

Università degli studi di Trento

Anno Accademico 2016-2017



Relazione per il corso di Idrologia

Docente: Riccardo Rigon

Francesco Cemin.....171887

Alessandro Leonardi.....171106

Indice

Introduzione.....	pag. 3
Analisi Pluviometrica.....	pag. 4
Interpolazione spaziale.....	pag. 26
Equazioni di Richards.....	pag. 32
Analisi Radiazione.....	pag. 44
Analisi Evapotraspirazione.....	pag. 47

Introduzione

Scopo di questa relazione è l'analisi pluviometrica relativa al bacino oggetto di studio della prima relazione di questo corso, il bacino del Rio Val dei Schivi. In particolar modo si sono valutate:

- Le curve di possibilità pluviometrica, a partire dai dati dei massimi di precipitazione scaricati dal sito Meteotrentino;
- L'interpolazione dei dati di precipitazione e temperatura all'interno del bacino;
- Il deflusso all'interno del bacino, facendo riferimento all'equazione di Richards;
- La radiazione netta incidente sulla superficie del bacino;
- L'evapotraspirazione dal bacino.

Analisi pluviometrica

Scopo della trattazione è la costruzione delle curve di possibilità pluviometrica. Per fare ciò si sono utilizzati i dati relativi alla stazione di San Martino di Castrozza riguardanti i massimi di precipitazione durante il periodo 1921-2007. Questi dati sono stati scaricati dal sito meteorologico meteotrentino.it (<http://www.meteotrentino.it/dati-meteo/stazioni/mappe/gmapstz.aspx?ID=205>).

L'analisi si è svolta per le durate di precipitazione: 1h, 3h, 6h, 12h, 24h.

Con massimi di precipitazione si intende la quantità massima di acqua (in mm) precipitata in un certo intervallo di tempo, anche facendo riferimento a eventi diversi. Nel caso di dati inesistenti (non assegnati) si è contrassegnato il campo del valore di precipitazione con la sigla nan.

Mediante la piattaforma Jupyter Python si è svolta l'elaborazione dei dati, al fine di ricavare dapprima le migliori distribuzioni lungo una curva di Gumbel e poi le curve di possibilità pluviometrica per diversi tempi di ritorno.

La stazione di San Martino di Castrozza è situata nell'alta valle del Primiero ad una quota di 1450 m s.l.m. (coordinate 46°15'40.6" N 11°48'05.2" E) ed è stata dismessa il 17/12/2007.

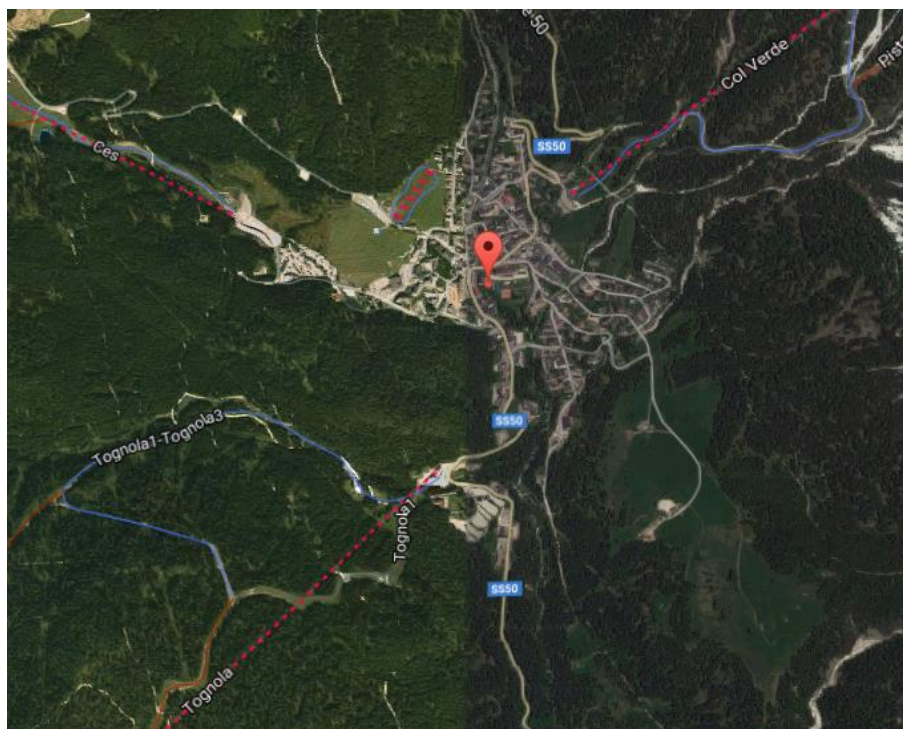


Figura 1 - Stazione di San Martino di Castrozza

Tabella dati

Nella seguente tabella sono riportati i dati che sono stati impiegati per la valutazione delle curve di possibilità pluviometrica. I valori riportati rappresentano i massimi di precipitazione per le durate di 1h, 3h, 6h, 12h, 24h.

I dati sono riportati in mm di precipitazione.

	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
anno	mm	mm	mm	mm	mm
1954	18.6	44.2	53.4	53.4	91
1955	18	26.6	32.4	36.8	45.8
1956	16.8	34.6	62.2	85.8	105.2
1957	23.8	32	50.2	72.6	82.6
1958	12.6	25.2	30.4	53.6	84.8
1959	14.8	35.2	55.2	nan	148.8
1960	17	27	39	57.6	91.2
1961	12.2	22.4	44.8	80	86.8
1962	14.8	27.6	35.6	58.2	75.8
1963	17.2	28.6	41	63.4	73.6
1964	15.4	24.4	33.8	66.6	95.4
1965	18	33	45	71.8	107.4
1966	20.6	49	89.8	157.8	224.6
1967	19	24.8	29.8	41.6	65.6
1968	15.2	32.6	47.8	75.4	110.2
1969	11.6	15.8	28.2	43.6	73.8
1970	18.2	44	58.6	67	71.4
1971	10.8	18.2	32.2	57.6	96.4
1972	15.4	24.4	29.8	45.8	78.4
1973	31	36.4	41.2	51.6	64.4
1974	nan	nan	nan	nan	nan
1975	16.6	26	41	66.2	68.8
1976	13.2	26.4	40.4	61	90.4
1977	16.2	25.2	30	49.4	66
1978	27	31.4	40.4	67.4	103.8
1979	18.2	31.2	39.4	69	110.8
1980	20.8	34.4	62.6	93	137.2
1981	19.6	36.6	51.8	76.6	136
1982	13.4	25.8	34	49.2	65.2
1983	17.4	42.6	53.8	75.2	75.2
1984	20.6	39.2	53.2	65.2	87
1985	18.8	26.6	52.6	59.8	86.4
1986	13	29	37.8	48.6	88.6
1987	20	36.6	59.6	90.4	125.2
1988	19.8	28.8	42.8	71.4	94
1989	14.8	30	47.6	69	99.8
1990	28.2	38.8	42.6	80.4	122.2

1991	41.6	42	42	63.8	89
1992	20.2	34	56.8	106.4	132.8
1993	16.2	27.8	44	69.4	86.2
1994	27.6	51	59.6	74.4	92.2
1995	16	26.2	28	29.4	42.4
1996	19	24.2	42.8	69.4	100.6
1997	18.6	30.2	30.2	54	82.4
1998	29.4	42	54.8	55.6	72.4
1999	19.4	31	51.8	87.2	106
2000	32.2	48.2	52	74.6	136
2001	19	32.2	42.6	64.2	92.8
2002	21.4	36.4	43.8	69.2	110.8
2003	41.8	45	48	74.6	125.6

Una prima verifica sulla bontà dei dati può essere effettuata verificando che all'aumentare della durata considerata, l'altezza massima di precipitazione sia non decrescente.

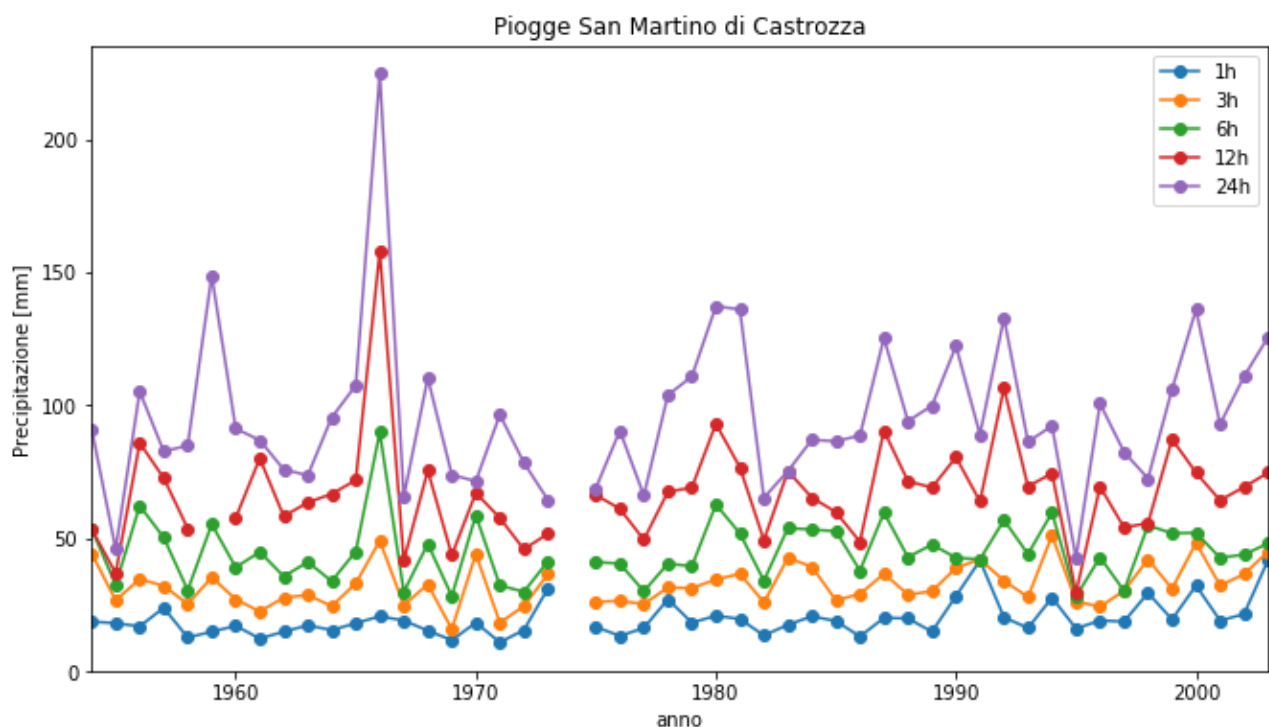


Fig.2 – andamento precipitazioni per tutti gli intervalli considerati

Il grafico precedente contiene le registrazioni delle precipitazioni a San Martino di Castrozza, ottenute dalla elaborazione dei dati tabellati da parte della piattaforma Jupyter-Notebook. Si nota come la quantità di precipitazioni effettivamente risulta crescere all'aumentare dell'intervallo di misurazione dei dati. Inoltre i dati evidenziano un "picco" di precipitazioni nell'anno 1966, anno in cui, in novembre, la valle del Primiero, così come numerosi altri luoghi in Trentino e in Italia, venne interessata da una pesante alluvione.

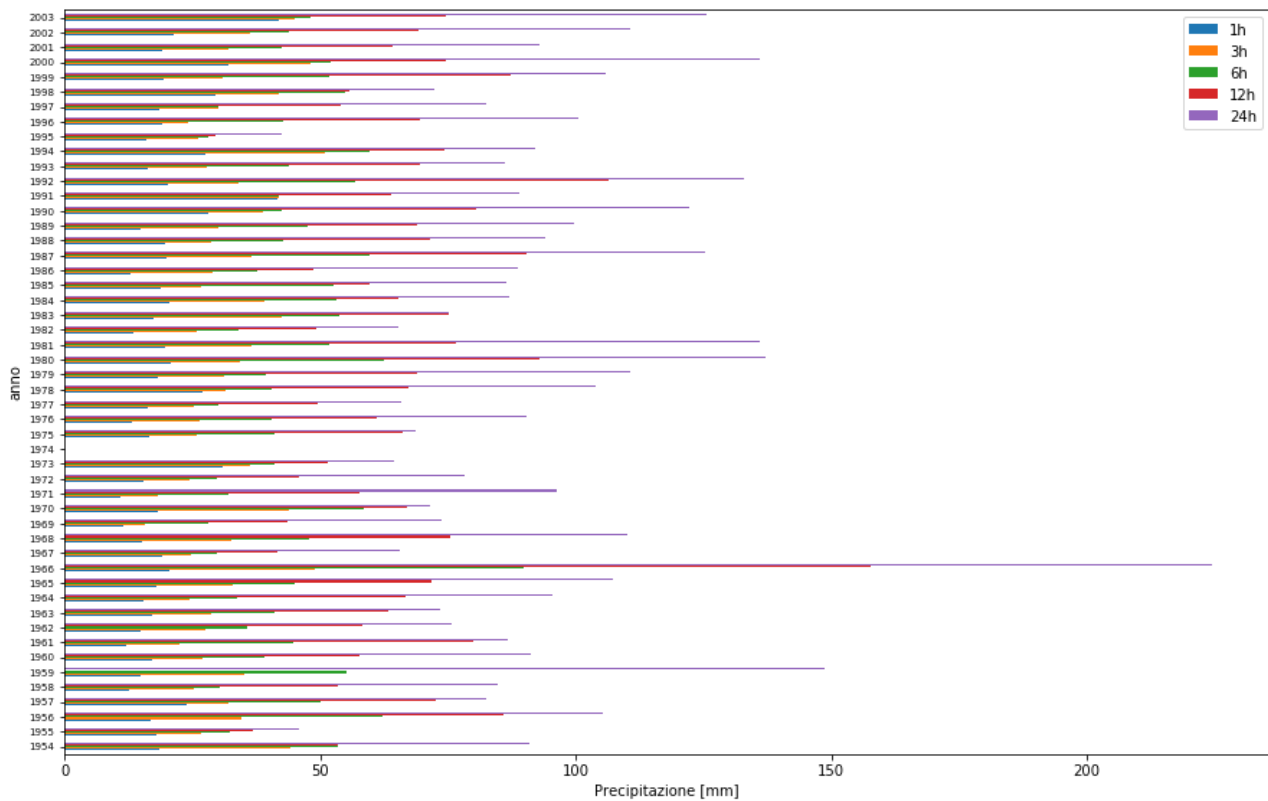


Fig.3 – istogramma delle precipitazioni per tutti gli intervalli considerati

La figura 3 presenta i dati in forma di istogramma.

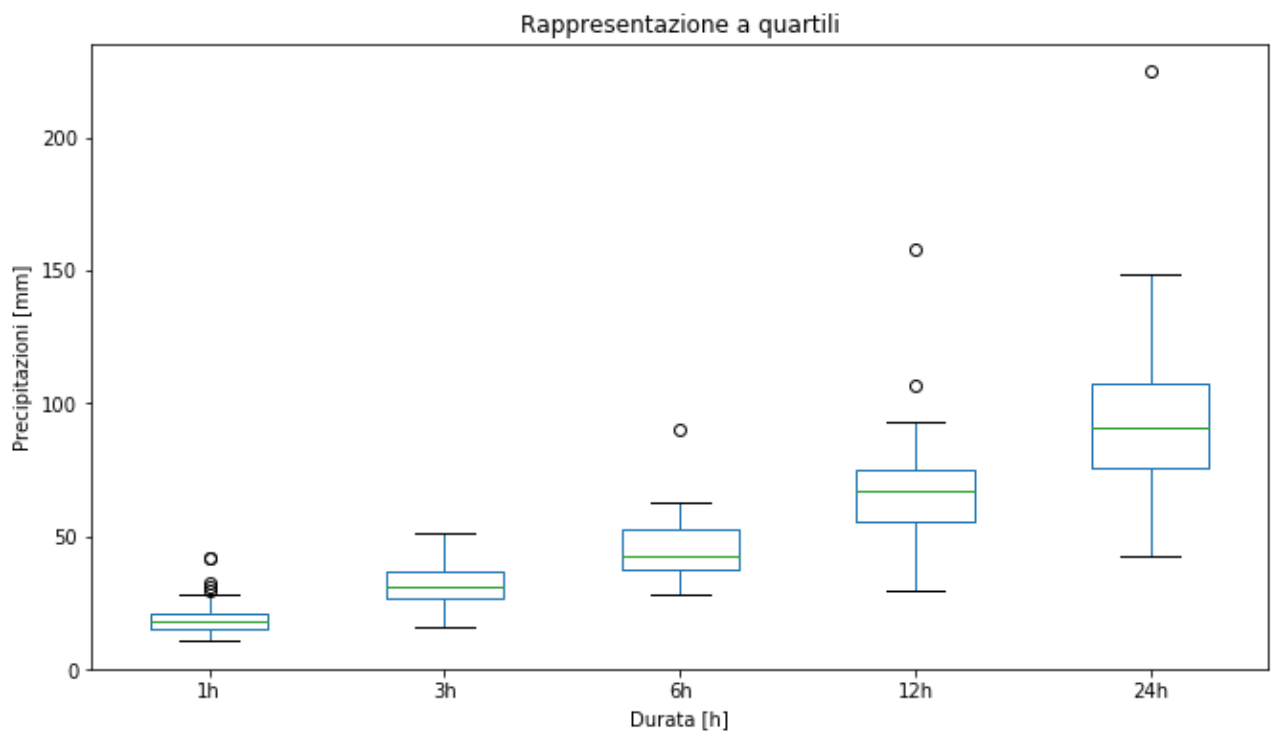


Fig.4 – diagramma scatola e baffi

La fig.4 rappresenta il diagramma scatola e baffi. In tale diagramma utile ai fini statistici la linea verde rappresenta il valore mediano di precipitazione (2° quartile) per un intervallo di tempo, mentre la scatola è delimitata dal 1° (in basso) e dal 3° (in alto) quartile; i baffi rappresentano invece i valori minimo e massimo. I due pallini esterni corrispondono invece a valori estremi (cioè osservazioni eccezionali) rispetto ai valori di precipitazione presi in considerazione. Si nota come per 6h e 24h risulta un solo valore esterno alla scatola ed inoltre per 12h e 24h un valore è nettamente più alto del valore medio (nelle 24h il valore esterno alla scatola risulta addirittura più del doppio del valore medio).

