1931-1946 / 1988-2003

Anche per la stazione di Oliero vengono riportati i boxplot dei regimi pluviometrici mensili per i periodi indicati.

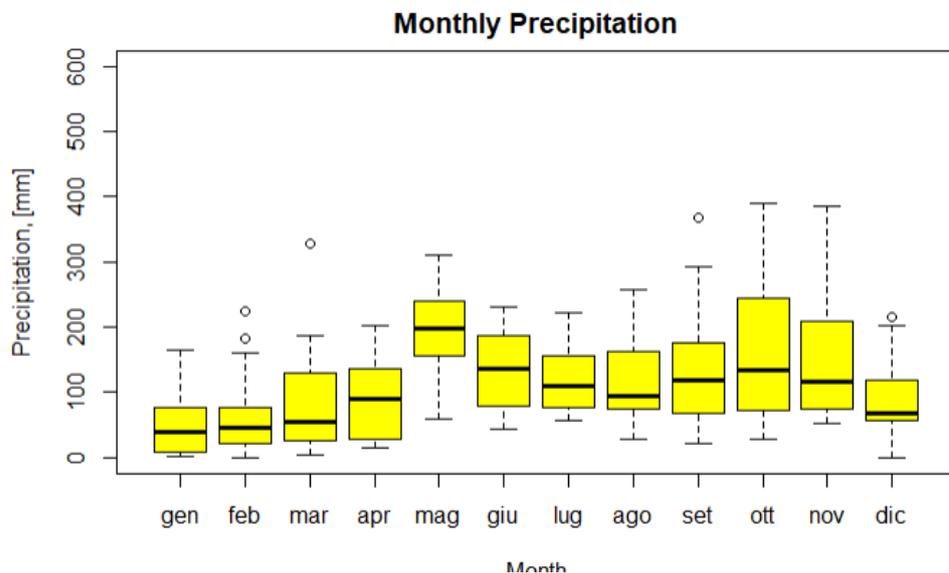


Figura 31- regime pluviometrico mensile nel periodo 1931-1946

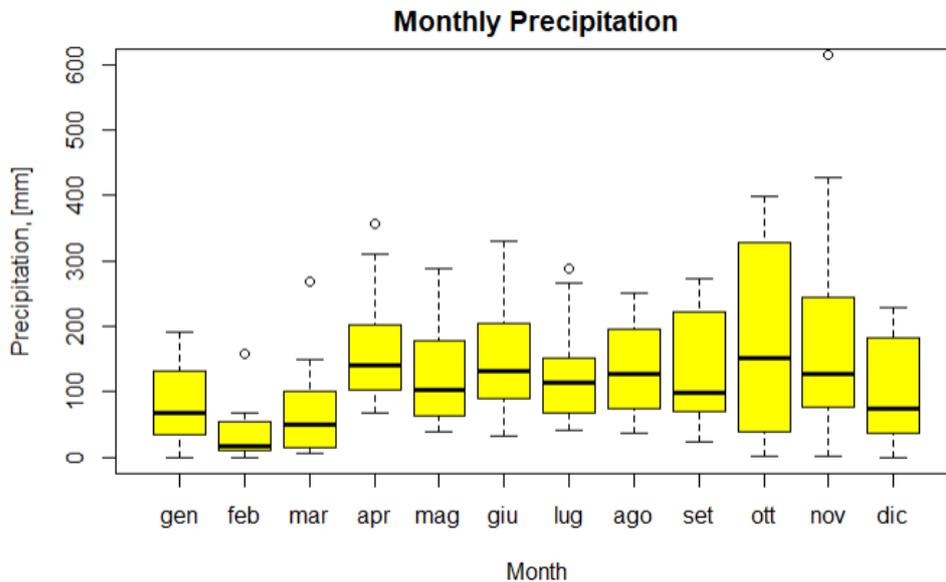


Figura 32- regime pluviometrico mensile nel periodo 1988-2003

Dall'osservazione ed il confronto dei grafici riportati nelle figure 31 e 32, l'attenzione viene immediatamente catturata dallo spiccato aumento di variabilità, in modo quasi simmetrico, del mese di ottobre. Più in generale si può individuare un aumento più o meno contenuto della variabilità per la maggior parte dei mesi dell'anno, eccezion fatta

per il mese di marzo, che vede una lieve diminuzione, e per i mesi di giugno e luglio, che restano apparentemente inalterati. È inoltre osservabile un netto spostamento della mediana nel mese di maggio, la quale si sposta da un valore prossimo ai 200 mm ad un valore appena al di sotto dei 100 mm. In ultima analisi è possibile individuare nel mese di novembre un outlier che addirittura oltrepassa i 600 mm: si tratta di novembre dell'anno 2000, in cui l'accumulo di pioggia raggiunge i 614,17 mm, un valore pari al quadruplo della di quel mese (149,3 mm). Questo accumulo straordinario è dovuto ad una serie di sistemi frontali e di flussi ciclonici molto umidi che hanno imperversato in quel periodo scaricando enormi quantità di pioggia nel giro di pochi giorni (ARPAV, 2010).