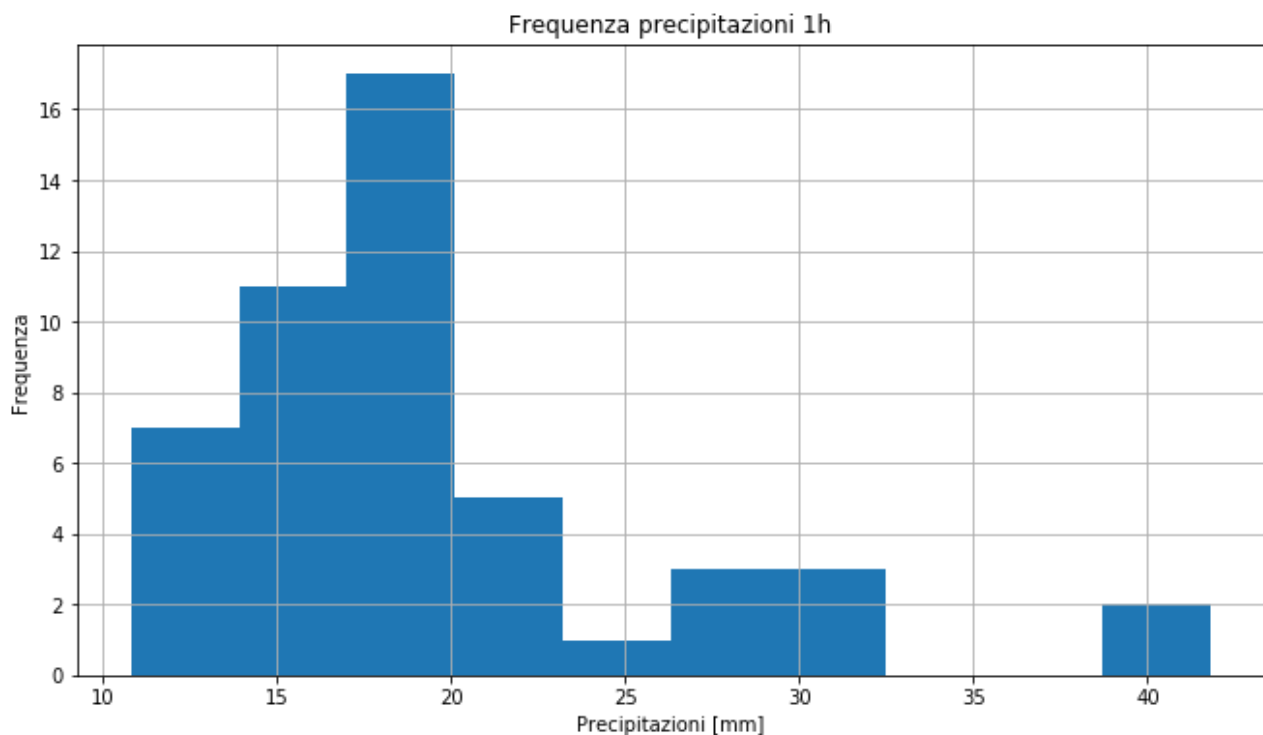


Fig.5 – distribuzioni dei dati a 1h

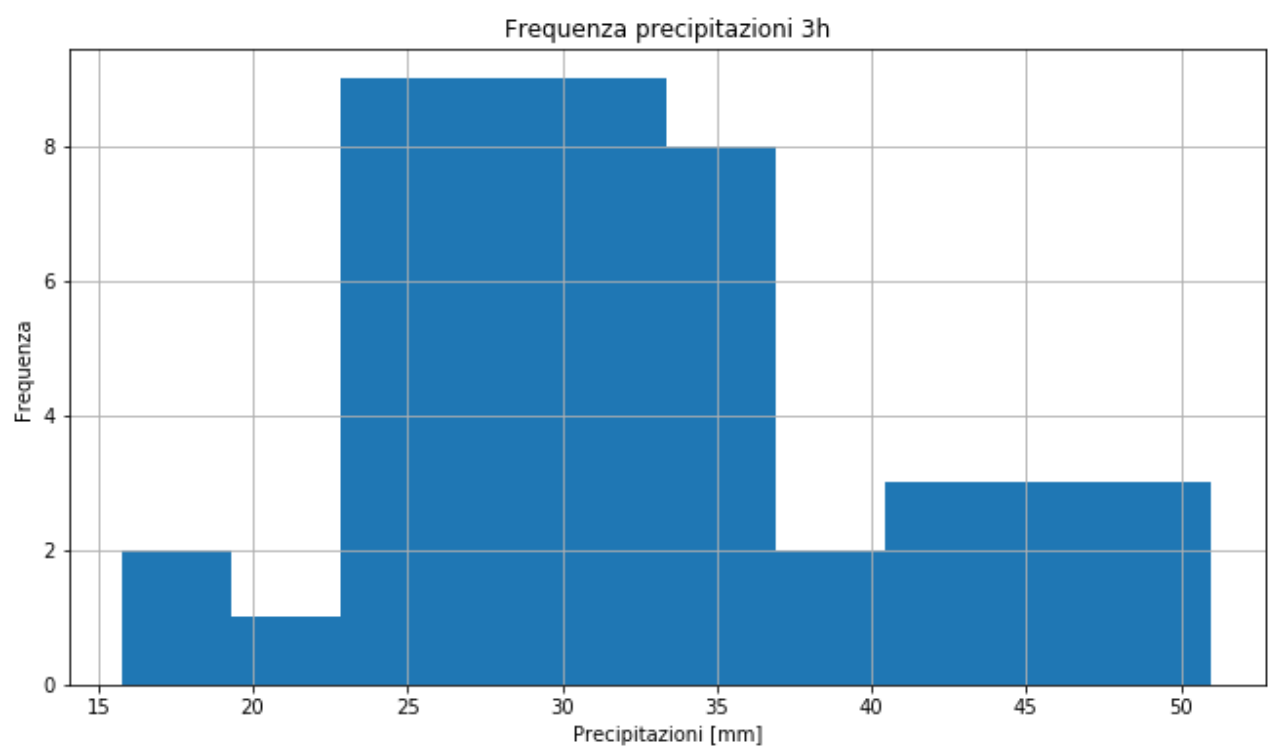


Fig.6 - distribuzioni dei dati a 3h

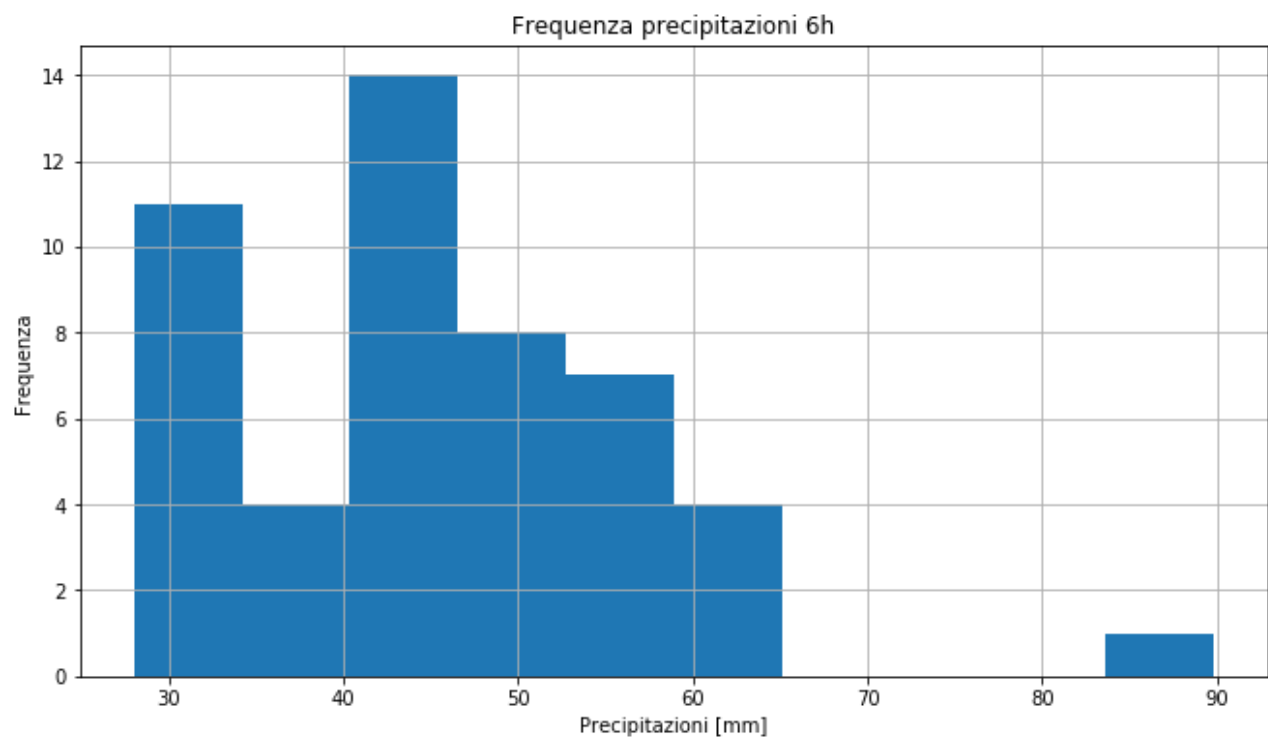


Fig.7 - distribuzioni dei dati a 6h

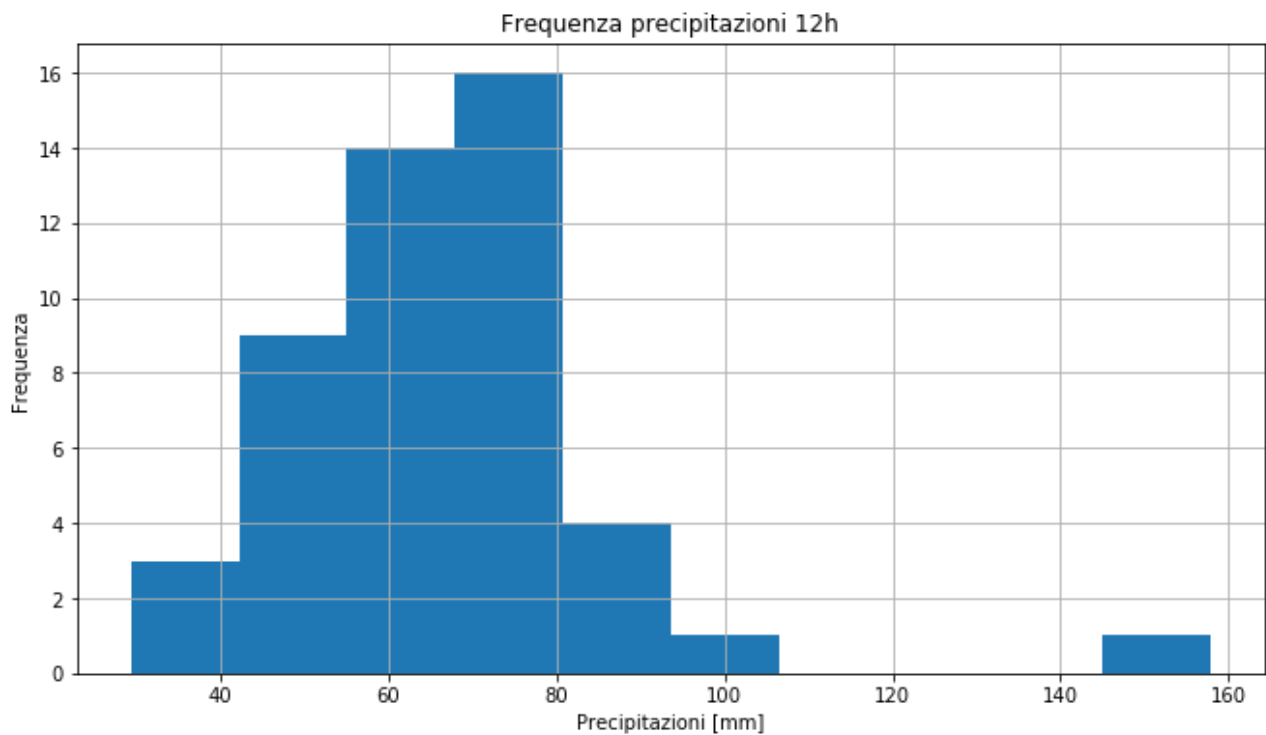


Fig.8 - distribuzioni dei dati a 12h

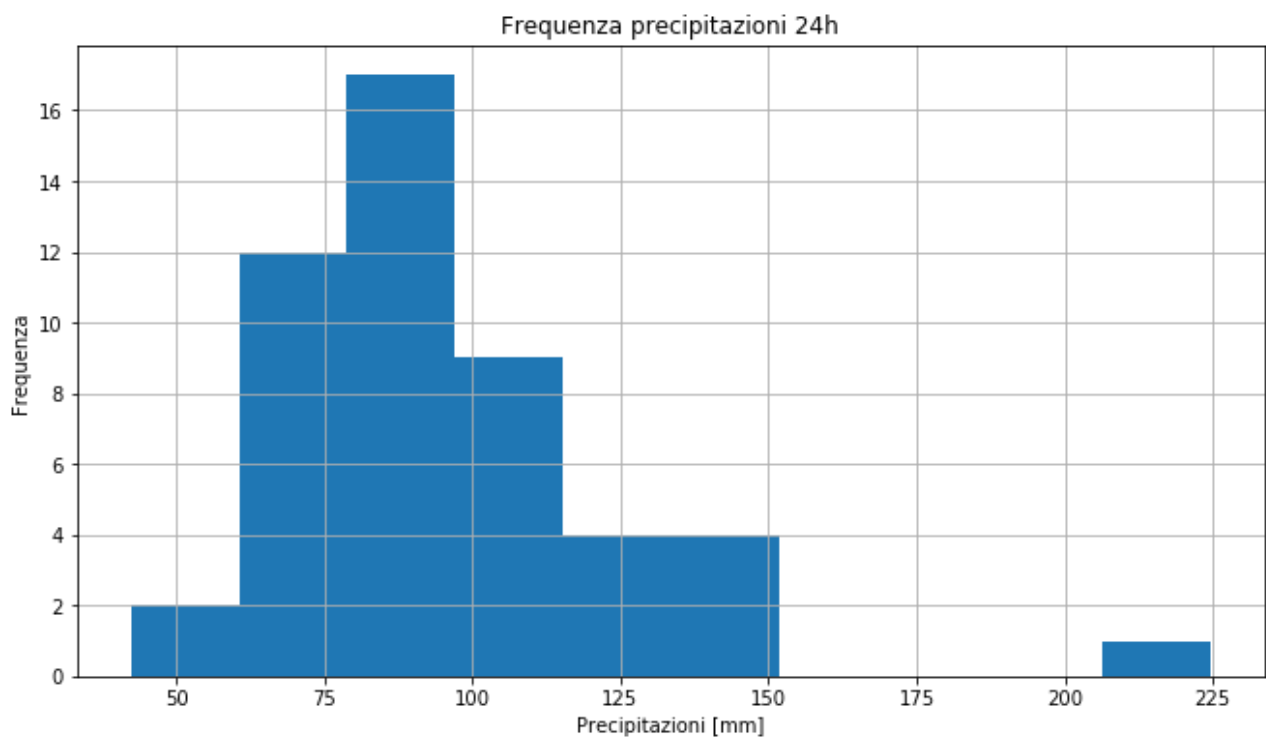


Fig.9 - distribuzioni dei dati a 24h

Gli istogrammi precedentemente riportati rappresentano le distribuzioni di precipitazioni nei vari intervalli di tempo considerati. In ascissa è rappresentata l'altezza di precipitazione, mentre il numero in ordinata rappresenta quante volte quel dato valore è stato registrato. Tali grafici si dimostrano ovviamente coerenti con quanto il diagramma scatola e baffi evidenzia. Di seguito i grafici relativi agli istogrammi cumulativi.