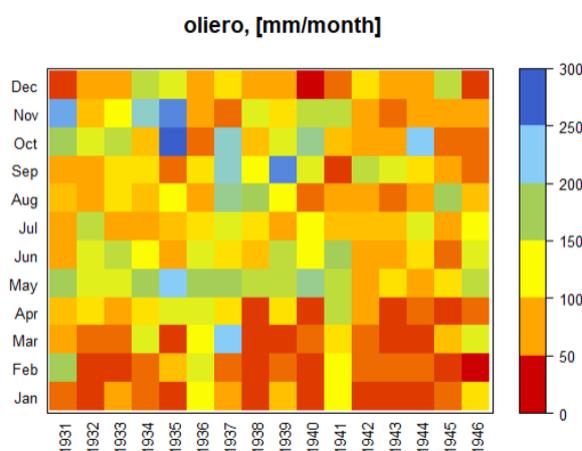


Figura 33-precipitazioni mensili 1931-1946

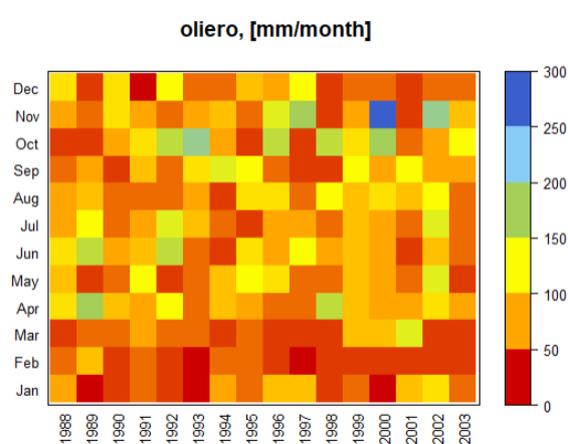


Figura 34- precipitazioni mensili 1988-2003

Lo spostamento della mediana di maggio visto in precedenza è perfettamente distinguibile anche osservando i grafici nelle figure 33 e 34: si nota come nel primo periodo (figura 33) le piovosità di maggio superavano quasi sempre i 150-200 mm mensili, mentre nel secondo periodo (figura 33) maggio mostra piovosità mensili molto più basse. Questo aumento di mesi siccitosi riguarda tutti i mesi dell'anno, più in generale.

5. ANALISI SULL'INCREMENTO DELL'INTENSITÀ DI PRECIPITAZIONE NEGLI ANNI

Di seguito viene svolta un'analisi sull'incremento dell'intensità di precipitazione negli anni, e per fare ciò si sono utilizzati i dati forniti da ARPAV sui valori massimi di precipitazione misurati negli intervalli temporali di giorni, ore e minuti. Per i primi sono stati selezionati i mm massimi di pioggia caduti nell'intervallo di 1, 2, 3, 4 e 5 giorni. per le piovosità orarie abbiamo usato i massimi mm di precipitazione misurati in 1, 3, 6, 12 e 24 ore; infine, per le piogge cadute nell'arco dei minuti abbiamo considerato i mm massimi di precipitazione registrati nell'arco dei 5, 10, 15, 30 e 45 minuti.

Per la stazione di Verona i dati disponibili per minuti, ore e giorni vanno dall'anno 2009 al 2021; mancano i valori nei 3, 4 e 5 giorni per l'anno 2014. Per la stazione di Oliero (completata da quella di Pove del Grappa) i dati vanno dall'anno 1986 al 2021, con mancanza degli anni 1989-1990. Per la stazione di Montegaldella (completata da quella di Montegalda) i dati disponibili sono compresi tra l'anno 1992 e il 2021.

In seguito vengono riportati i grafici ottenuti per la stazione di Verona.

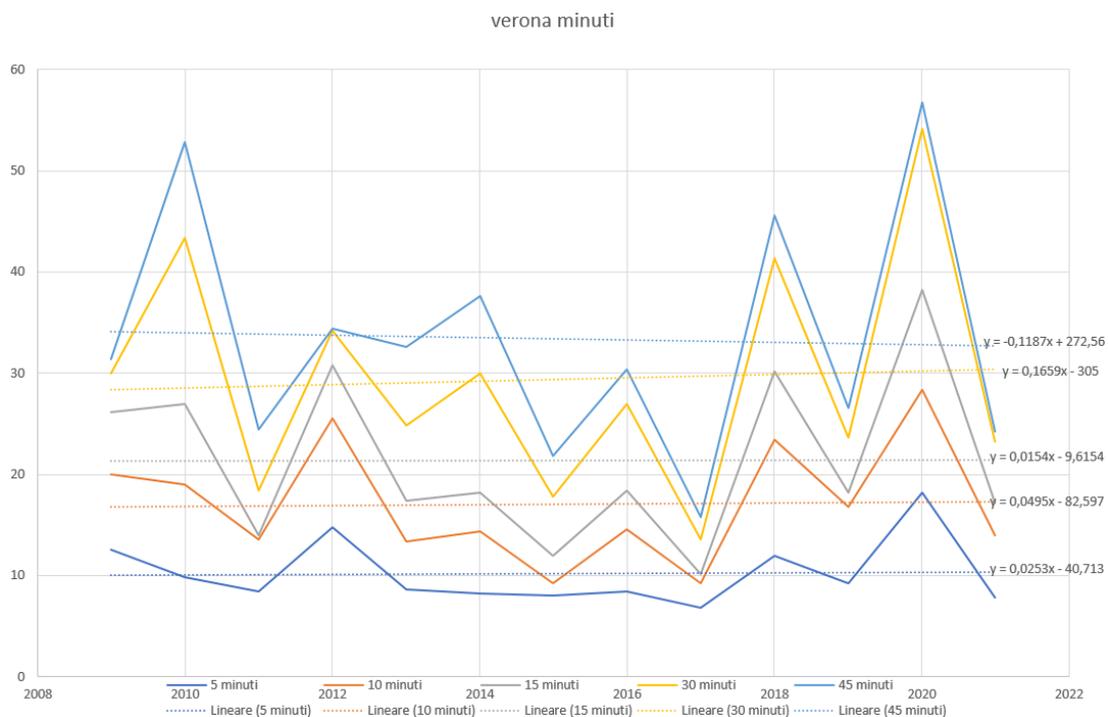


Figura 35- Valori massimi di piovosità registrati nell'intervallo dei minuti (stazione di Verona)

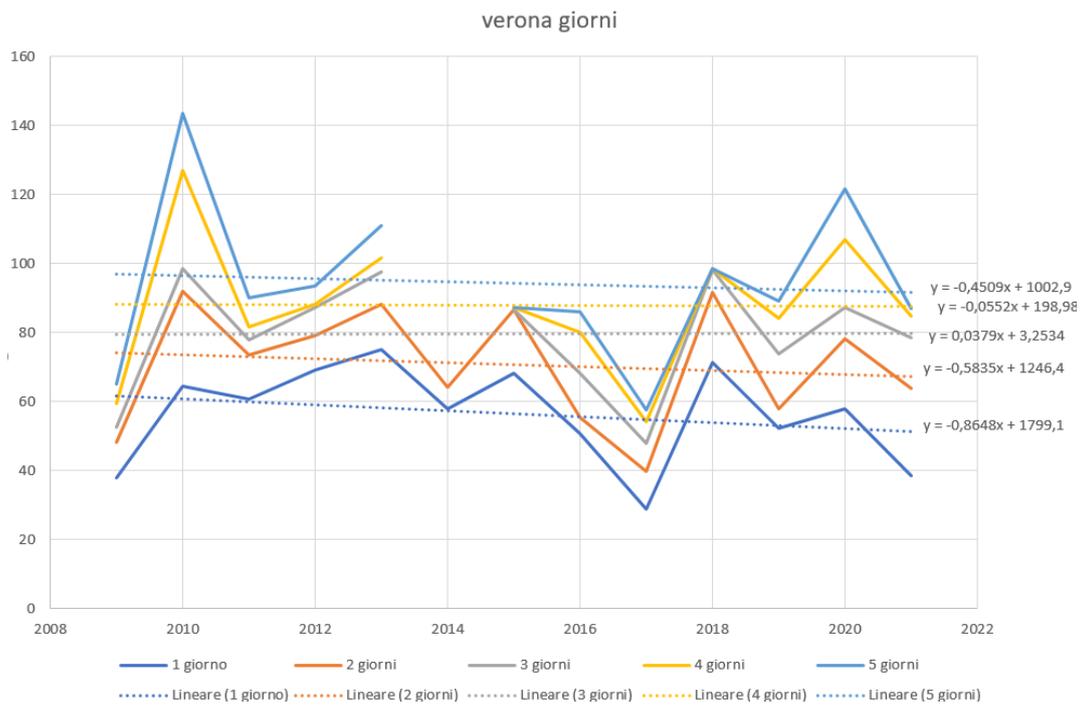


Figura 36- valori massimi di piovosità registrati nell'intervallo dei giorni (Verona)