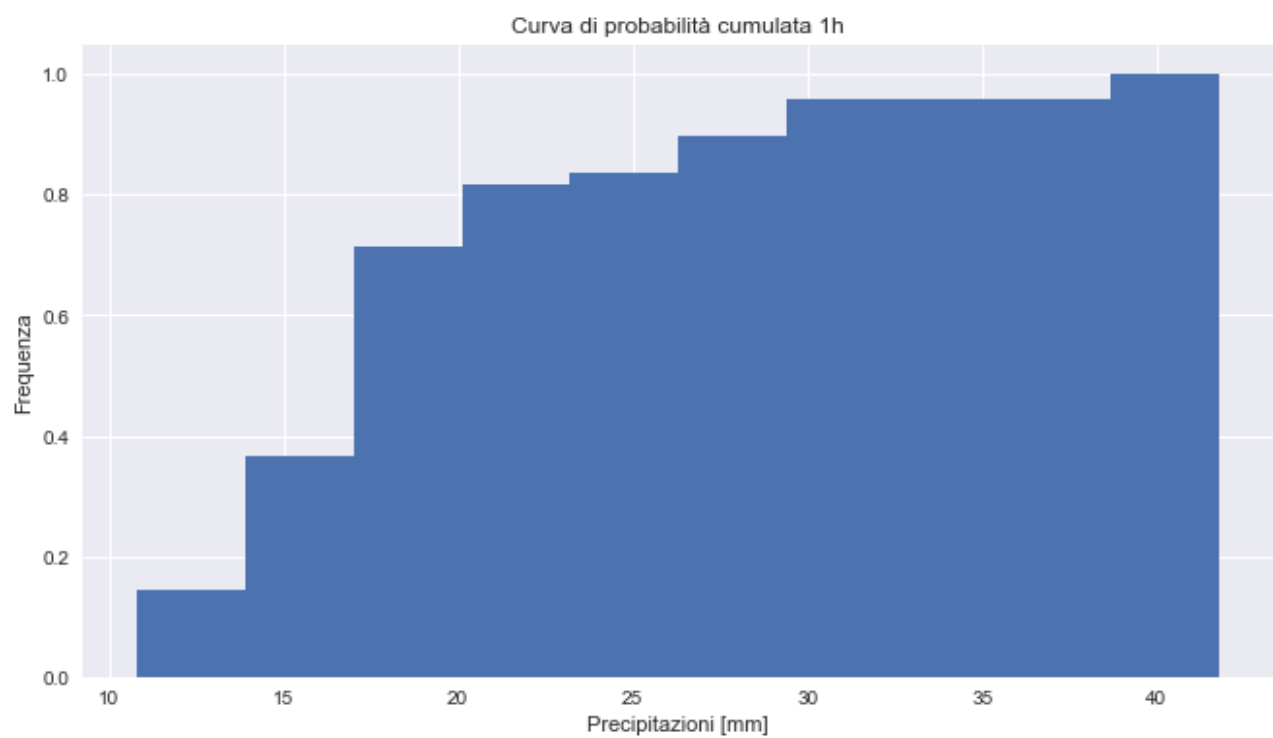


Fig.10 – istogramma cumulativo relativo a 1h

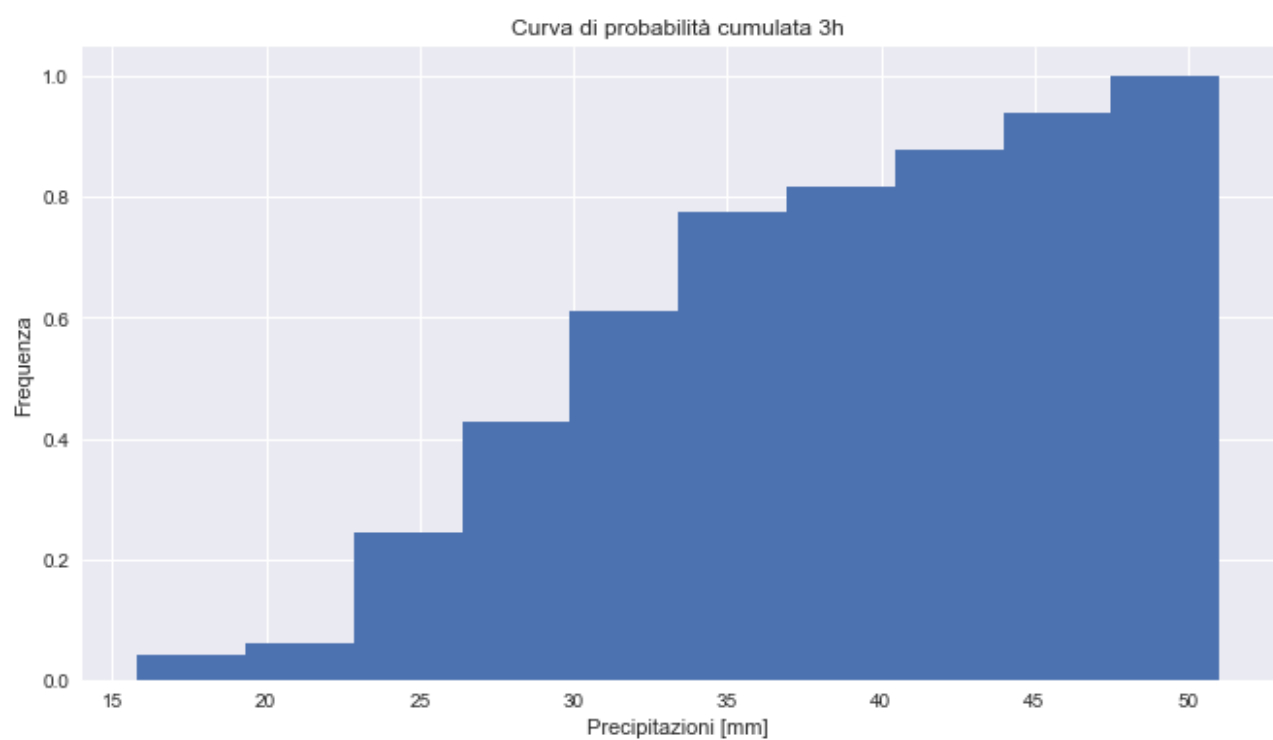


Fig.11 - istogramma cumulativo relativo a 3h

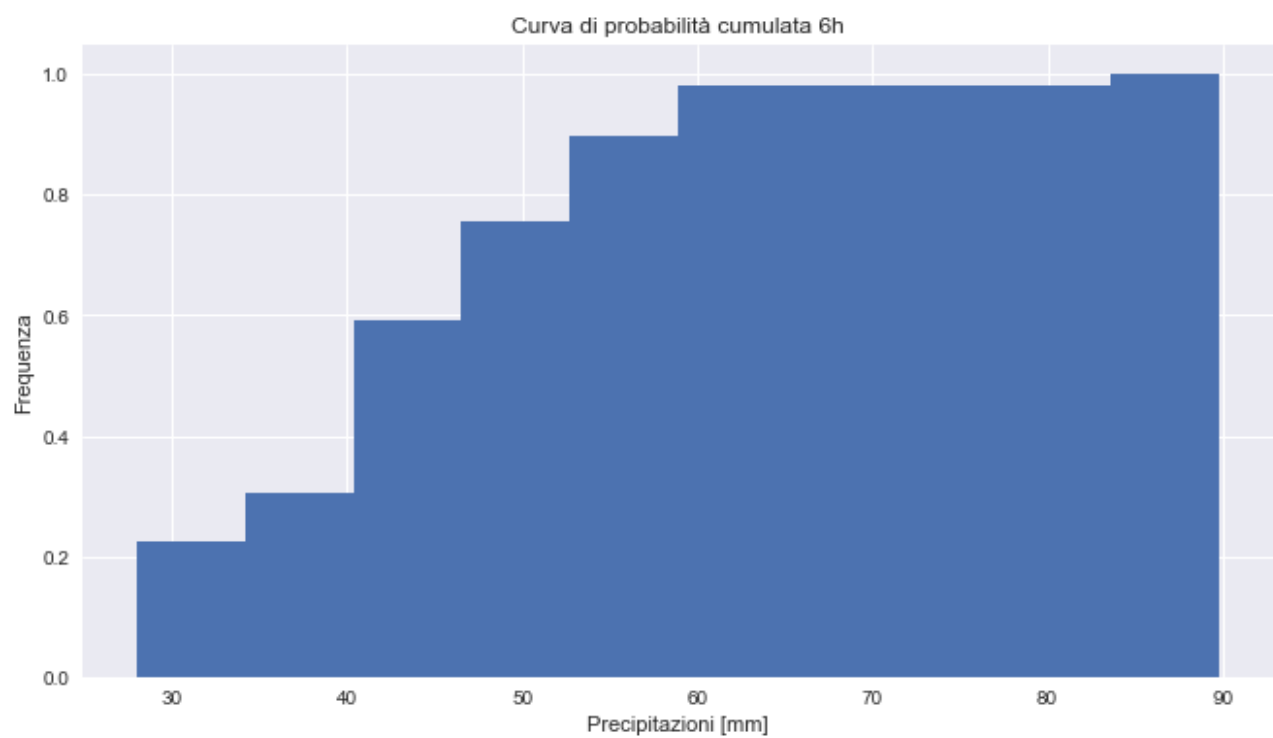


Fig.12 - istogramma cumulativo relativo a 6h

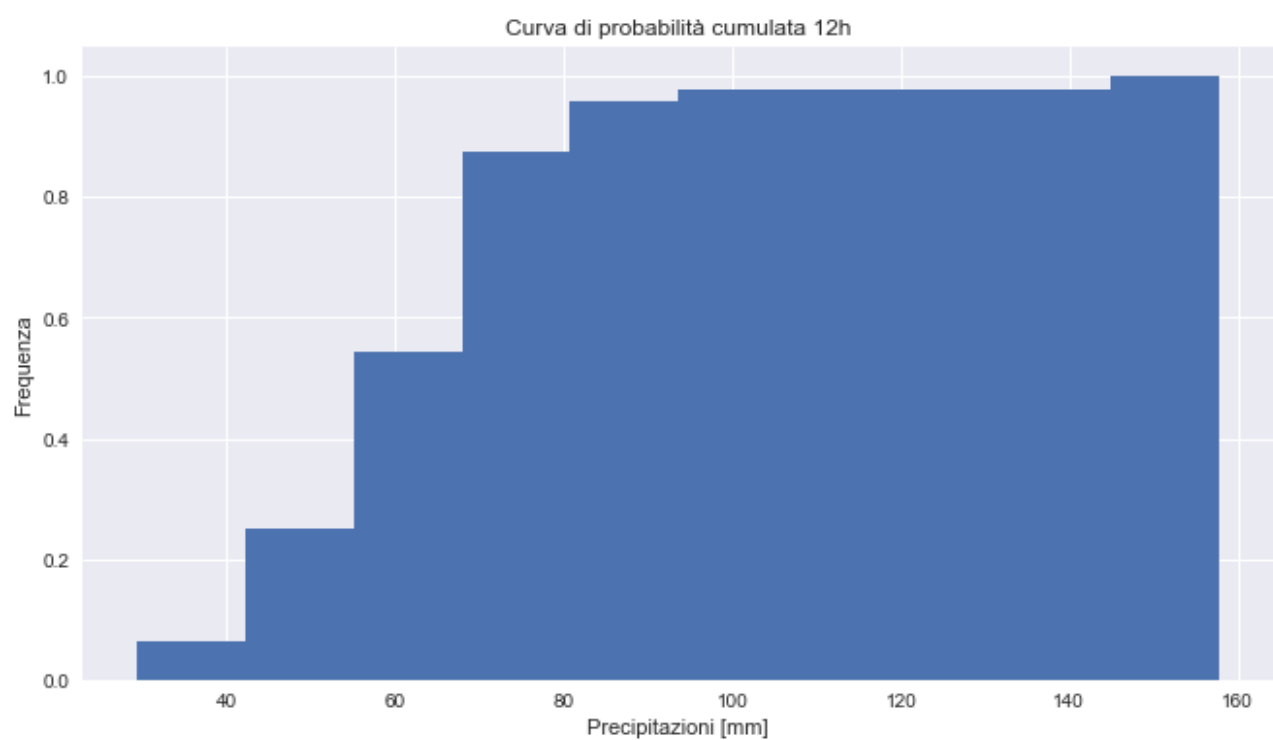


Fig.13 - istogramma cumulativo relativo a 12h

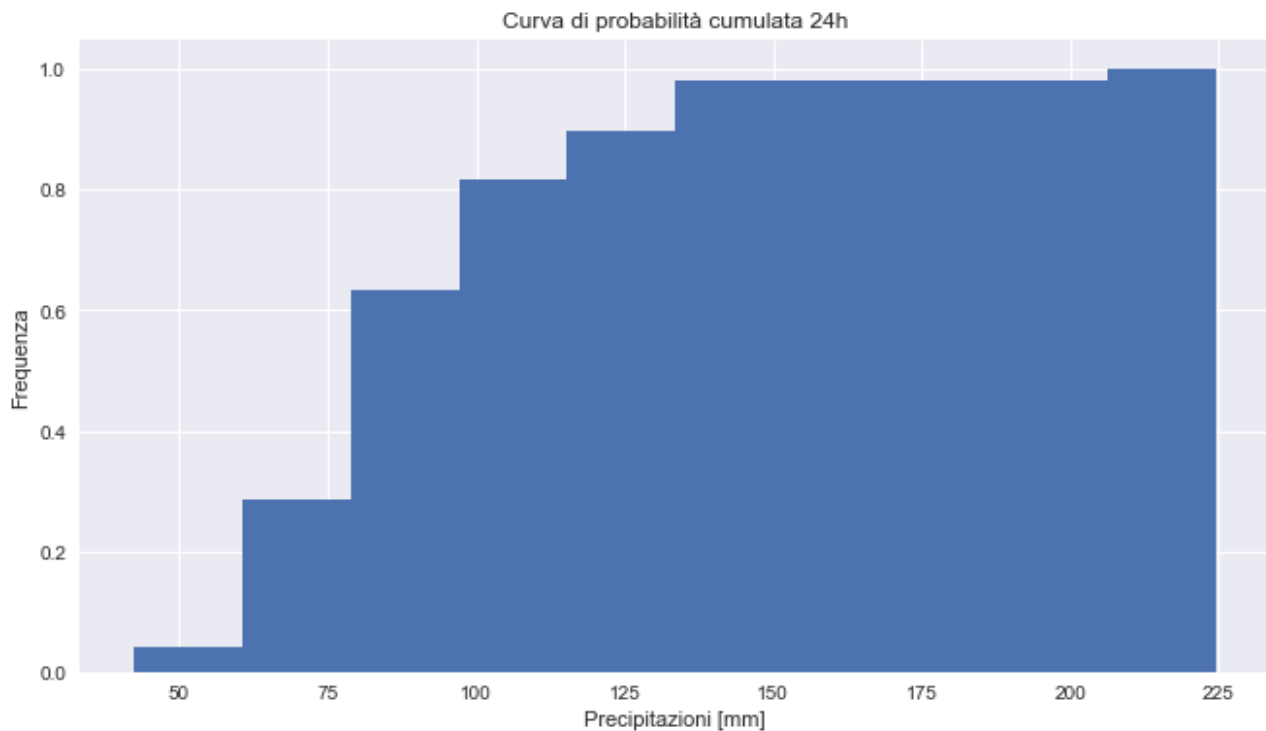


Fig.14 - istogramma cumulativo relativo a 24h

Sulla base di questi dati, tramite la piattaforma Jupyter-Notebook si sono dapprima ricavate le migliori distribuzioni lungo una curva di Gumbel per ogni durata e, successivamente, si sono cercate le curve di possibilità pluviometrica per valori diversi del tempo di ritorno.

Elementi di teoria

Curve di possibilità pluviometrica

Le curve di possibilità pluviometrica o linee segnalatrici di possibilità pluviometrica sono funzioni che mettono in relazione l'altezza di precipitazione con la sua durata dato un certo valore di tempo di ritorno. Le curve di possibilità pluviometrica sono individuate dalla legge di potenza:

$$h(t_p, T_r) = a(T_r)t_p^n$$

dove: h è l'altezza di precipitazione

t_p è il tempo di durata dell'evento pluviometrico

T_r è il tempo di ritorno

a, n sono coefficienti (in particolare vale la relazione $0 < n < 1$, ed n è indipendente dal T_r)

Le curve di possibilità pluviometriche vengono rappresentate generalmente in un grafico bilogarithmico, avente in ascissa il tempo di durata e in ordinata l'altezza di precipitazione; all'interno di tale grafico le curve si presentano come rette che si mantengono tra loro parallele al variare del tempo di ritorno T_r .

Tempo di ritorno e curve di Gumbel

Il tempo di ritorno è l'intervallo di tempo che divide due eventi di precipitazione aventi caratteristiche simili in termini di altezza e durata, e consiste quindi nel tempo medio che intercorre tra il verificarsi di due eventi successivi di entità uguale o superiore ad un valore di assegnata intensità.

A partire dalle curve di possibilità pluviometrica si vogliono quindi ricavare dei possibili tempi di ritorno per eventi di precipitazione estrema. A questo proposito si considera la definizione di tempo di ritorno, data dalla relazione:

$$T_r = \frac{T}{l} = \frac{mn}{l}$$

dove: T è l'intervallo di tempo in cui si svolge la campagna di misurazione

l è il numero di eventi aventi le caratteristiche volute in termini di altezza e durata (casi favorevoli)

m è il tempo di campionamento della singola misura

n sono le misurazioni effettuate nel corso dell'intervallo di misurazione T (casi totali).

Si definisce la frequenza di superamento (cioè la frequenza con cui gli eventi superano un certo valore di altezza) come:

$$F_r(H > h) = \frac{l}{n}$$

ed, essendo complementare della frequenza di non superamento, vale la relazione:

$$F_r(H > h) = 1 - F_r(H \leq h)$$

se si sostituisce tale relazione nella formula del tempo di ritorno si ottiene:

$$T_r = \frac{m}{F_r(H > h)} = \frac{m}{1 - F_r(H \leq h)} = \frac{m}{1 - ECDF(h)}$$

dove ECDF è la Empirical Cumulation Distribution Function.

Per determinare le curve di possibilità pluviometrica bisogna determinare la corrispondenza tra assegnati tempi di ritorno e altezza di precipitazione. Per ogni durata si cercherà dunque di interpolare i dati ad una distribuzione di probabilità. La famiglia di curve utilizzata a tal proposito è la curva di Gumbel:

$$F(H < h, a, b) = e^{-e^{-\frac{h-a}{b}}}$$

Il problema consiste nella stima dei parametri a (parametro di posizione) e b (parametro di forma) della distribuzione di Gumbel.

Per ottenere una stima valida dei parametri a e b si possono utilizzare 3 differenti metodi: il metodo dei momenti, il metodo di massima verosimiglianza e il metodo dei minimi quadrati.

Metodo dei Momenti

Il metodo dei momenti è un sistema di ricerca degli stimatori. Tale procedimento prevede che uno stimatore debba rispettare una condizione di uguaglianza tra i momenti della distribuzione e quelli della popolazione di osservazioni. Nel caso della curva di Gumbel, caratterizzata da due soli parametri, è sufficiente lavorare con due momenti (media e varianza).

Considerando un campione di misure $h = (h_1, \dots, h_n)$ relativo alle altezze di precipitazione con momenti μ_h e σ_h , si confrontano i momenti del campione con quelli della distribuzione. I momenti della distribuzione di Gumbel sono dati dalle relazioni:

- $E(h) = b\gamma + a$ con $\gamma=0,57721$ (costante di Eulero-Mascheroni)
- $Var(h) = b^2 \frac{\pi^2}{6}$

Nel caso della curva di Gumbel i parametri a e b si trovano quindi risolvendo il sistema:

$$\begin{cases} \mu_h = b\gamma + a \\ \sigma_h^2 = b^2 \frac{\pi^2}{6} \end{cases}$$

Metodo di Massima Verosimiglianza

Il metodo di massima verosimiglianza è un procedimento atto a determinare gli stimatori. Tale metodo consiste nel massimizzare la funzione di verosimiglianza, definita in base alla probabilità di osservare una certa realizzazione campionaria, condizionalmente ai valori assunti dai parametri oggetto di stima. Il procedimento si fonda sulla valutazione della probabilità di ottenere la serie temporale registrata:

$$P[(h_1, \dots, h_n), a, b]$$

che, in caso di indipendenza dei dati osservati, diventa:

$$P[(h_1, \dots, h_n)|a, b] = \prod_{i=1}^n P[(h_i)|a, b]$$

dove la precedente relazione, nota come funzione di verosimiglianza, dipende dai parametri a e b. Per semplificare i calcoli spesso si ricorre alla funzione di logverosimiglianza (logaritmo della massima verosimiglianza):

$$P[(h_1, \dots, h_n)|a, b] = \log \prod_{i=1}^n P[(h_i)|a, b]$$

I valori dei parametri a e b della curva di Gumbel si ottengono quindi ponendo uguali a zero le derivate parziali, rispetto ai parametri stessi, della funzione di logverosimiglianza.

Metodo dei Minimi Quadrati

Il metodo dei minimi quadrati è una tecnica di ottimizzazione che consente di trovare la funzione che meglio approssima un'interpolazione di dati. In particolare si cerca la funzione che minimizza la somma dei quadrati delle distanze dai punti dati.

Si considerino i punti individuati dalla coppia di coordinate $(x_i; y_i)$, che rappresentano i dati in input. Si vuole trovare una funzione $f(x)$ tale che si avvicini il più possibile alla successione dei punti data. Questa funzione può essere individuata minimizzando la quantità:

$$\delta^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2$$

Ovvero minimizzando la distanza euclidea tra y_i e $f(x_i)$.

Nel caso in esame, il metodo dei minimi quadrati permette di ottenere una stima dei parametri a e b della curva di Gumbel, minimizzando lo scarto quadratico medio tra le misure. Considerando una serie di n misure $h = (h_1, \dots, h_n)$, la quantità

$$\delta^2 = \sum_{i=1}^n (F_i - P(H < h_i; \theta_i))^2$$

Si definisce scarto quadratico medio, dove F_i rappresenta la funzione empirica di non superamento. Dopo aver calcolato gli scarti, i parametri a e b della distribuzione di Gumbel si ottengono imponendo nulle le derivate parziali dello scarto quadratico medio δ rispetto ai parametri stessi.

Test di Pearson

Una volta che si sono applicati i tre metodi sopra elencati e si sono quindi ottenuti 3 diversi valori per i parametri a e b della curva di Gumbel, si applica il Test di Pearson, anche detto test del χ^2 , al fine di individuare il valore dei parametri che meglio permette di approssimare i dati reali.

Il test di Pearson prevede di:

- suddividere il campo di probabilità in k parti (equiprobabili)
- derivarne una suddivisione del dominio
- contare il numero dei dati presenti in ciascuna suddivisione
- calcolare la funzione $\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(N_i - n(P(H < h_{i+1}) - P(H < h_i)))^2}{n(P(H < h_{i+1}) - P(H < h_i))}$

Si scelgono i parametri ottenuti dal metodo per cui la funzione χ^2 presenta valore più basso.

Risultati elaborazioni

Ricerca dei parametri a e b della curva di Gumbel tramite il Metodo dei Momenti

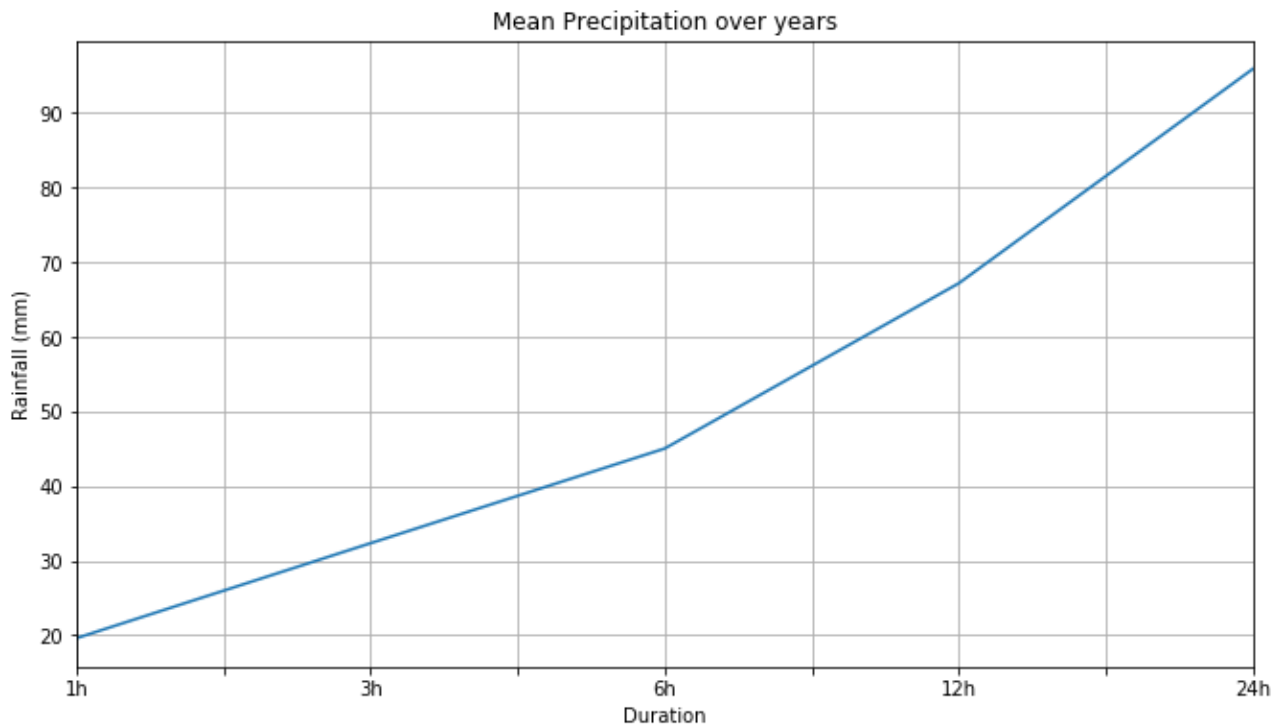


Fig.15 – relazione tra precipitazione e durata

Come da aspettative, l'andamento della precipitazione all'aumentare della durata del fenomeno piovoso è crescente (quasi linearmente).

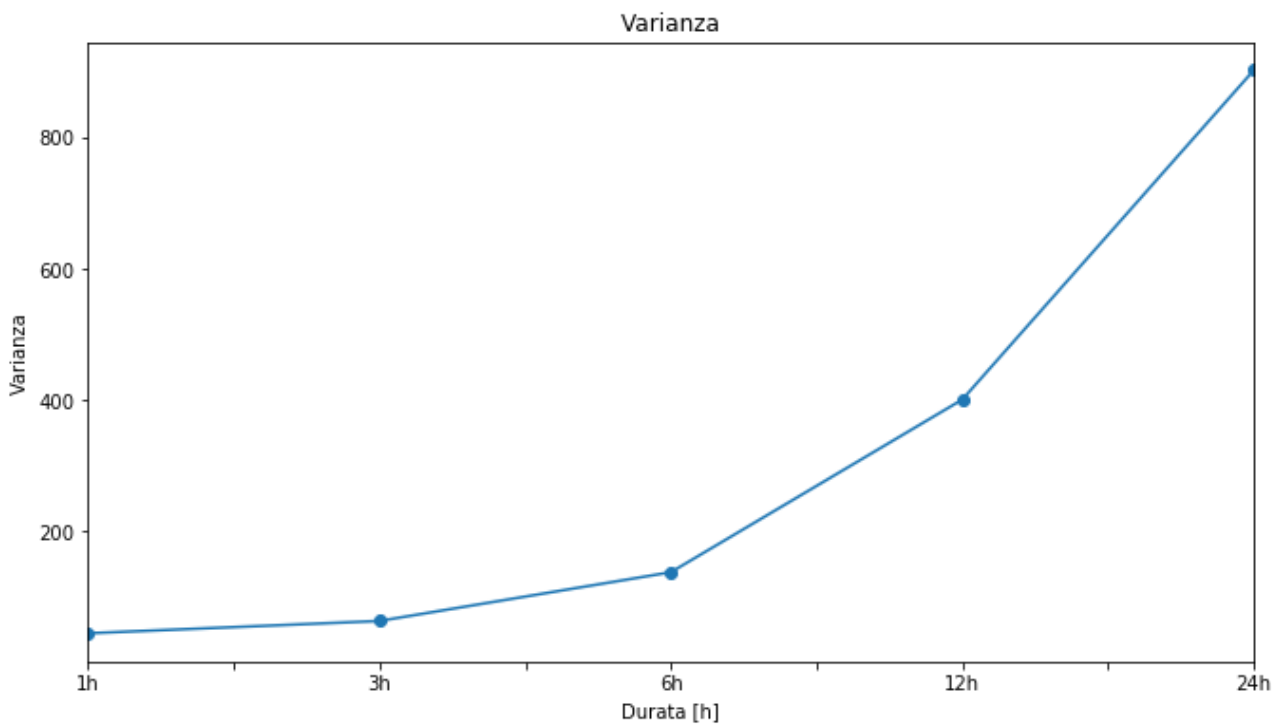


Fig.16 – grafico della varianza

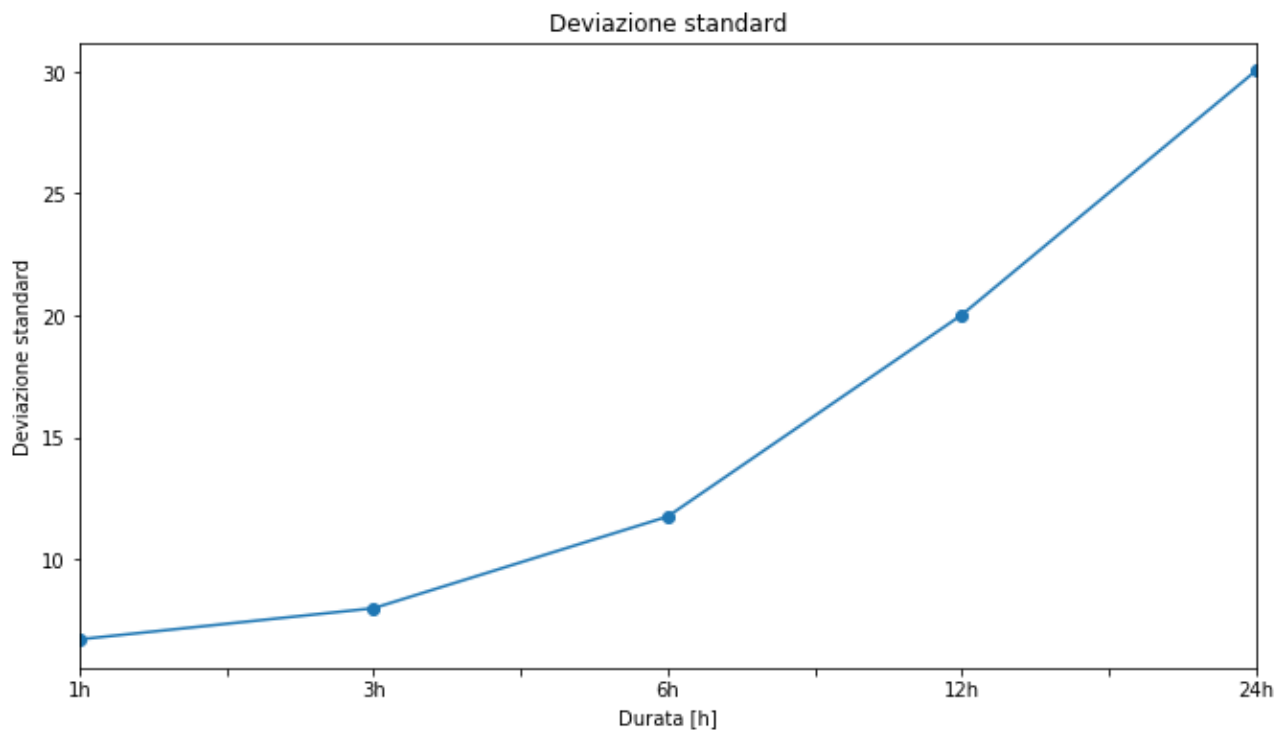


Fig.17 – grafico della deviazione standard

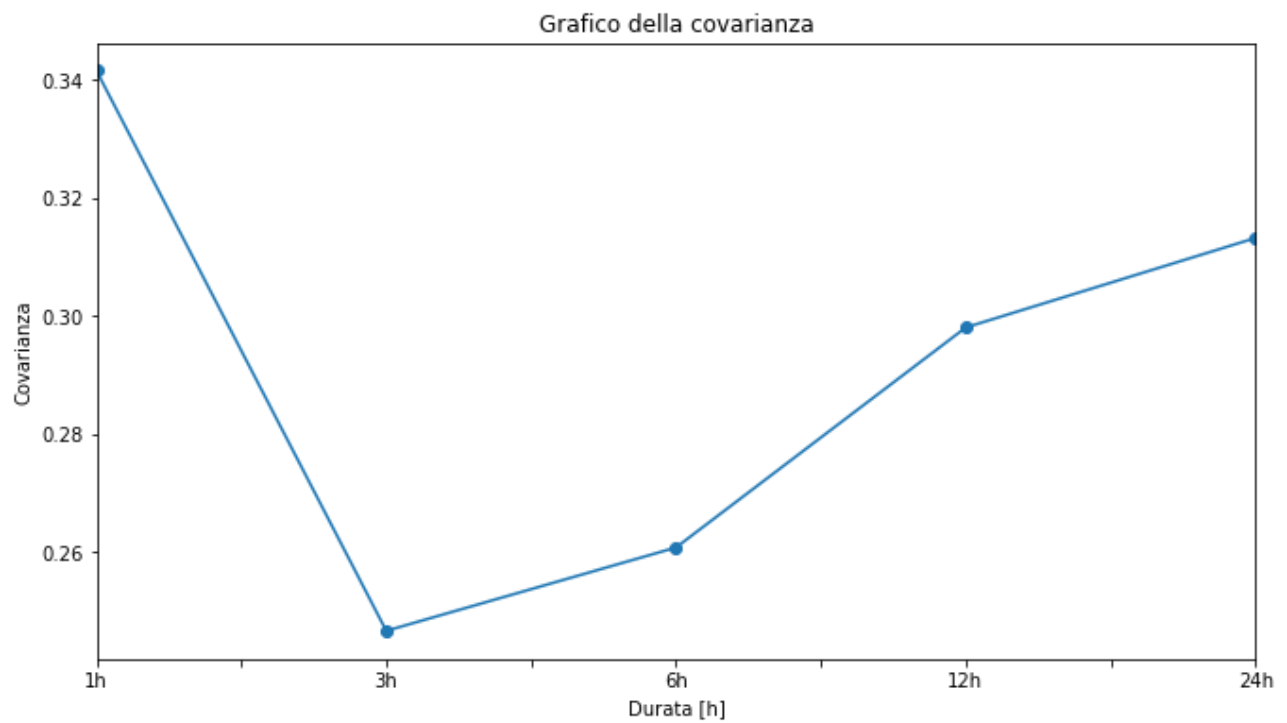


Fig.18 – grafico della covarianza

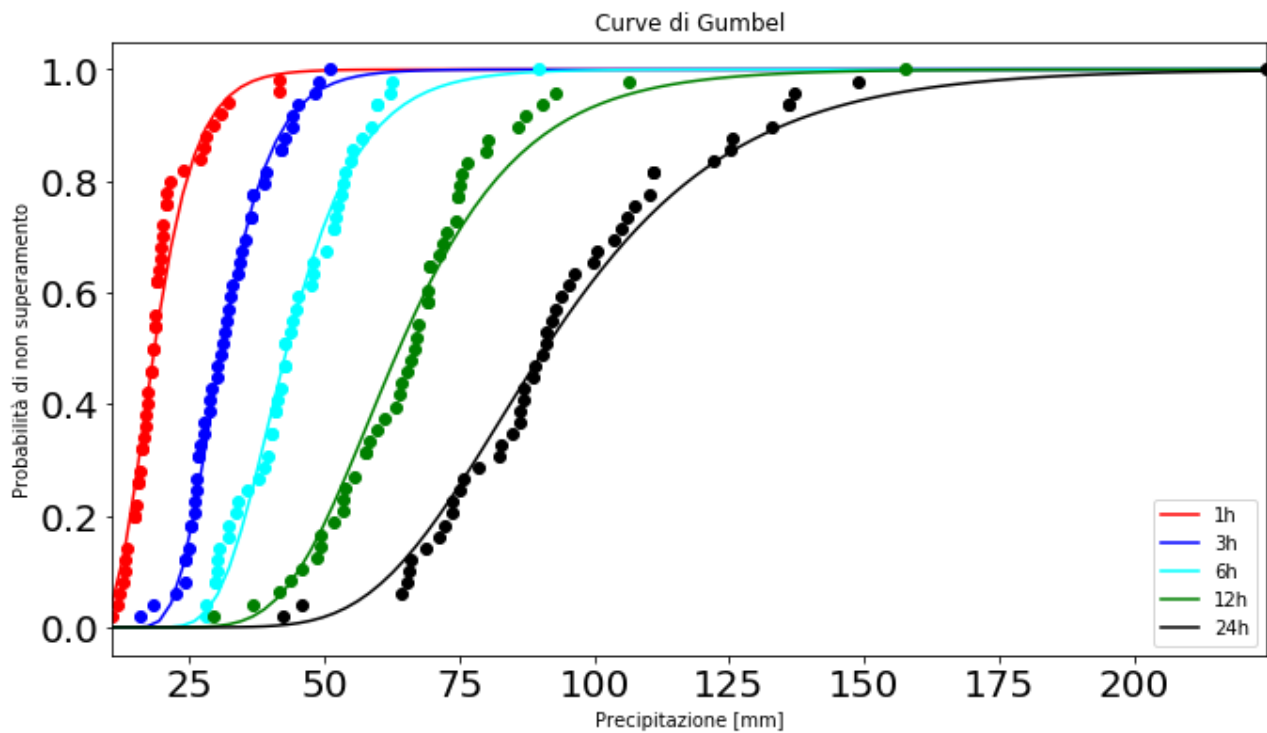


Fig.19 – curve di Gumbel ottenute con il Metodo dei Momenti

La fig. 19 rappresenta le curve di Gumbel ottenute tramite il Metodo dei Momenti. Come si nota osservando il grafico, le curve di 1h, 3h e 6h seguono abbastanza bene gli andamenti teorici previsti, mentre nei casi di 12h e 24h si hanno numerosi dati si discostano, seppur leggermente, dall'andamento previsto.

Ricerca dei parametri a e b della curva di Gumbel tramite il Metodo della Massima Verosimiglianza

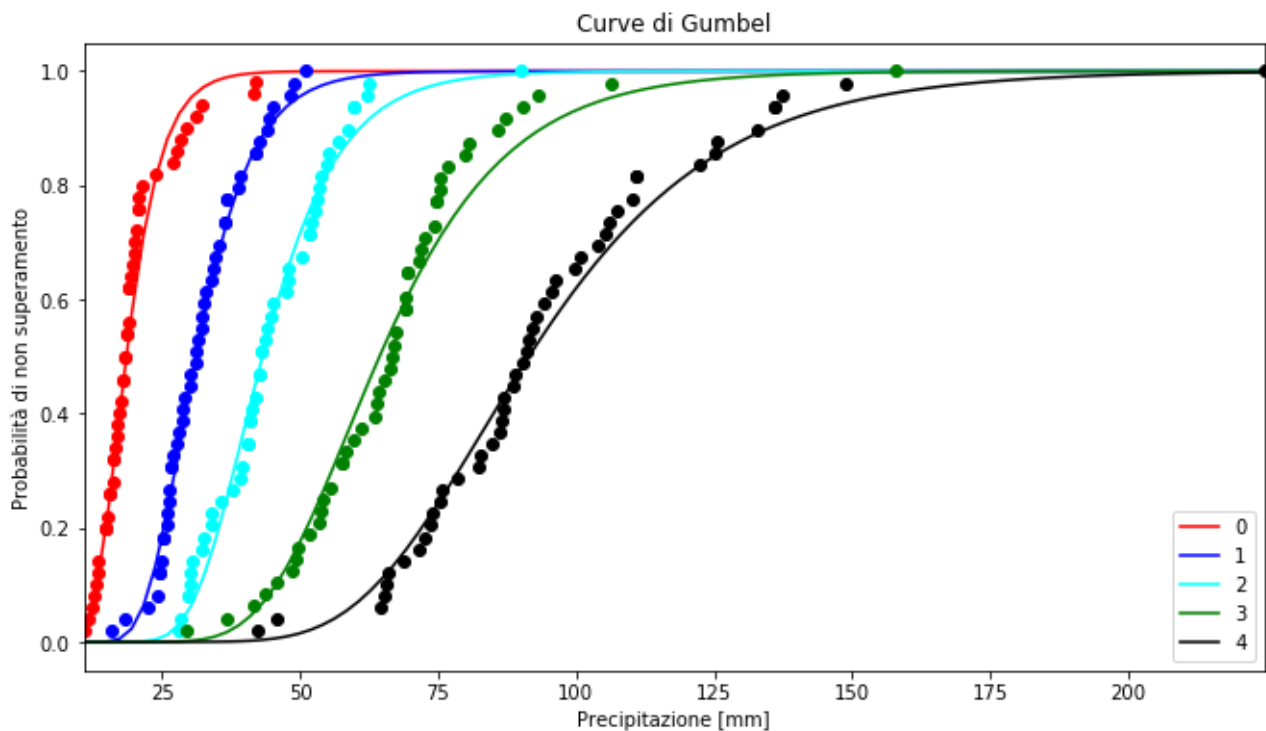


Fig.20 – curve di Gumbel ottenute con il Metodo della Massima Verosimiglianza

Le curve di Gumbel, trovate tramite il Metodo della Massima Verosimiglianza, evidenziano, come nel caso del Metodo dei Momenti, alcuni dati divergenti dall'andamento teorico nel caso delle curve di 12h e 24h. Le curve di 1h, 3h e 6h invece ricalcano in maniera abbastanza fedele l'andamento previsto in via teorica.

Ricerca dei parametri a e b della curva di Gumbel tramite il Metodo dei Minimi Quadrati

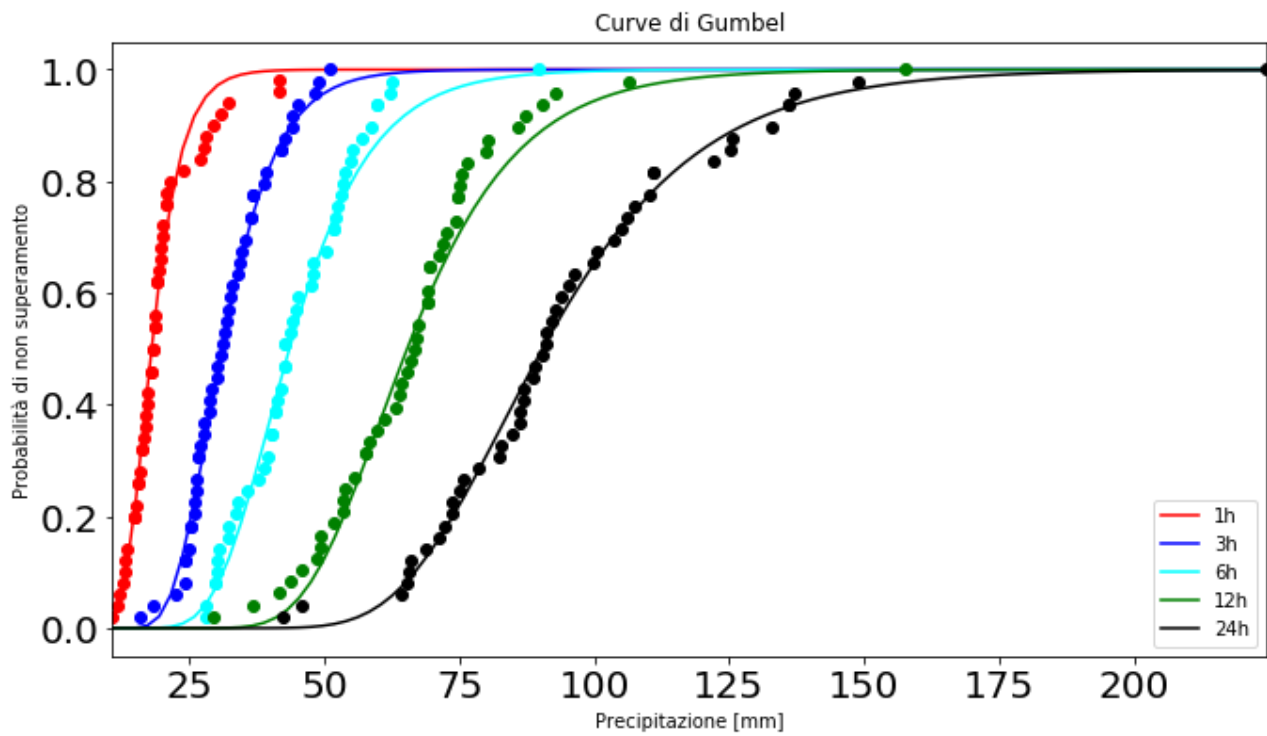


Fig.21 – curve di Gumbel ottenute con il Metodo dei Minimi Quadrati

Le curve di Gumbel trovate tramite il Metodo dei Minimi Quadrati, evidenziano andamenti abbastanza fedeli rispetto alle previsioni teoriche per tutte le diverse durate valutate.

Test di Pearson

Una volta eseguiti tutti i Metodi, si applica il Test di Pearson al fine di individuare gli stimatori a e b che meglio approssimano i dati reali.