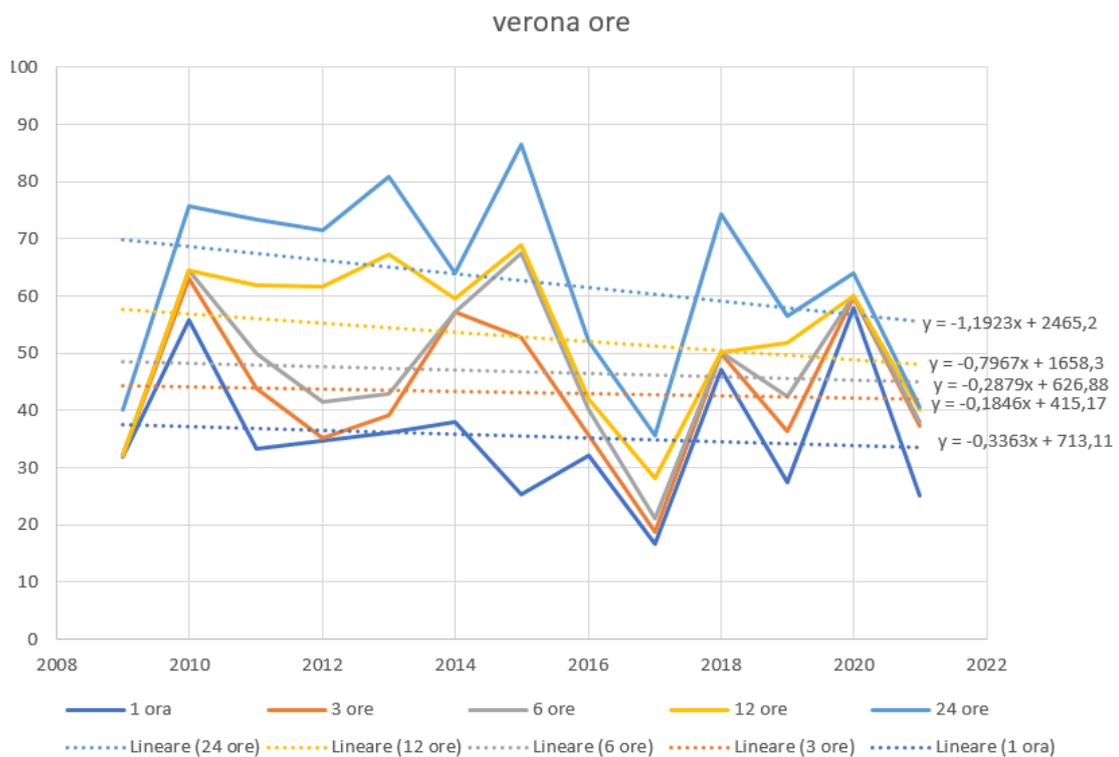


Figura 37- valori massimi di piovosità registrati nell'intervallo delle ore (Verona)

L'incremento delle precipitazioni massime fra gli intervalli considerati si denota osservando il grafico dei minuti (figura 35): qui tutte le linee di tendenza, eccezion fatta per quella che rappresenta i 45 minuti, presentano un coefficiente angolare positivo; tanto più il valore del coefficiente angolare è elevato, tanto più la retta è inclinata positivamente, e questo si traduce in un maggior incremento nel tempo dei valori massimi di piovosità negli intervalli di tempo considerati e, quindi, dell'intensità di precipitazione. Nel suddetto grafico, l'incremento maggiore si registra nell'intervallo dei 30 minuti. Un timido trend in crescita è osservabile anche dalla linea di tendenza dell'intervallo dei tre giorni (figura 36).

Si procede con l'analisi dei grafici ottenuti per la stazione di Montegalda.

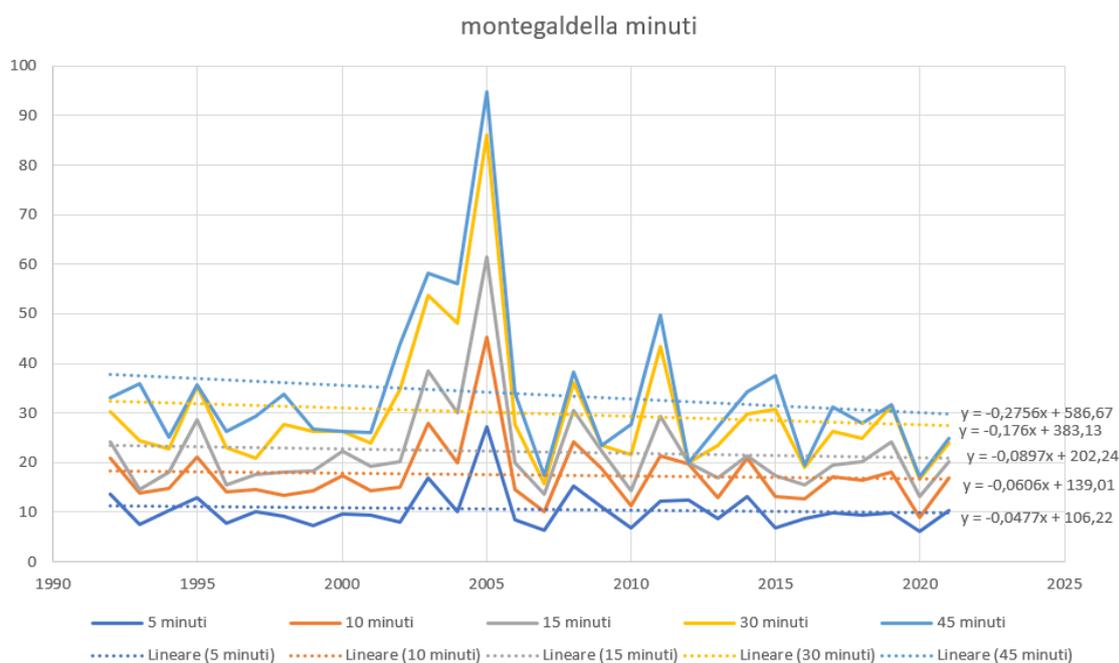


Figura 38-valori massimi di piovosità registrati nell'intervallo dei minuti (per la stazione di Montegalda)