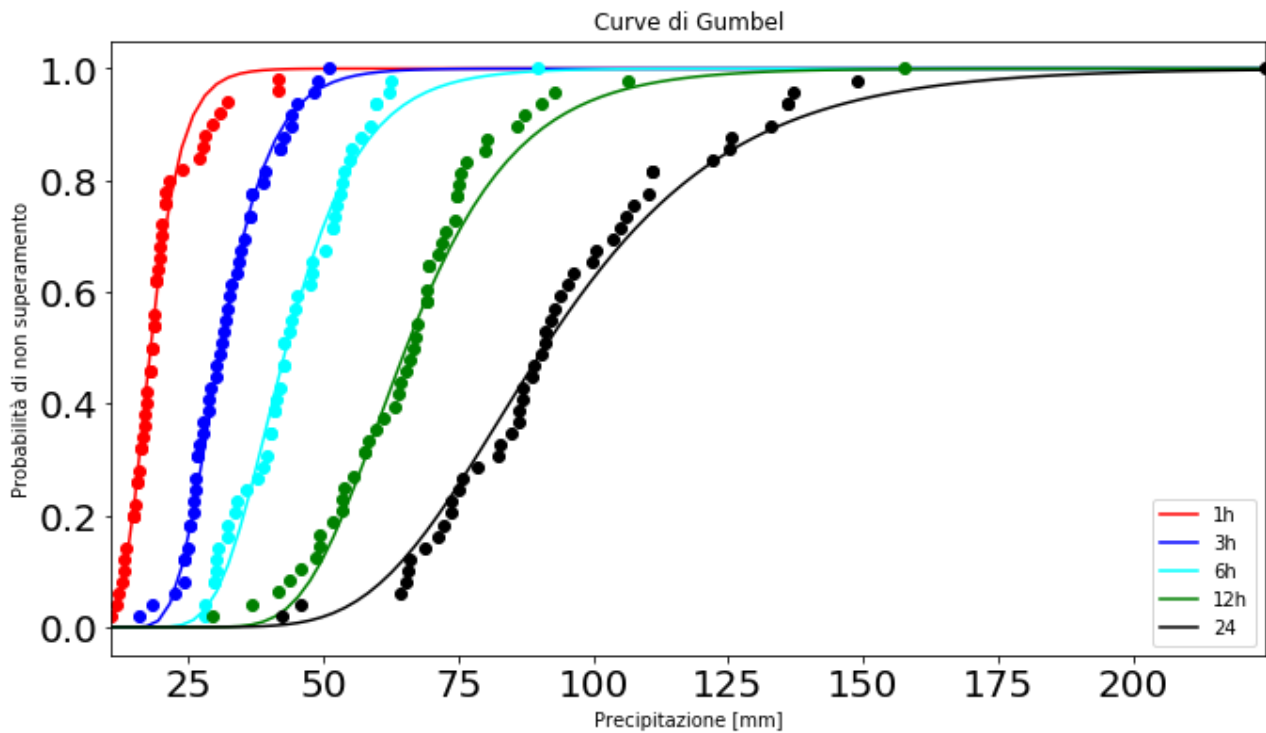


Fig.22 – curva di Gumbel definitiva dopo l'applicazione del Test di Pearson

Applicando il Test di Pearson si ottiene che il migliore metodo per la stima di a e b risulta essere il Metodo della Massima Verosimiglianza.

Curve di possibilità pluviometrica

Tramite la piattaforma Jupyter-Notebook, impostando valori di T_r di 10, 20, 50, 80 e 100, si sono ricavate le curve di possibilità pluviometrica.

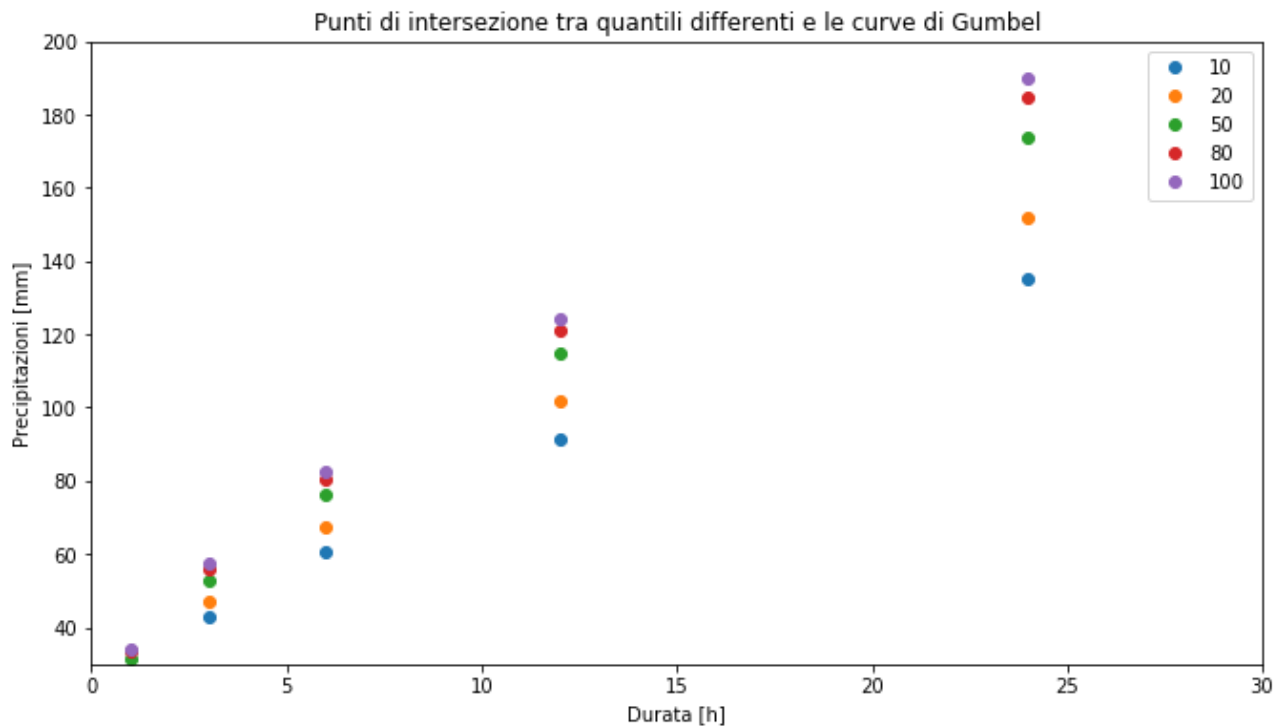


Fig.23 – elaborazione dei dati

In figura sono rappresentati i risultati forniti dall'elaborazione dei dati.

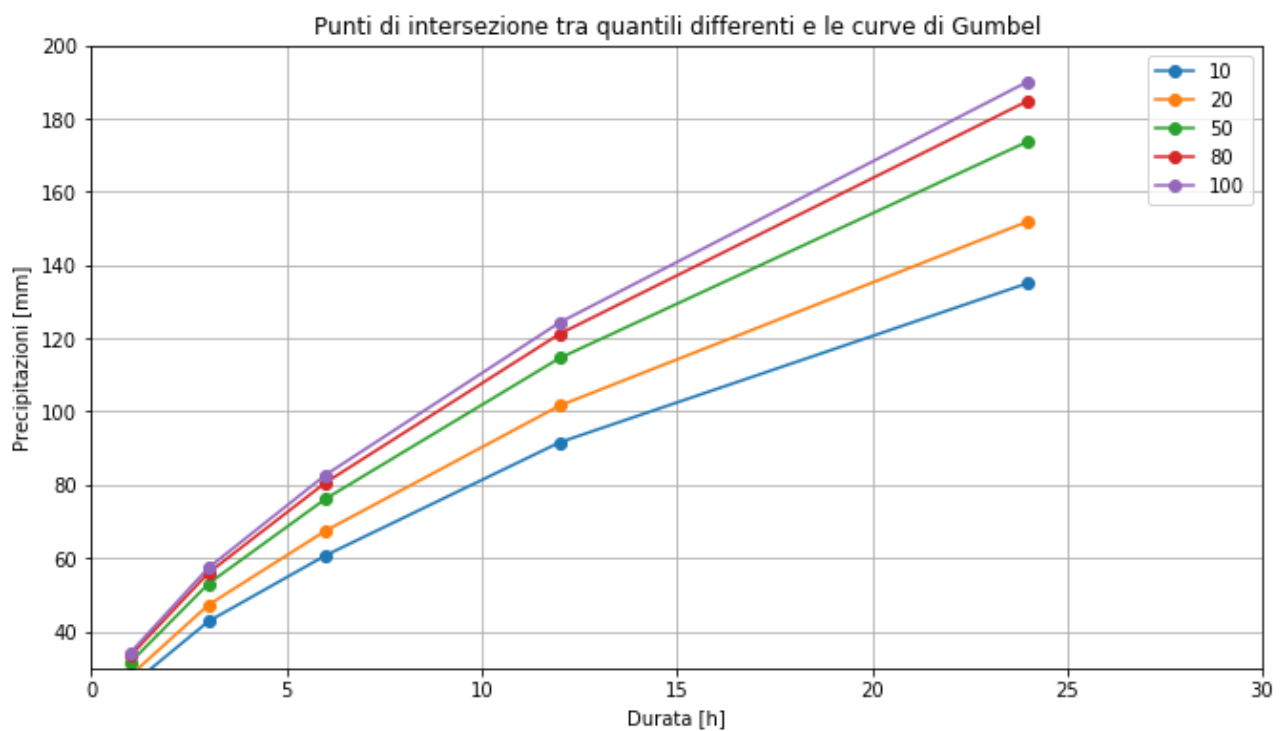


Fig.24 – elaborazione dei dati

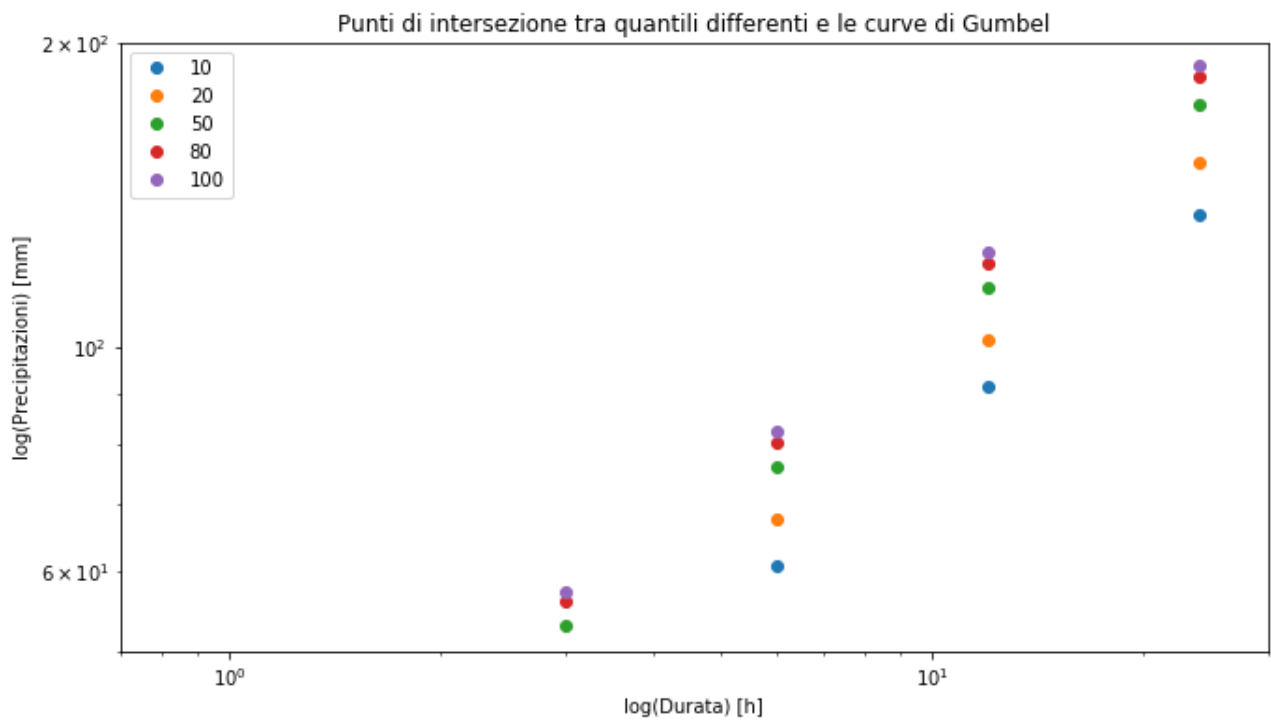


Fig.25 – elaborazione dei dati

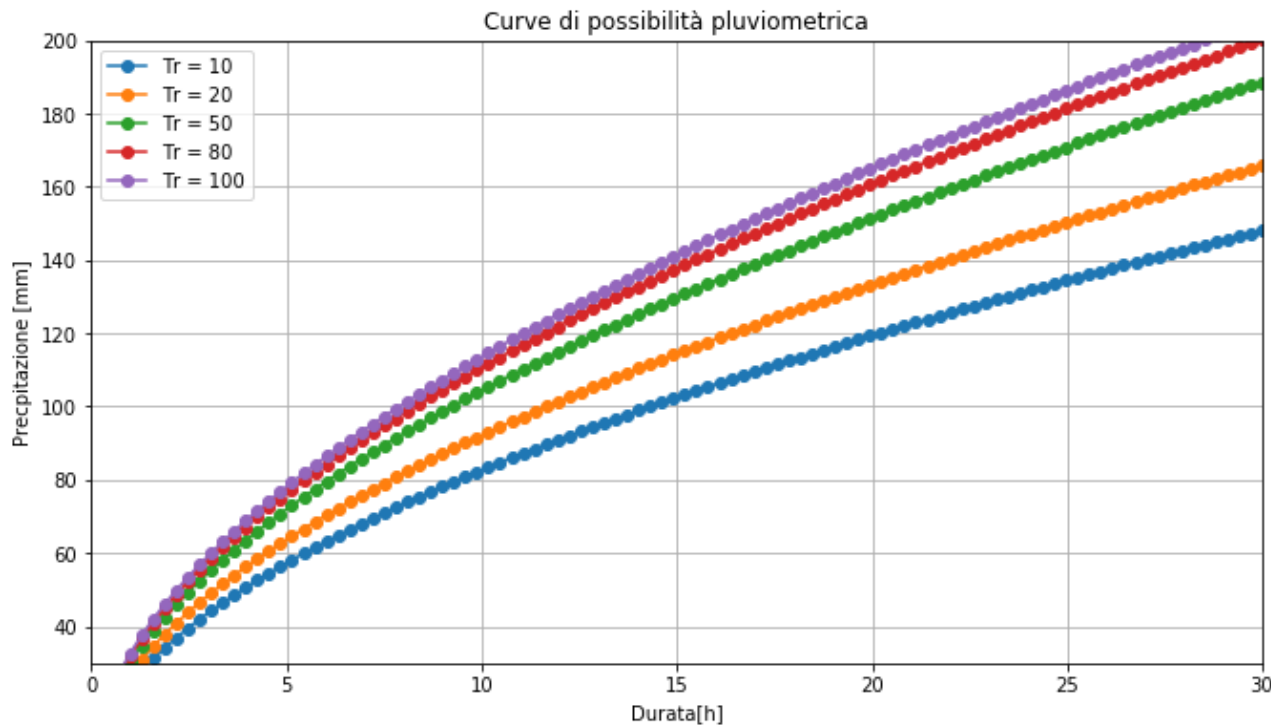


Fig.26 – elaborazione dei dati

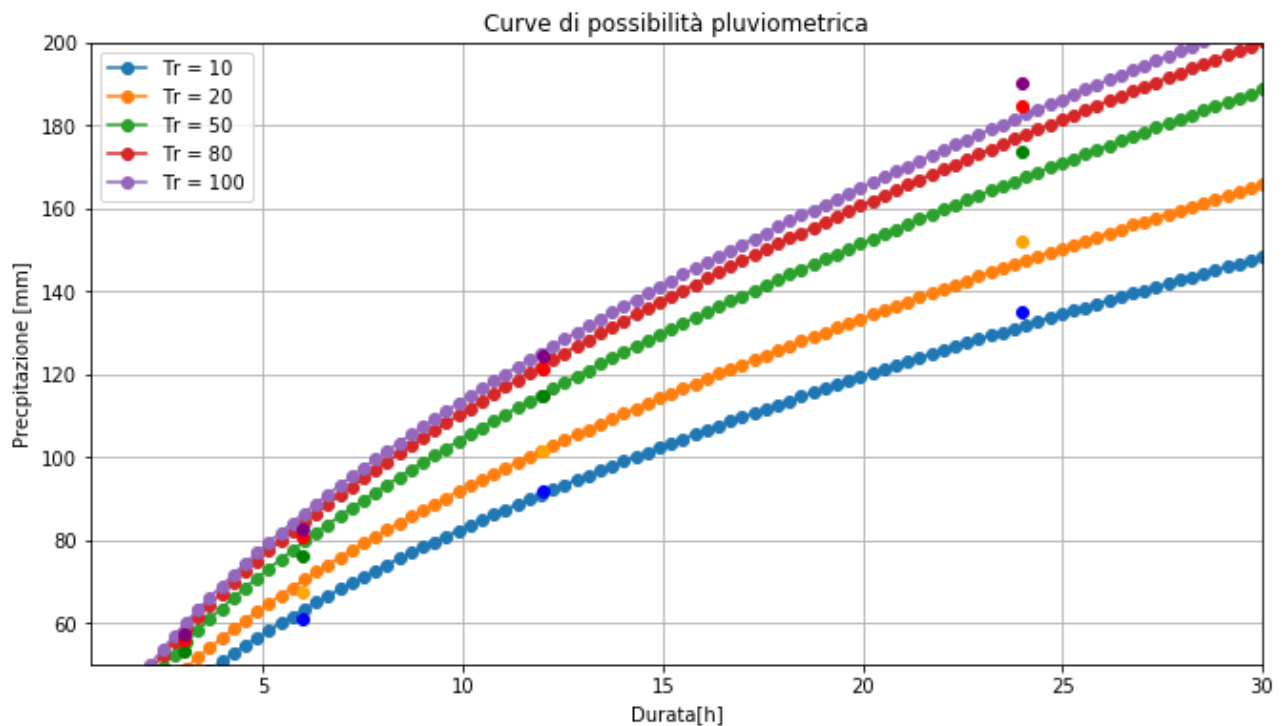


Fig.27 – curve di possibilità pluviometrica

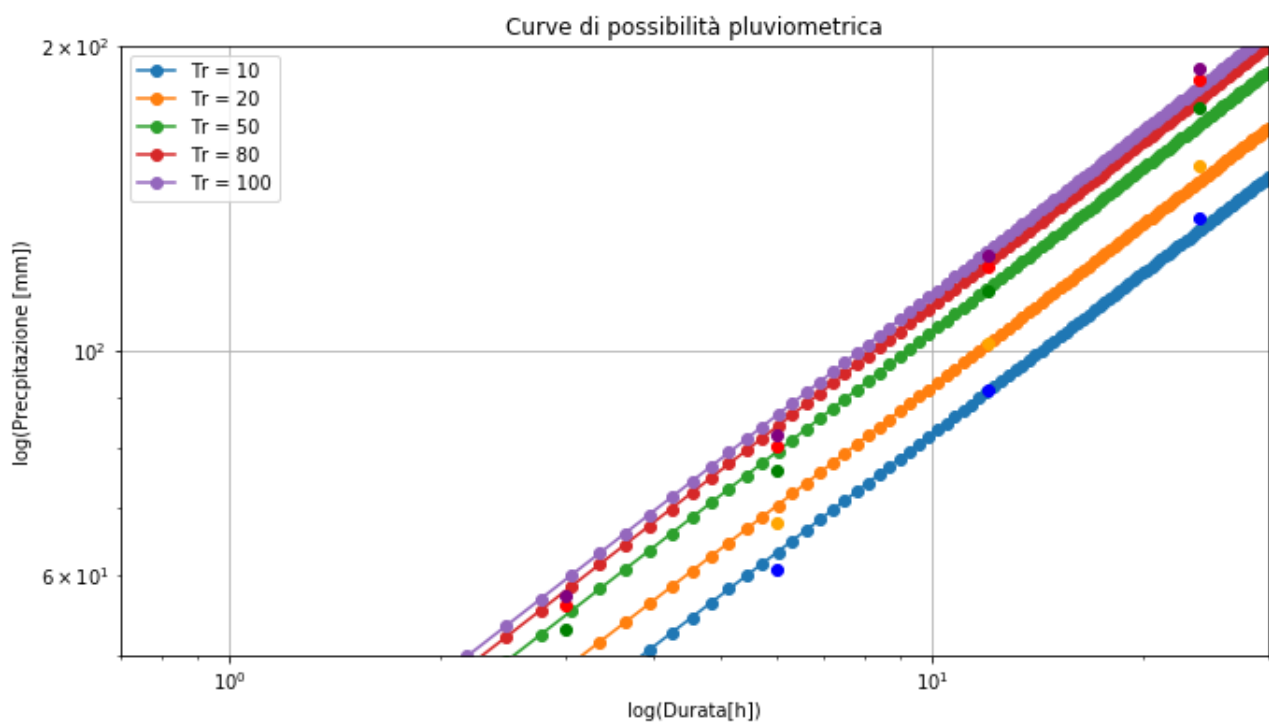


Fig.28 – curve di possibilità pluviometrica rappresentate in un grafico bilogarithmico

In figura sono rappresentate le curve di possibilità pluviometrica in un grafico bilogarithmico al fine di visualizzarle come linee rette e non curve. Tali rette si mantengono parallele al variare del tempo di ritorno T_r e sono più alte al crescere del tempo di ritorno.

Interpolazione spaziale – Simple Kriging

A partire dalla stazione di Mezzano di Primiero (coordinate 46° 09' 16.6'' N 11° 48' 46.1'', posta a 640 m s.l.m.) si sono considerate le stazioni meteo presenti sul sito di Meteotrentino poste in un raggio di 20 km da essa, scaricando i dati di pioggia (mm) e temperatura aria (°C) su scala giornaliera (alle 00:00) per un periodo di un anno dal 01/01/2013 al 31/12/2013. In particolare, le stazioni che presentavano i dati richiesti, e da cui sono quindi stati scaricati i dati per lo svolgimento dell'analisi sono:

- Canal San Bovo - coordinate 46° 08' 58.8'' N 11° 44' 05.2'' E, posta a 750 m s.l.m.
- Caoria - coordinate 46° 11' 30.8'' N 11° 41' 01.8'' E, posta a 803 m s.l.m.
- Castello Tesino (Le parti) - coordinate 46° 03' 25.8'' N 11° 37' 47.7'' E, posta a 801 m s.l.m.
- Lago di Calaita - coordinate 46° 12' 01.1'' N 11° 47' 36.7'' E, posta a 1605 m s.l.m.
- Mezzano - coordinate 46° 09' 16.6'' N 11° 48' 46.1'' E, posta a 640 m s.l.m.
- Passo Brocon - coordinate 46° 06' 59.7'' N 11° 39' 46.4'' E, posta a 1610 m s.l.m.
- Passo Cereda - coordinate 46° 11' 44.2'' N 11° 54' 54.4'' E, posta a 1322 m s.l.m.
- Pieve Tesino (Malga Sorgazza) - coordinate 46° 08' 00.8'' N 11° 35' 59.5'' E, posta a 1435 m s.l.m.
- San Martino di Castrozza - coordinate 46° 15' 41.7'' N 11° 47' 46.5'' E, posta a 1470 m s.l.m.
- Tonadico Castelpietra - coordinate 46° 11' 58.1'' N 11° 51' 57.7'' E, posta a 1045 m s.l.m.
- Val Noana Diga - coordinate 46° 08' 19.6'' N 11° 50' 21.0'' E, posta a 1030 m s.l.m.

Le stazioni considerate sono state scelte in modo da avere una copertura più omogenea possibile su ogni lato del bacino.

I dati raccolti sono stati trasposti su un foglio excel per essere riordinati (anno, mese, giorno, ora, minuto, valore dato, inserendo -9999 per i dati mancanti) e formattati di modo da poter essere elaborati dalla console OMS.

Tramite la console OMS si sono stimati i parametri del semivariogramma sperimentale che meglio distribuissero i dati nello spazio. Lanciato il comando che realizza il semivariogramma sperimentale si sono ottenuti come output le distanze tra il punto in cui si ha il valore della misura e il punto in cui si ha il valore stimato, oltre ai valori di ordinata del semivariogramma corrispondenti al valore di semivarianza tra i due punti considerati.

Tramite il semivariogramma è possibile calcolare quali pesi attribuire alle singole misure.

Quindi tramite Excel si è realizzato il grafico che meglio interpolasse linearmente tali valori.

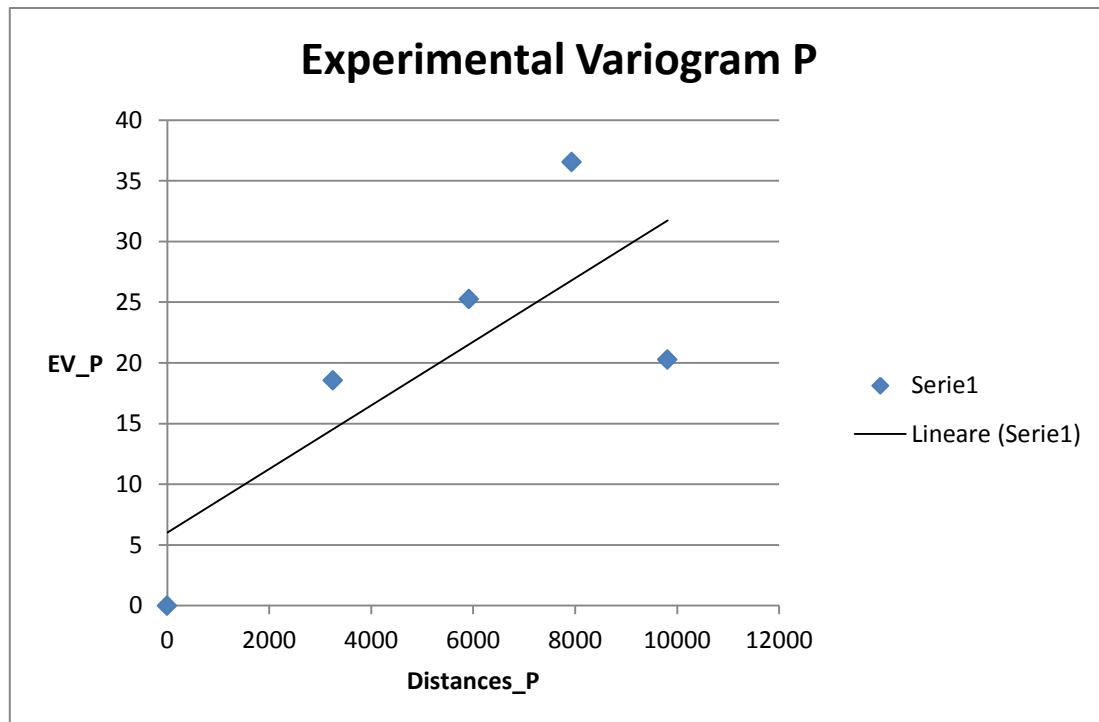


Fig.29 – semivariogramma sperimentale precipitazioni

È successivamente stato realizzato il metodo di interpolazione lineare meglio noto col nome di “Simple Kriging”, che consente di stimare, minimizzando l’errore quadratico medio, il valore di una grandezza per determinati punti di un’area di interesse a partire da misurazioni effettuate su alcuni punti della stessa area.

Il termine Simple deriva dal fatto che si è supposto che la grandezza considerata (nel nostro caso temperatura e pluviometria) vari in maniera omogenea all’interno della zona presa in esame.

Abbiamo cioè interpolato il valore di precipitazione (e successivamente di temperatura) registrata nelle stazioni meteo per ottenere delle misurazioni stimate nei centroidi dei sottobacini.

I parametri che possiamo stimare utilizzando il kriging sono di tre tipologie:

- Nugget: descrive il livello di variabilità casuale;
- Partial Still: descrive il livello di variabilità spaziale, ossia la porzione di varianza che si osserva in funzione della distanza;
- Range: distanza massima alla quale si osserva una correlazione spaziale.

Utilizzando il comando `leave_one_out` abbiamo effettuato una verifica sulla correttezza dei valori presenti nel semivariogramma, poiché tale comando consente di ricalcolare i valori della grandezza in esame in ogni stazione escludendo di volta in volta una stazione diversa.

Successivamente, si sono calcolati i valori di precipitazione nei centroidi dei vari sottobacini mediante il comando `kriging_point` che consente la vera e propria interpolazione.

Di seguito è riportato il grafico relativo al confronto tra valori realmente misurati e valori ottenuti dal semivariogramma per le precipitazioni. Si è scelto di utilizzare un istogramma poiché, al contrario delle temperature, le precipitazioni non sono uniformemente distribuite all’interno di una determinata stagione.

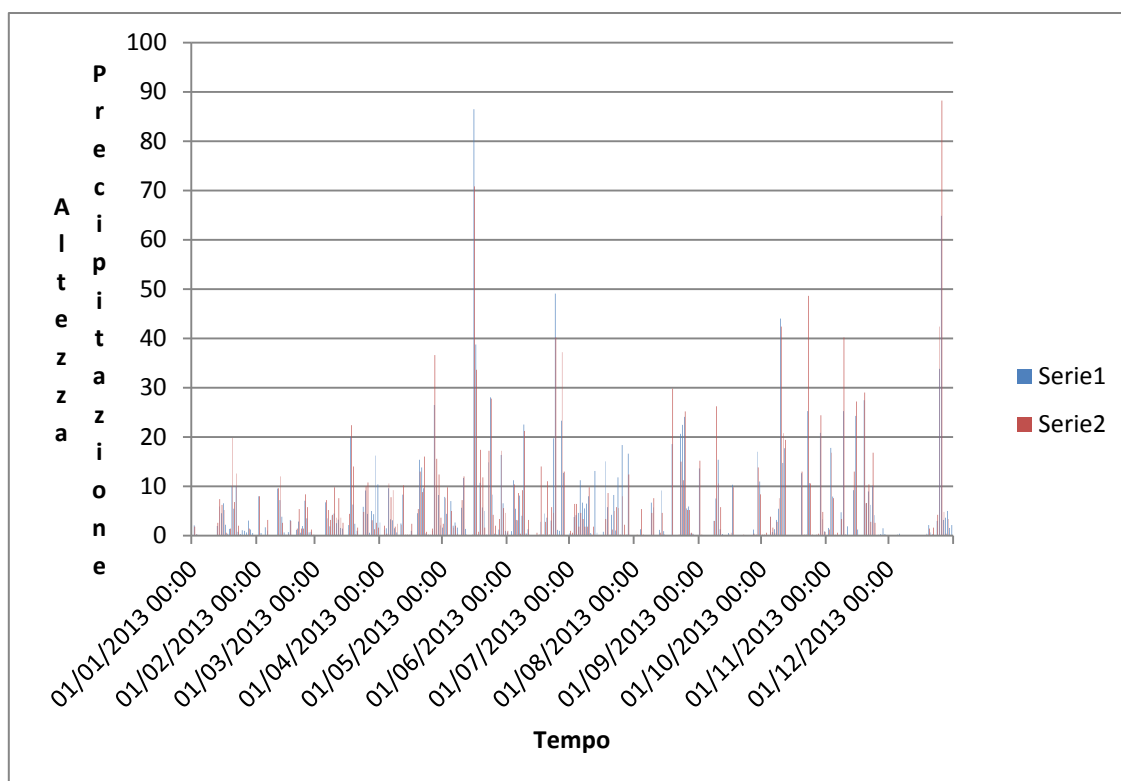


Fig.30 – confronto tra valori reali e valori ricalcolati con leave_one_out

Dal confronto tra i due andamenti, quello reale (in blu) e quello ottenuto dal semivariogramma (in rosso), si osserva come ci siano alcune discordanze tra i valori in alcuni punti. Ciò è comunque comprensibile dal momento che il kriging è un metodo di interpolazione lineare e di stima di grandezze, per il quale inoltre abbiamo adottato la forte ipotesi che la variazione fosse omogenea in tutta l'area di interesse. La presenza di piccole discordanze è inevitabile, ma se si guarda la concordanza nel suo complesso il risultato è più che apprezzabile

Un'operazione analoga a quella descritta per le precipitazioni è stata ripetuta nel caso delle temperature. Di seguito sono quindi rappresentati i grafici relativi al semivariogramma sperimentale e al confronto tra i valori ottenuti e quelli reali per una stazione.

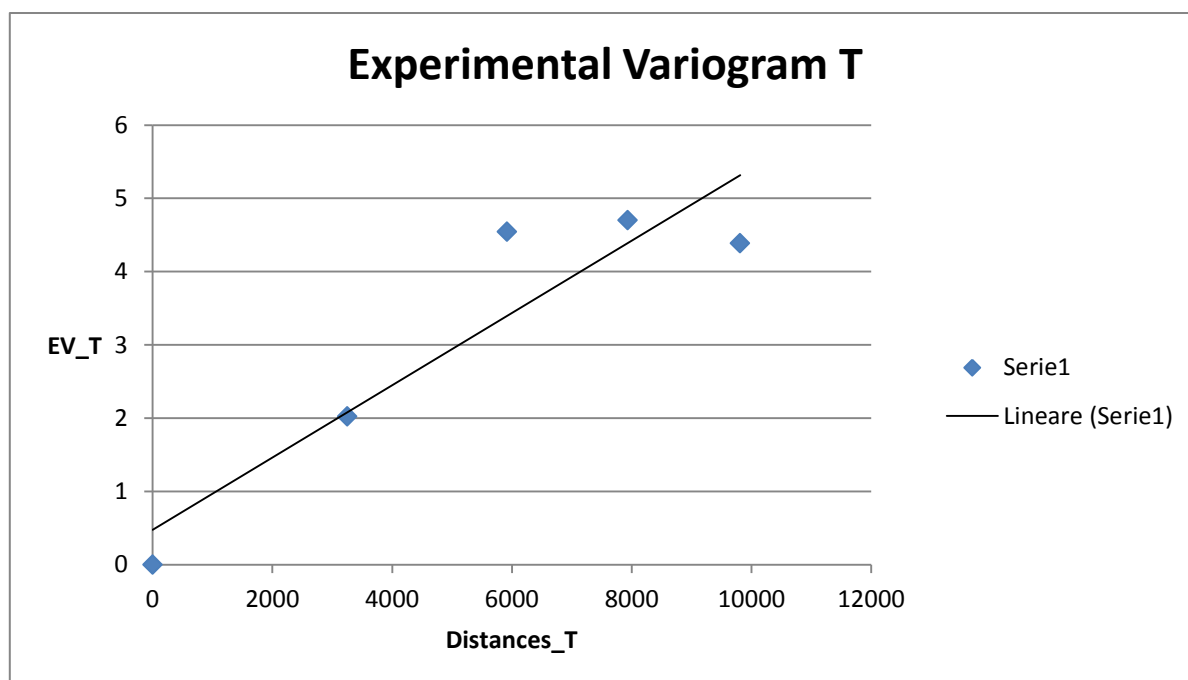


Fig.31 – semivariogramma sperimentale temperature

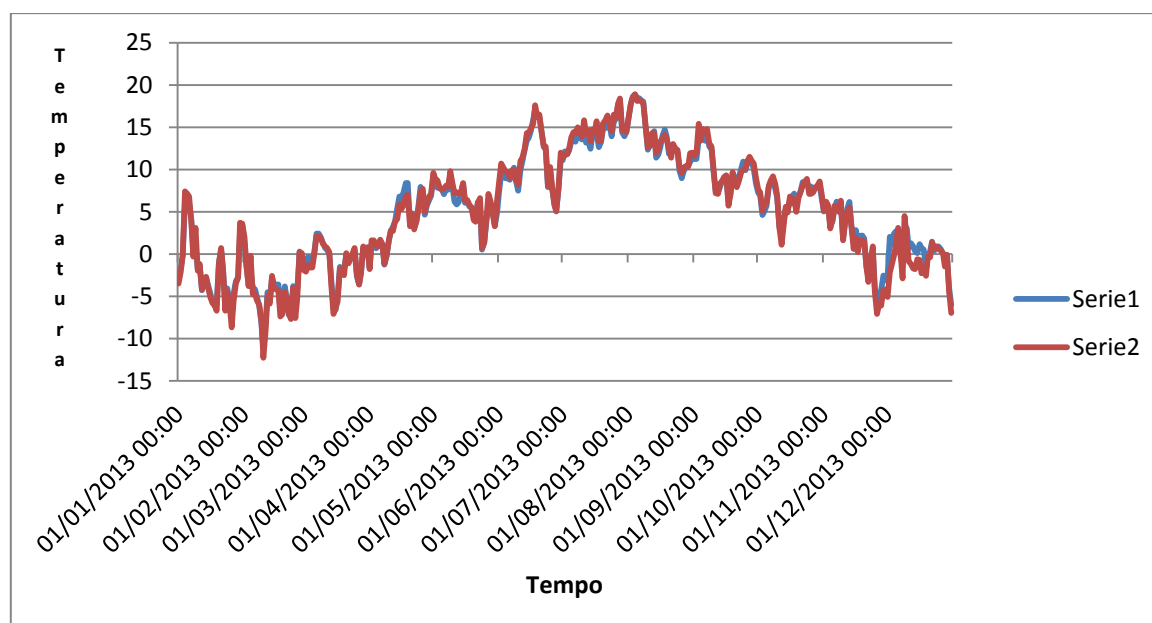


Fig.32 - confronto tra valori reali e valori ricalcolati con leave_one_out

Anche in questo caso, come nel caso delle precipitazioni si ottengono deviazioni tra i due andamenti in alcuni punti, ma il risultato è globalmente corretto. Questa volta, a causa dell'andamento circa continuo delle temperature nelle diverse stagioni si è scelto di utilizzare un grafico a linee che mettesse in evidenza tale particolarità.

Utilizzando il comando `kriging_raster` è stato possibile ottenere delle mappe in formato raster, successivamente analizzate tramite il software Qgis, che indicassero i valori di temperature e precipitazioni presenti all'interno del bacino considerato. A tali mappe sono state sovrapposte le posizioni dei centroidi.

A causa dell'enormità di tempo richiesto dall'esecuzione di tale comando all'interno della console OMS si è deciso di utilizzare come lasso di tempo un intervallo indicativo di una giornata, ossia dal 01/01/2013 alle ore 00:00 al 02/01/2013 alle ore 00:00.

Di seguito si riportano le mappe raster relative a precipitazioni e temperature.

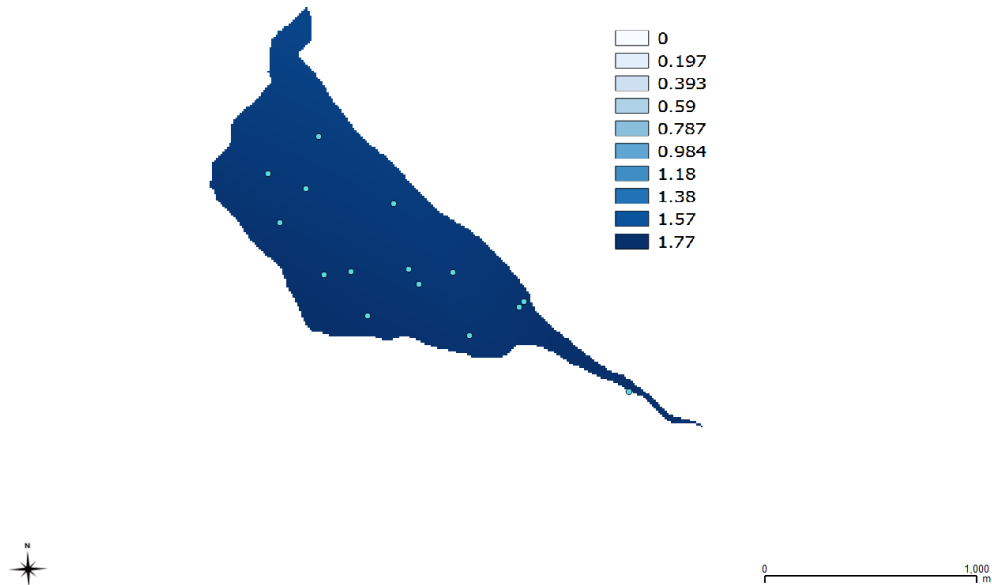


Fig.33 – mappa raster precipitazioni

Come si può notare le precipitazioni sono circa costanti in data 01/01/2013 su tutta la superficie del bacino, data la ristretta superficie in esame (circa 1.5 km^2).