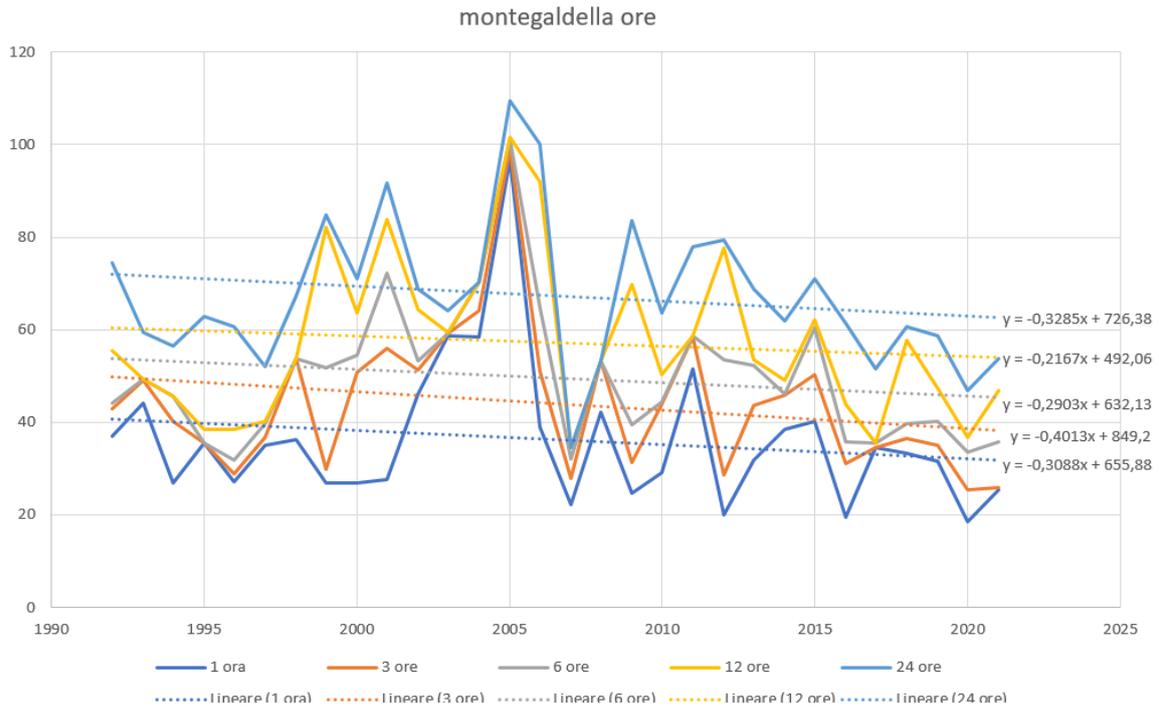


Figura 39-valori massimi di piovosità registrati nell'intervallo delle ore (Montegaldella)

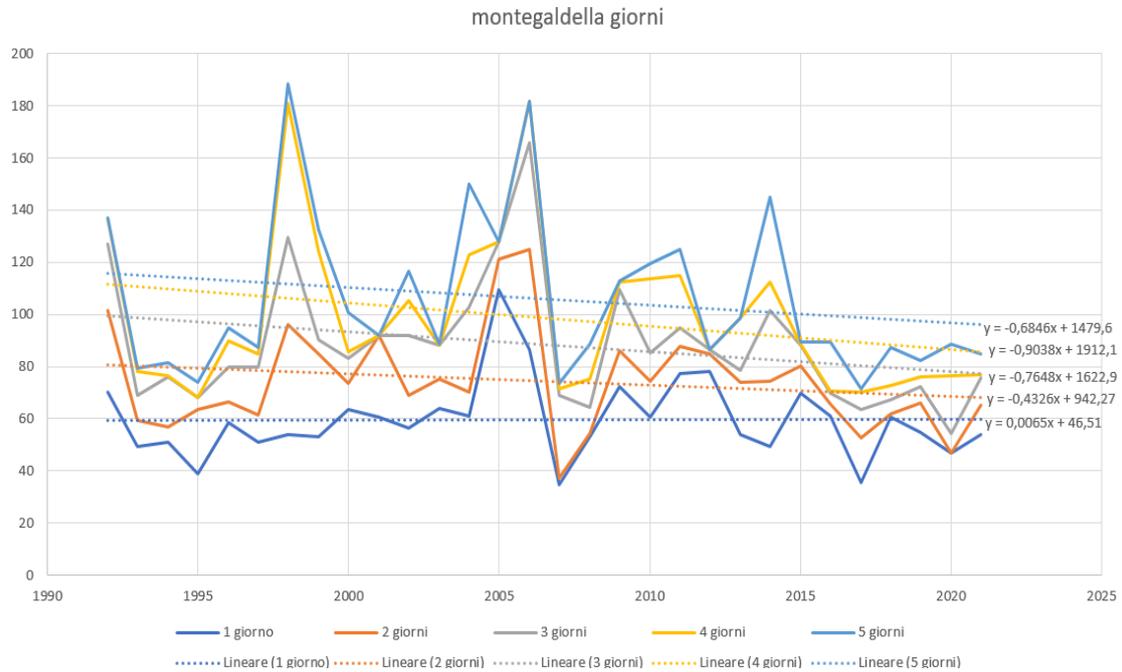


Figura 40-valori massimi di piovosità registrati nell'intervallo dei giorni (Montegaldella)

Dall'osservazione dei grafici ottenuti per la stazione di Montegalda è possibile notare un aumento molto flebile della precipitazione massima nell'intervallo di un giorno (figura 40).

Anche per la stazione di Montegalda, come per Verona, si osserva quindi un incremento della piovosità massima nell'intervallo dei giorni, anche se in questo caso si tratta dell'intervallo di un giorno, mentre per Verona l'incremento riguardava i tre giorni.

Si prosegue in ultima analisi con i grafici ricavati dalle misurazioni eseguite nella stazione di Pove del Grappa.

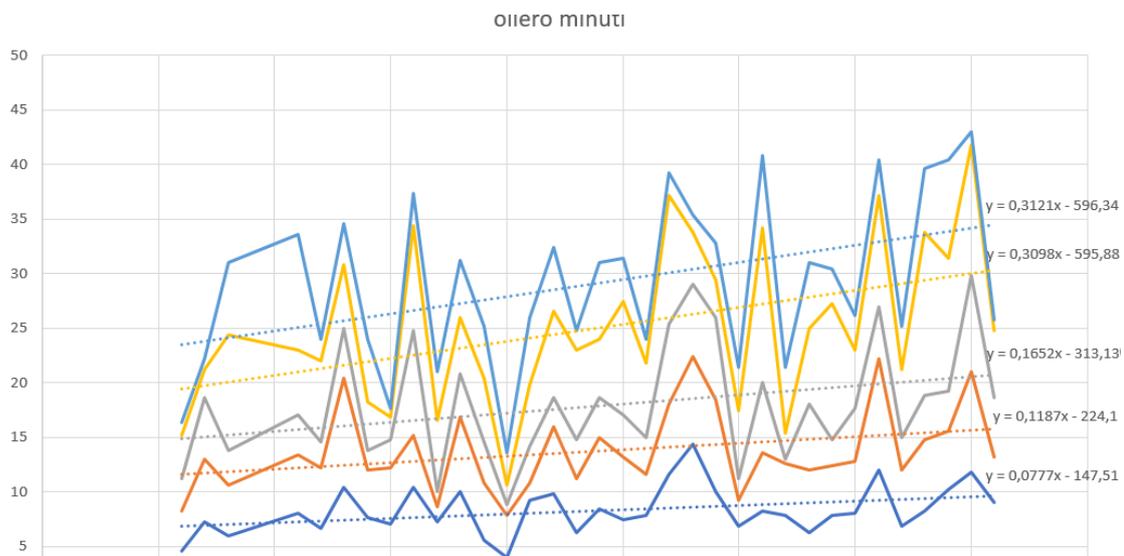


Figura 41- valori di piovosità massimi registrati nell'intervallo dei minuti (Pove del Grappa)

— 5 minuti — 10 minuti — 15 minuti — 30 minuti — 45 minuti
⋯ Lineare (5 minuti) ⋯ Lineare (10 minuti) ⋯ Lineare (15 minuti) ⋯ Lineare (30 minuti) ⋯ Lineare (45 minuti)

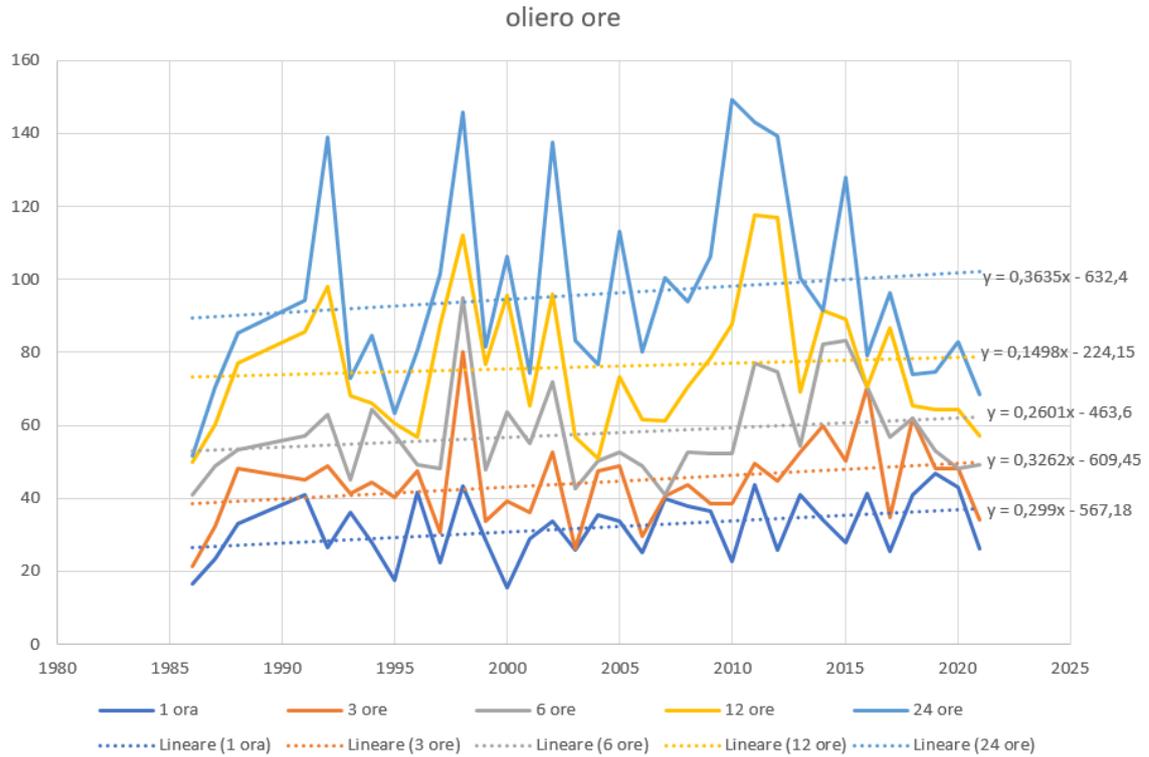


Figura 42- valori massimi di piovosità registrati nell'intervallo delle ore (Pove del Grappa)