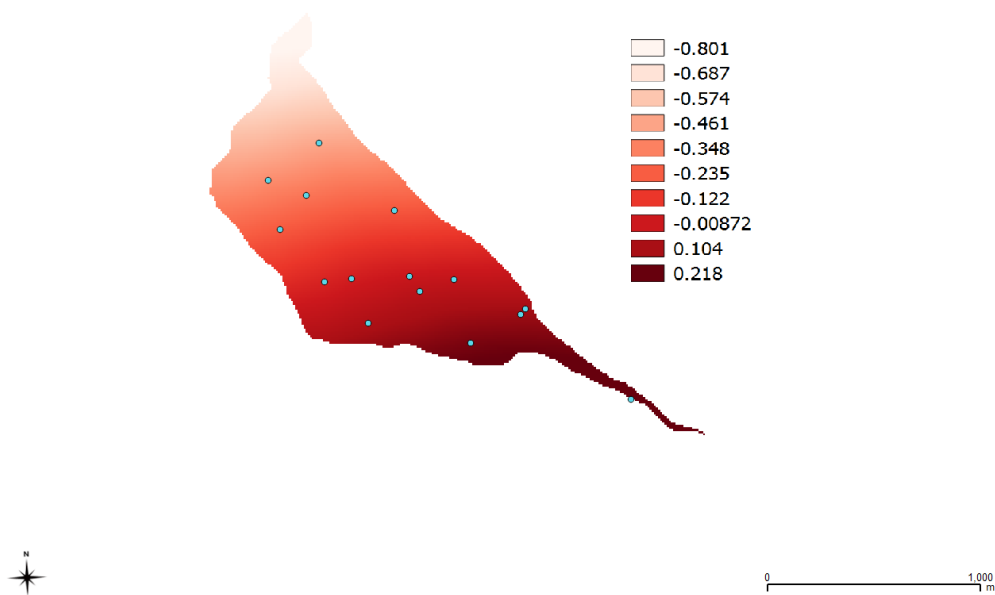


Fig.34 – mappa raster temperature

Si nota come risalendo il bacino, e quindi aumentando la quota, il valore di temperatura decresca, coerentemente con le aspettative, passando dai 0.2°C delle zone più basse ai -0.8°C delle zone più elevate.

Le temperature così basse sono determinate dalla quota, si va infatti dai 650 m s.l.m. del punto di chiusura del bacino ai 1400 m s.l.m. circa dei punti più elevati del bacino stesso) ma soprattutto dalla data del monitoraggio, il 01/01/2013.

Equazioni di Richards

Elementi di teoria

Le equazioni di Richards sono equazioni differenziali alle derivate parziali di conservazione della massa per i suoli; permettono di determinare il valore della pressione all'interno del dominio considerato.

L'espressione di Richards è: $\frac{\partial \Psi}{\partial t} = \frac{\nabla K}{c} \nabla z + \frac{\nabla K}{c} \nabla \Psi + \frac{K}{c} (\nabla^2 (z + \Psi))$, dove:

- i. K è la conducibilità idraulica
- ii. C è la capacità idraulica del suolo
- iii. Ψ è la suzione
- iv. z è la coordinata della profondità

L'equazione di Richards, per essere risolta, necessita della conoscenza delle condizioni al contorno, delle condizioni iniziali e di alcuni parametri che regolano il fenomeno.

Le condizioni al contorno possono essere di due tipi:

- i. Condizione al contorno di Dirichlet: si impone valore della funzione (pressione sull'area in esame)
- ii. Condizione al contorno di Neumann: si impone il valore del flusso e quindi l'andamento della suzione con la profondità.

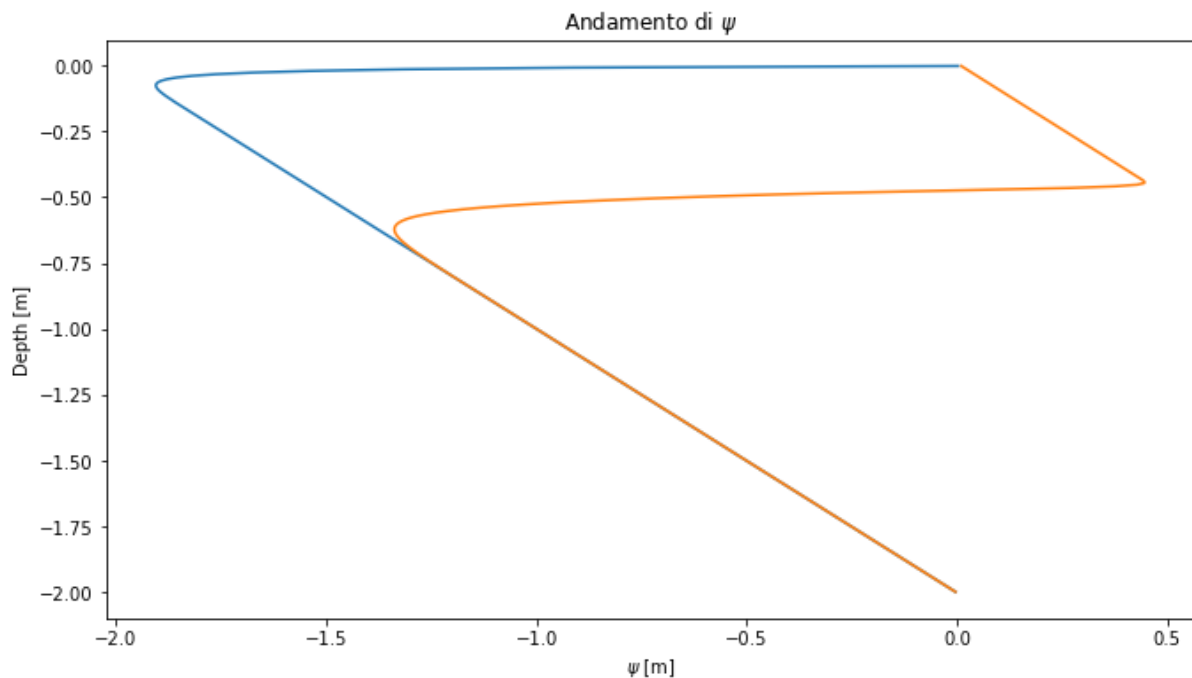
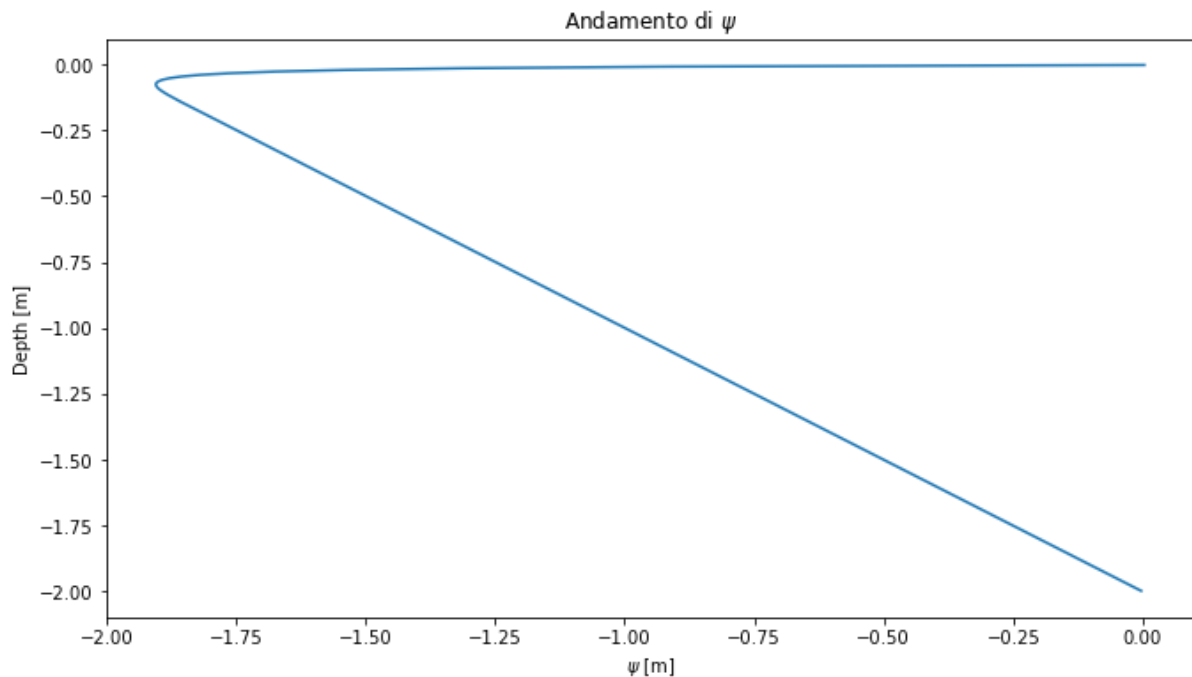
Se si considera solo la coordinata z, l'equazione di Richards diventa: $\frac{\partial \Psi}{\partial t} = \frac{K}{c} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2}$

Questo caso rappresenta una semplificazione, ossia una trattazione monodimensionale (1D), che considera il moto solo in profondità e non lateralmente.

L'equazione di Richards può essere risolta in modo analitico solo in alcuni casi; generalmente si ricorre alla soluzione mediante metodi numerici.

Risultati elaborazioni

Caso sabbia



Dal grafico presente in fig.36 si nota come l'acqua nel corso del tempo abbia cominciato ad avanzare all'interno della zona di studio. Nel grafico successivo, fig.41, viene rappresentata l'evoluzione del fenomeno, che segna un ulteriore avanzamento dell'acqua verso il basso, nel tempo.

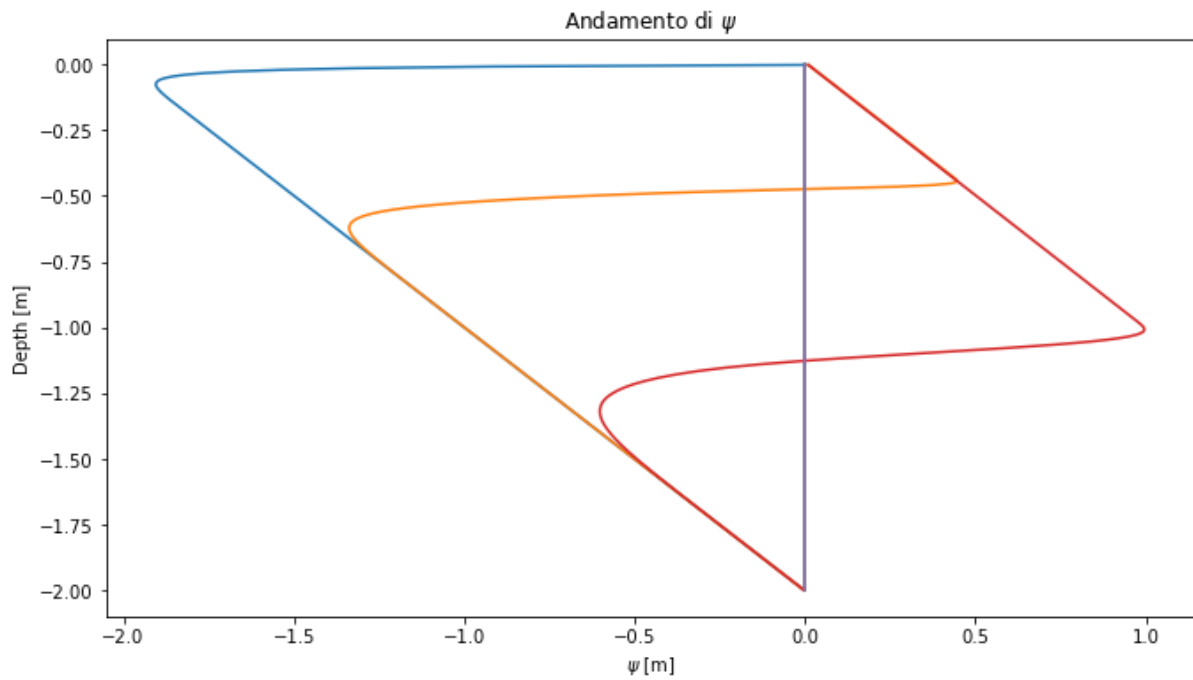


Fig.37 – andamento al variare del tempo

La linea viola in fig.37 individua la condizione idrostatica.

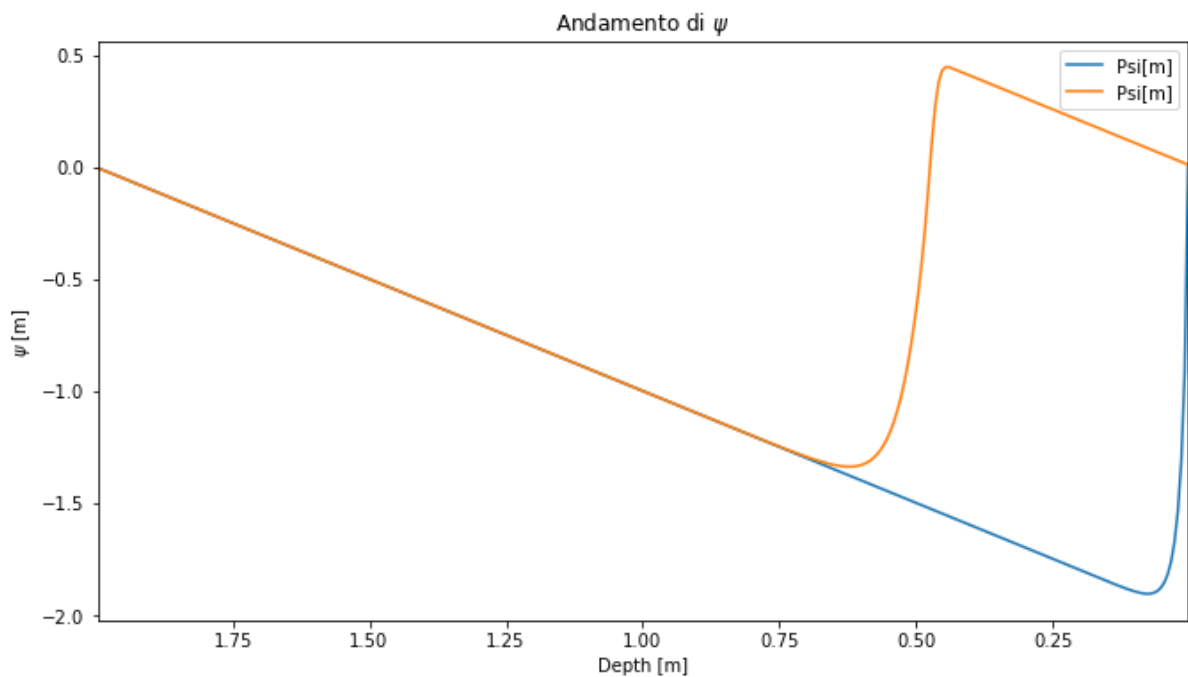


Fig.38 – variazione di Psi nel tempo

Il grafico in fig.38 evidenzia l'abbassamento dell'acqua all'interno della zona di studio al variare del tempo.

In fig.39 è rappresentato l'andamento del contenuto d'acqua al variare della profondità. Anche in questo caso si ha che l'andamento riflette l'assorbimento dell'acqua da parte del suolo.

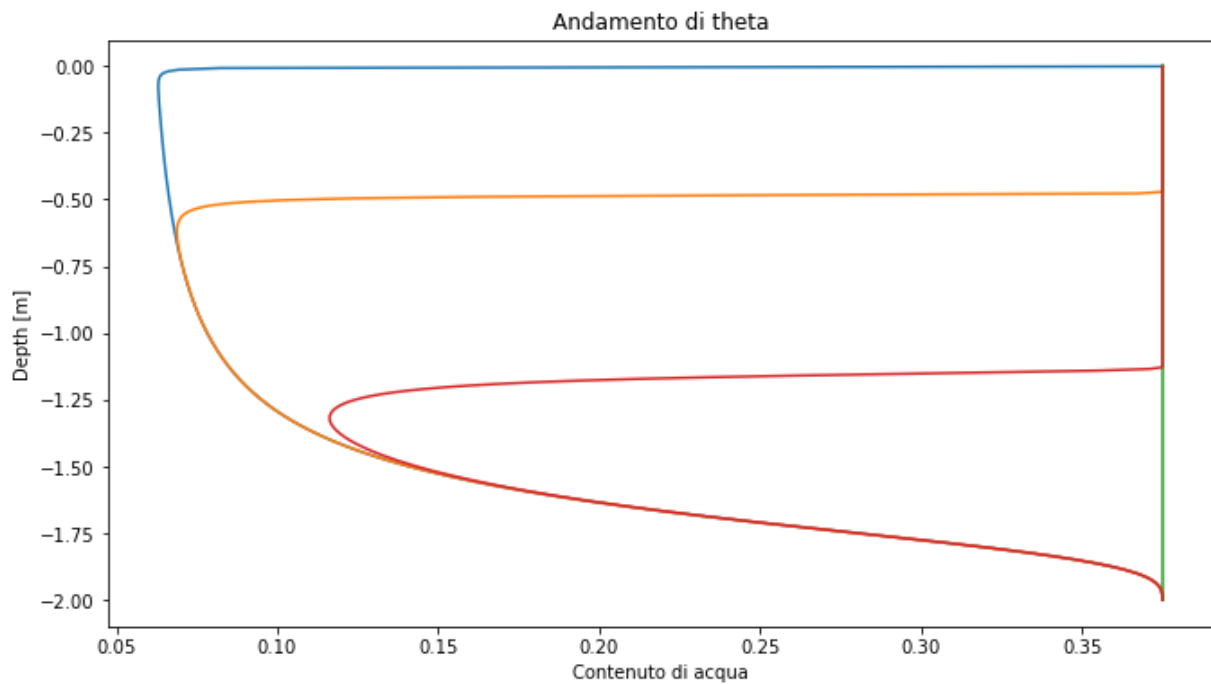


Fig.39 – andamento del contenuto d'acqua

Caso limo

Il limo è caratterizzato da valori di conducibilità idraulica inferiori rispetto alla sabbia; di conseguenza l'avanzamento dell'acqua all'interno del suolo sarà più lento.

Le condizioni iniziali nel caso dal limo sono analoghe al caso della sabbia.