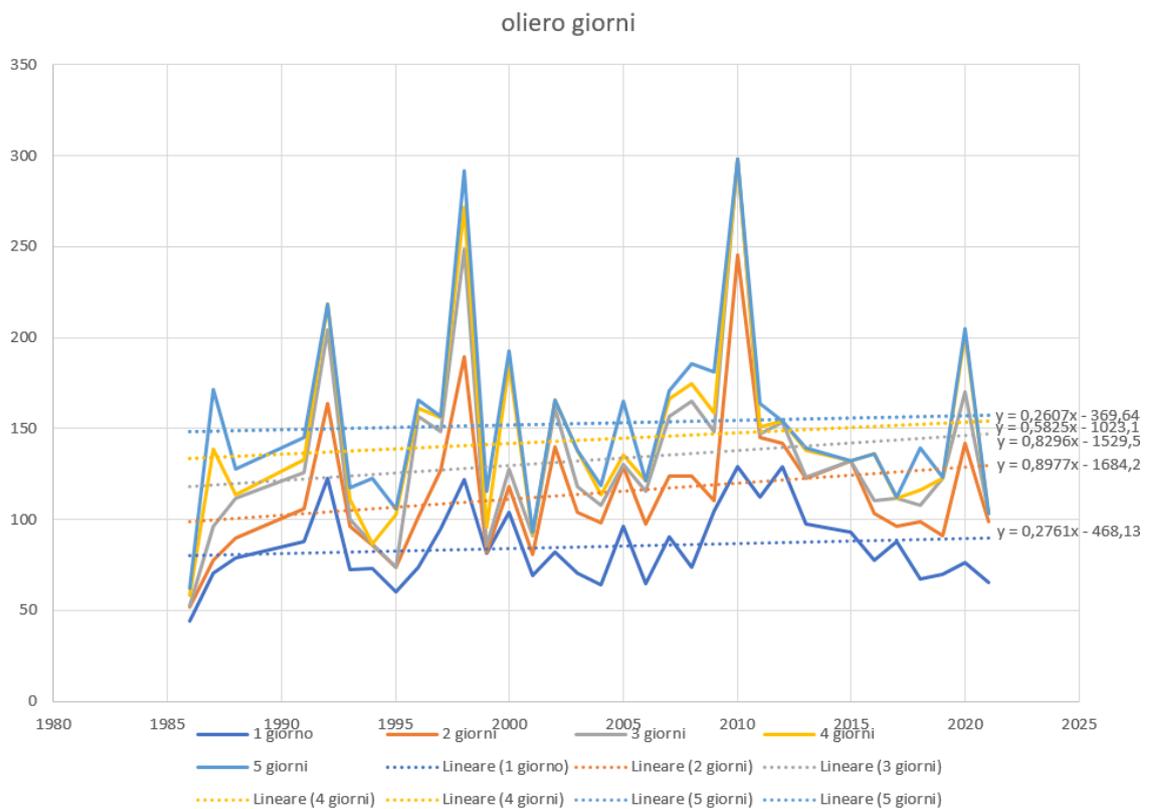


Figura 43- valori massimi di piovosità registrati nell'intervallo dei giorni (Pove del Grappa)

La stazione di Pove del Grappa ha registrato un incremento dei valori massimi di piovosità nella totalità degli intervalli temporali considerati. Nel grafico dei minuti (figura 41) l'incremento maggiore è osservabile nell'intervallo dei 45 minuti; nel grafico delle ore (figura 42) il maggiore incremento dell'intensità di precipitazione si registra nell'intervallo delle 24 ore; nel grafico dei giorni (figura 43) si segnala l'incremento maggiore della piovosità nell'intervallo dei due giorni.

Considerando in generale i tre grafici di Pove del Grappa (figure 41, 42 e 43) si osserva che tre linee di tendenza nel grafico dei giorni presentano un coefficiente angolare significativamente maggiore rispetto a quelli delle linee di tendenza nei grafici delle ore e dei minuti, i quali si attestano a valori simili tra loro; ne deriva che l'incremento più marcato di intensità di precipitazione sia avvenuto più in generale nell'intervallo dei giorni.

Volendo confrontare i grafici di tutte e tre le stazioni prese in esame, c'è stato un incremento nell'intervallo dei giorni a Pove del Grappa, a differenza delle altre due stazioni. Anche a Verona, come a Pove del Grappa, si registra un incremento della piovosità massima nei minuti in tutti gli intervalli considerati ad eccezione dell'intervallo dei 45 minuti.

Tutti gli incrementi di precipitazione massima che si sono registrati nelle stazioni esaminate non sono altro che frutto dei cambiamenti climatici che stanno interessando il nostro pianeta. In futuro, se non si interviene in modo efficace in breve tempo, ci si dovrà aspettare un continuo trend in aumento degli eventi estremi; infatti, il riscaldamento globale causa sia una maggiore evaporazione dell'acqua sia un aumento della capacità atmosferica di trattenere ed accumulare vapore, che si tradurrà poi in una maggiore probabilità che avvengano fenomeni intensi (Trenberth, 2011).

Tra i tantissimi esempi a sostegno di questi studi, viene in aiuto un grave evento che si è verificato la notte del 26 novembre 2022, pochi giorni prima della conclusione della stesura di questa tesi: nell'isola campana di Ischia, a seguito di violentissime precipitazioni, si è prodotta una frana che ne ha spazzato via una frazione. Le piogge cumulate a 6 ore (tra le 00:00 del 25/11 e le 06 del 26/11) forniscono un valore di 126 mm: negli ultimi 20 anni questo dato non era mai stato raggiunto nel periodo osservato (Cnr-Irpi, 2022). Come si legge inoltre da un report di Legambiente, nei primi dieci mesi del 2022, seppur con dati parziali, sono stati registrati in Italia 254 fenomeni

meteorologici estremi, +27% di quelli dello scorso anno intero (Legambiente 2022). Tutto ciò è testimone della velocità con cui sta cambiando il nostro clima e denota la necessità di limitare quanto prima i danni mettendo in atto strategie efficaci.

6. CONCLUSIONI

I cambiamenti climatici hanno prodotto effetti osservabili su scala globale. In questa tesi ne ritroviamo nel dettaglio le conseguenze, avendo trovato riscontri più o meno evidenti in tutte le tre stazioni pluviometriche analizzate. A livello annuale, per cominciare, si nota una lieve diminuzione delle precipitazioni nelle stazioni di Montegadella e Oliero. A Verona invece è osservabile una certa costanza delle precipitazioni annuali durante tutto il '900, ma all'inizio del nuovo millennio si riscontra sia un aumento delle precipitazioni annuali sia un aumento della loro variabilità; questo si traduce in anni più siccitosi alternati da anni molto piovosi.

Dai confronti tra periodi, effettuati nel capitolo 4, sono individuabili periodi di siccità sempre più frequenti, come si può stabilire dalla presenza sempre più preponderante del colore rosso/arancio nei grafici a colori mensili del periodo più recente (figure 24, 30, 34), in particolar modo nei mesi invernali a Verona e Montegaldella e praticamente in tutti i mesi di Oliero.

Alla diminuzione generale della piovosità si contrappone l'aumento dei fenomeni intensi, come si evince dai grafici dei valori estremi nelle figure 15, 16 e 17, da cui si nota un generale aumento della frequenza di tali fenomeni a partire dalla fine degli anni '70 a Verona (figura 15) e già dalla fine degli anni '50 ad Oliero e Montegaldella (figure 16 e 17). In modo particolare ad Oliero è la precipitazione più intensa è stata registrata il 21-09-1999, con ben 208,2 mm di pioggia caduti in un solo giorno. L'anno successivo, nella stessa stazione, è stato registrato un novembre "da record", con ben 614,17 mm di pioggia accumulati, pari a circa il 44% dell'accumulo di precipitazione medio annuale (1400 mm), e superiore a quattro volte la media mensile di tutto il periodo da me analizzato.

A Verona, per finire, è stato riscontrato un aumento medio di +0,75 °C al mese (capitolo 4.1, tabella 1) dal confronto tra i due periodi indicati.

7. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

1. Bradley R.S., H.F. Diaz, J.K. Eischeid, P.D. Jones, P.M. Kelly and C.M. Goodess, (1987): Precipitation fluctuations over northern Hemisphere land areas since the mid-19th Century, *Science*, 237, 171-175.
2. K. E. Trenberth (2011). Changes in precipitation with climate change, *Climate Research*.
3. ISPRA (2015). Il clima del futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali.
4. ARPAV (2013). I mesoclimi del Veneto. URL https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agrometeo/file-e-allegati/atlante-precipitazioni/04_I%20mesoclimi%20del%20Veneto.pdf.
5. ARPAV (2022). Dati pluviometrici. URL https://www.arpa.veneto.it/bollettini/meteo60gg/Mappa_PREC.htm.
6. RStudio Team (2019). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA. URL <http://www.rstudio.com/>.
7. R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.r-project.org>.
8. Mauricio Zambrano-Bigiarini (2017) hydro-TSM: Time Series Management, Analysis and Interpolation for Hydrological ModellingR package version 0.6-0. URL <https://github.com/hzambran/hydroTSM>.
9. ARPAV (2010). Analisi meteo-climatica Ottobre-Novembre 2000. Report, URL <https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/climatologia/dati/ottobre-novembre-2000#:~:text=Le%20localit%C3%A0%20pi%C3%B9%20piovose%20sono,pioggia%20annua%20di%20queste%20localit%C3%A0>. Accesso in rete 26 novembre 2022.
10. CNR-IRPI (2022). Evento franoso del 26 novembre 2022 a Casamicciola. Nota stampa del 26/11/2022. URL <https://www.cnr.it/it/nota-stampa/n-11543/frana-a-ischia-i-dati-di-cnr-irpi>.
11. Legambiente (2022). Il clima è già cambiato. Osservatorio di legambiente CittàClima 2022, URL <https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2021/11/Rapporto-CittaClima-2022.pdf>.