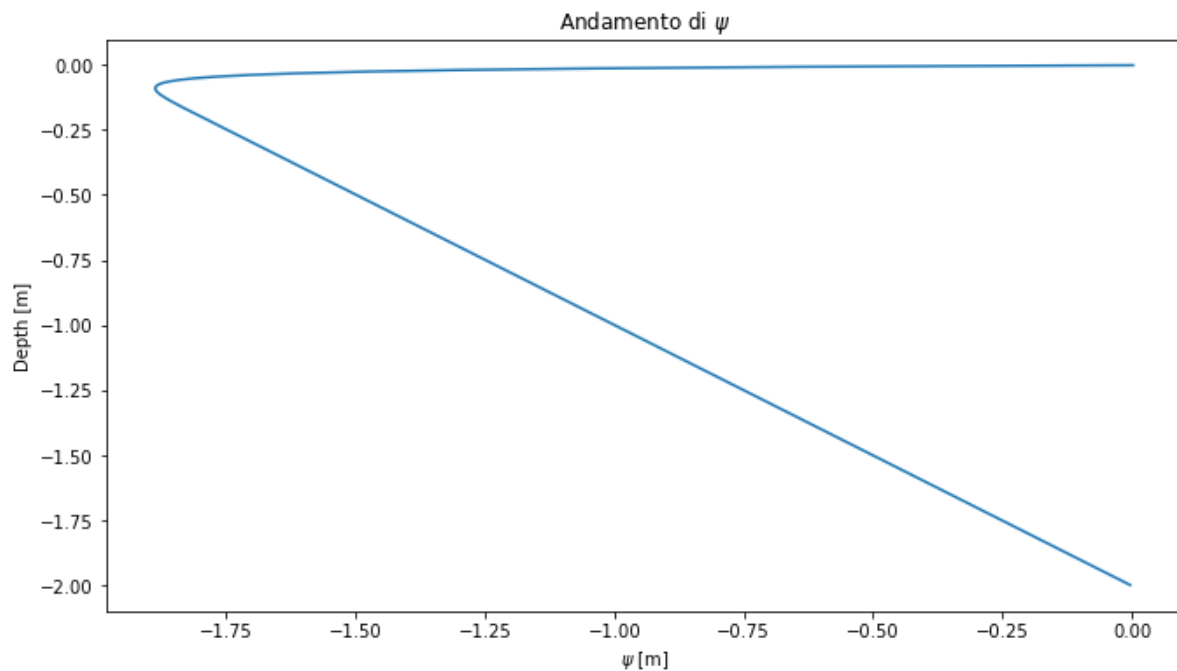


Fig.40 – condizioni iniziali limo

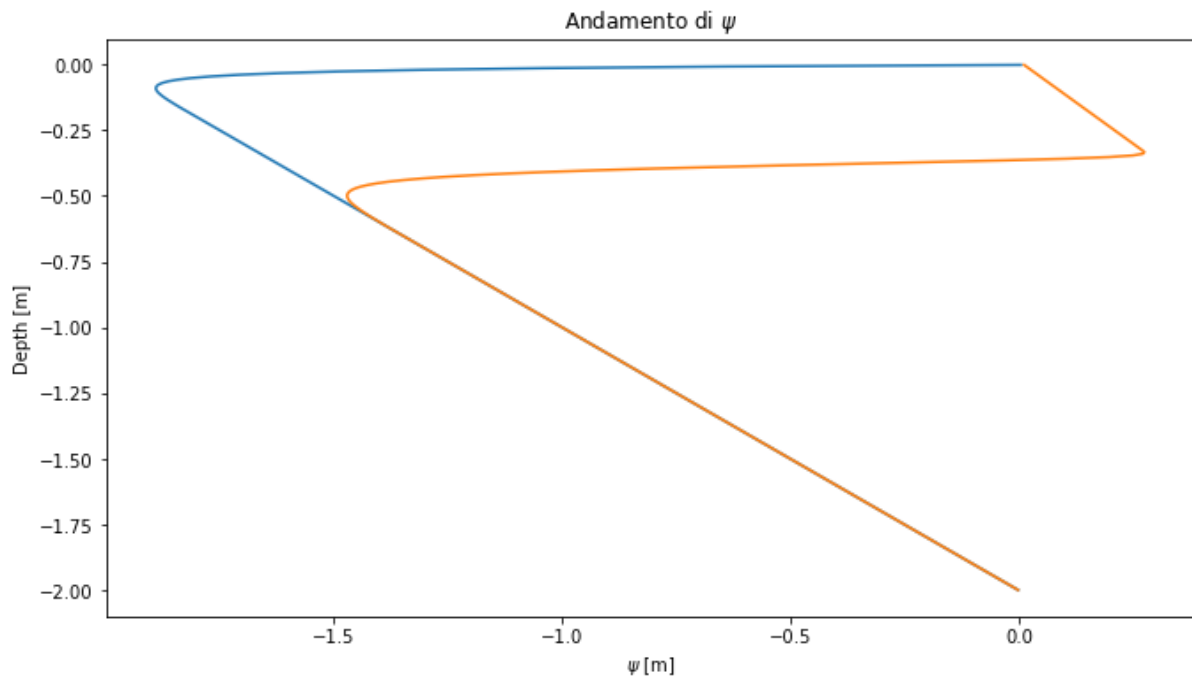


Fig.41 – condizioni dopo 13 giorni

In fig.41 si nota la condizione dopo 13 giorni; se tale grafico viene confrontato all'analogo grafico nel caso della sabbia, è possibile osservare la maggiore lentezza dell'acqua nel caso del limo, dovuta, come detto in precedenza, ad un differente valore di conducibilità idraulica.

Il grafico successivo rappresenta l'andamento al crescere del tempo.

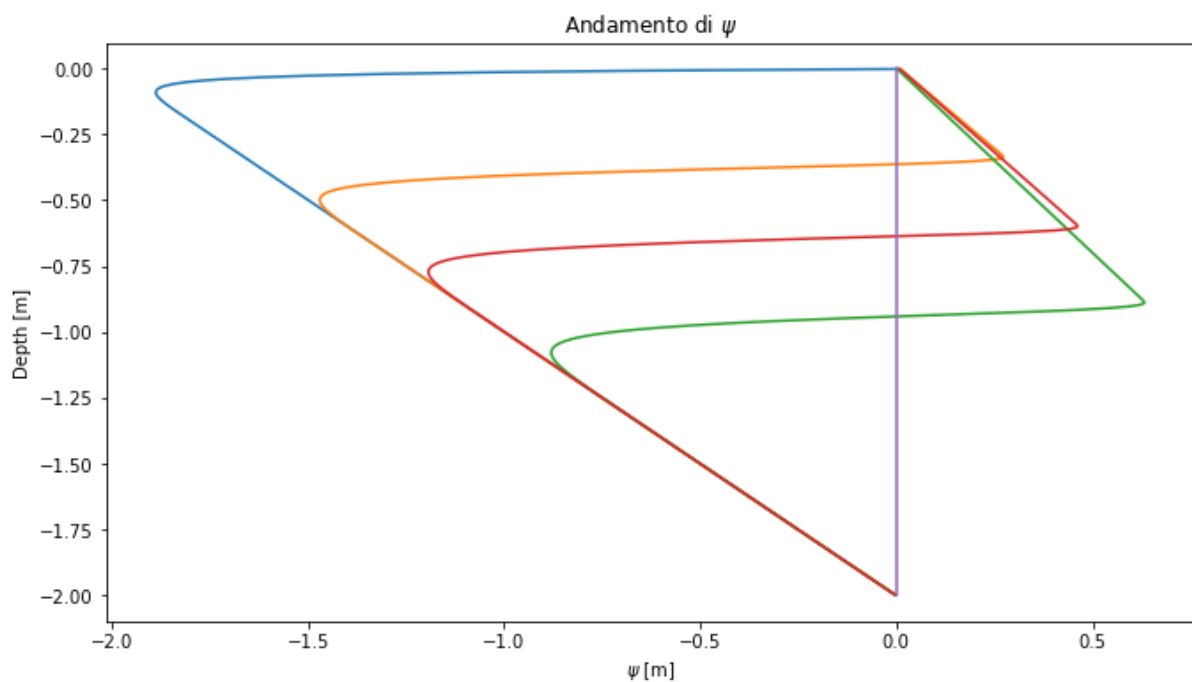


Fig.42 – andamento al variare del tempo

Di seguito si riportano i grafici relativi agli andamenti di Psi e Theta.

In fig. 42 si può notare che per valori positivi di pressione le curve seguono andamenti lineari che tuttavia non sono uniformi tra loro; questo può essere dovuto ad un errore nel notebook-python.

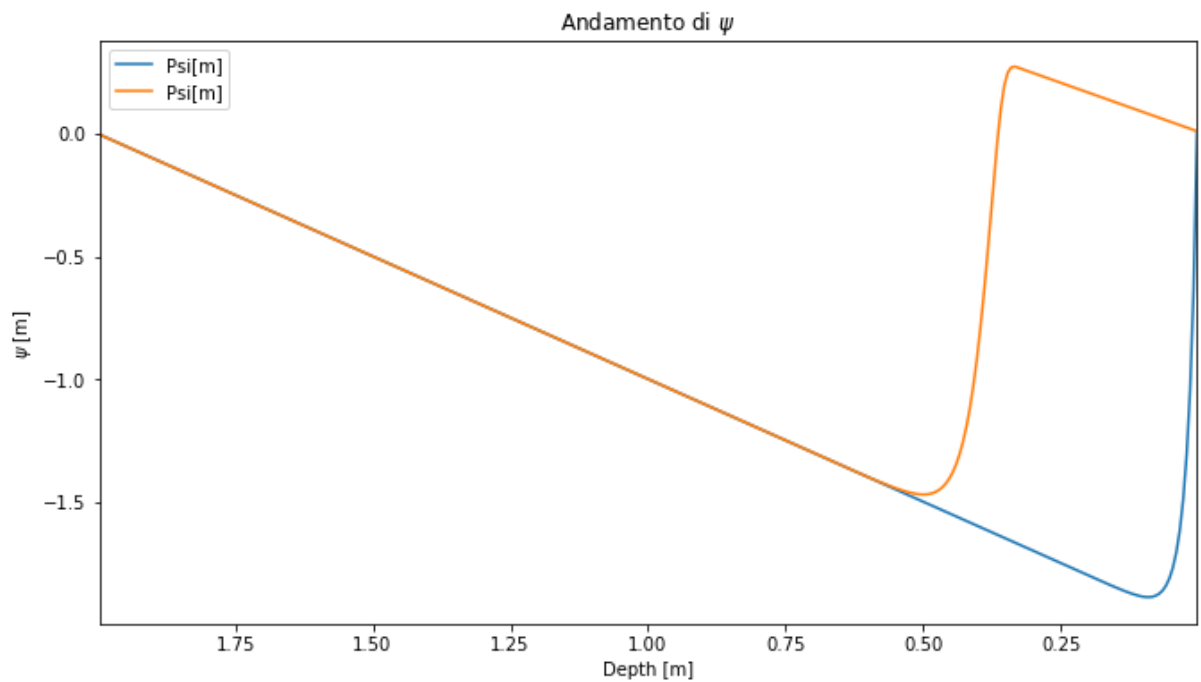


Fig.43 – variazione di Psi nel tempo

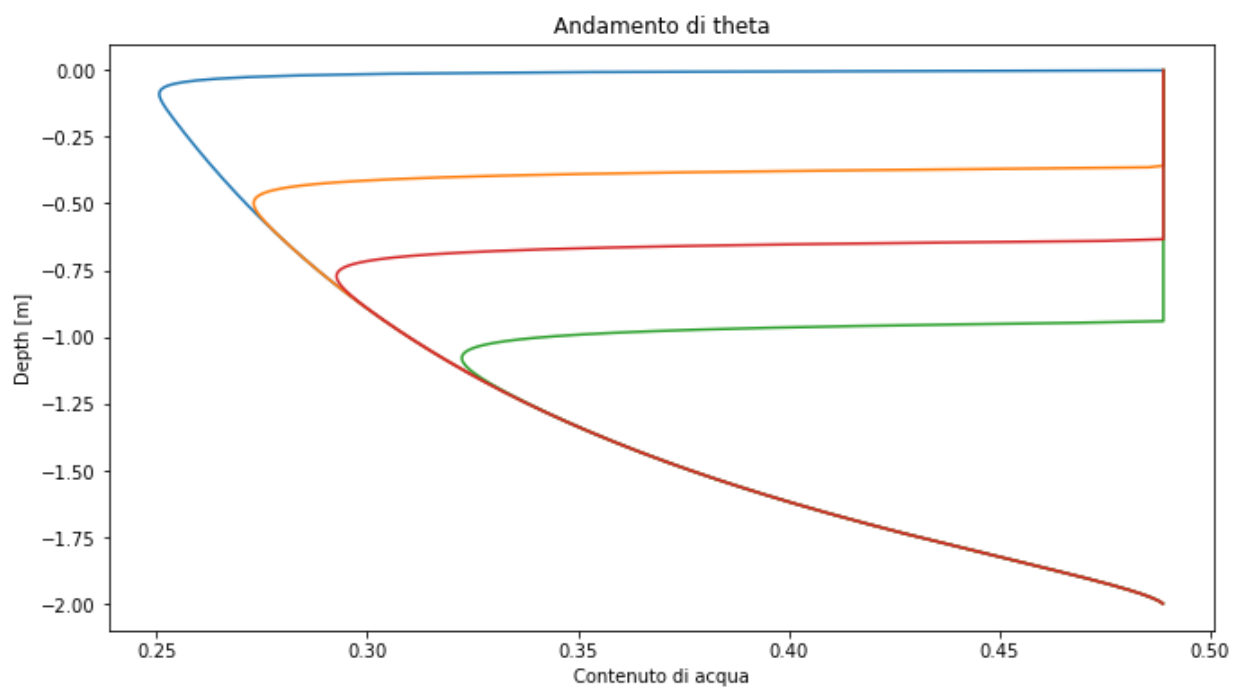


Fig.44 – andamento del contenuto d'acqua

Caso argilla

L'argilla è caratterizzata da valori molto bassi di conducibilità idraulica; tale aspetto determina la forma dei grafici di seguito rappresentati.

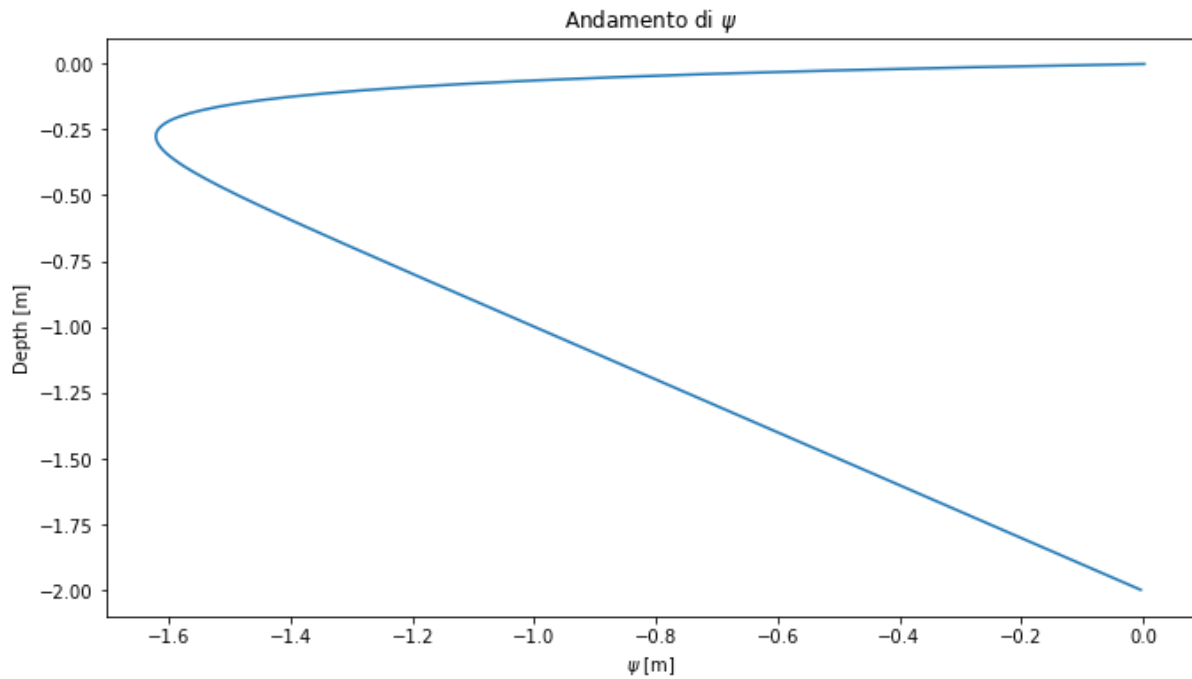


Fig.45 – condizioni iniziali argilla

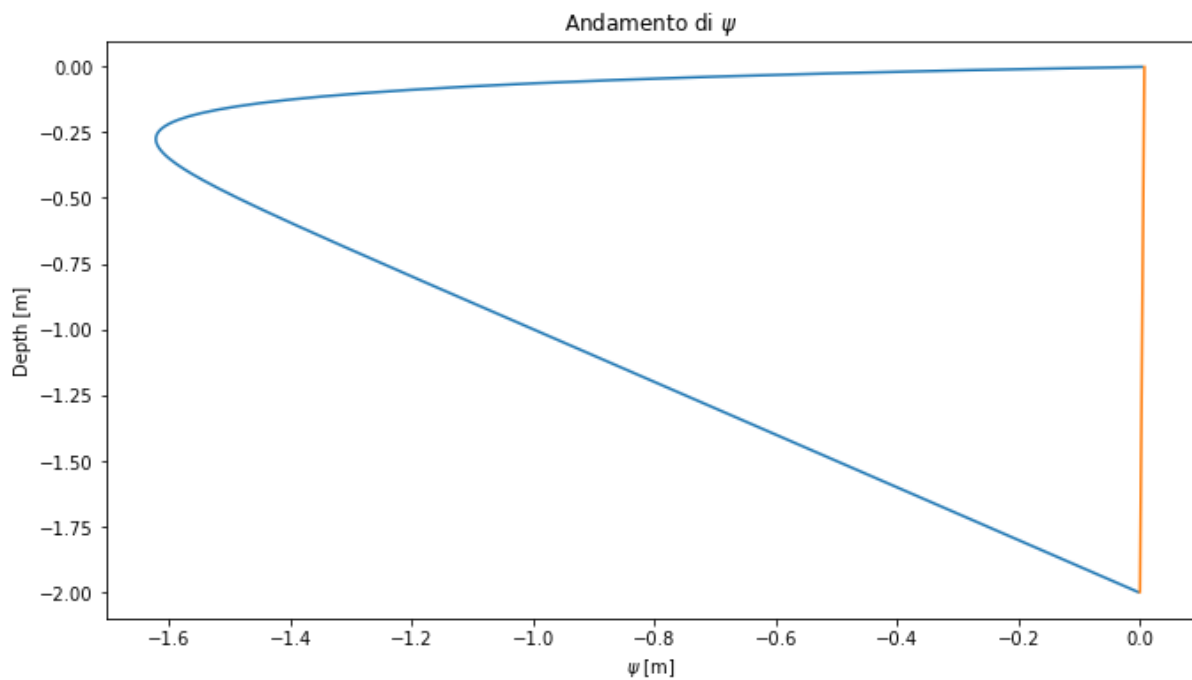


Fig.46 – condizioni dopo 13 giorni

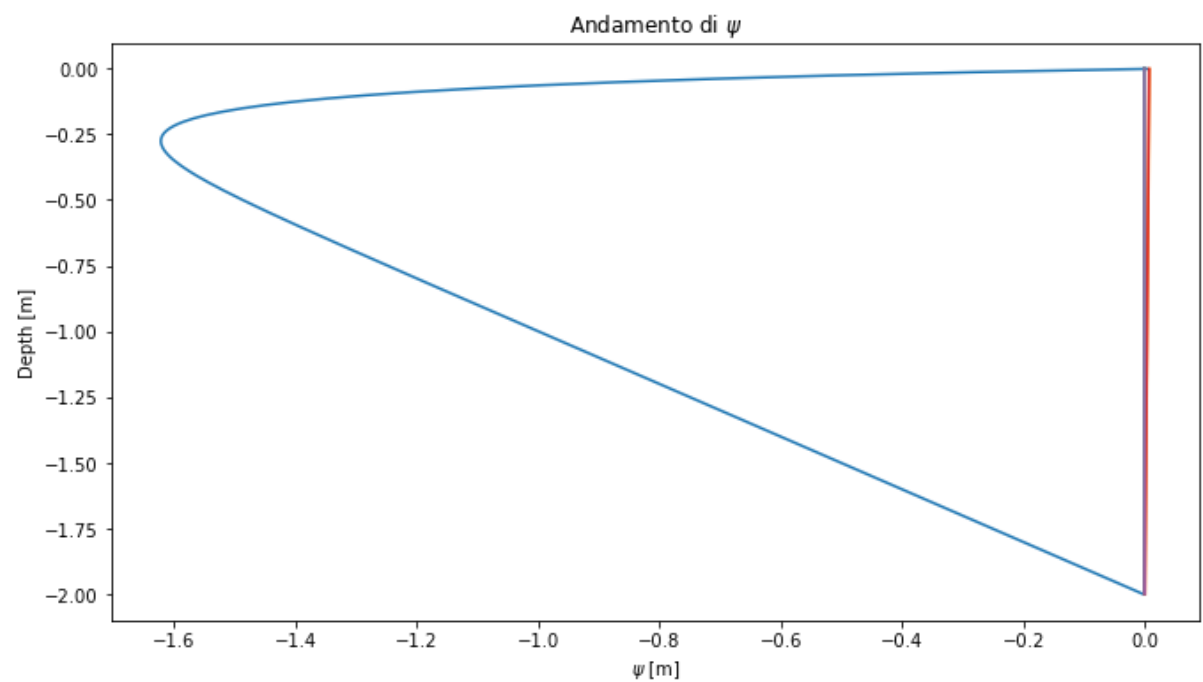


Fig.47 – andamento al variare del tempo

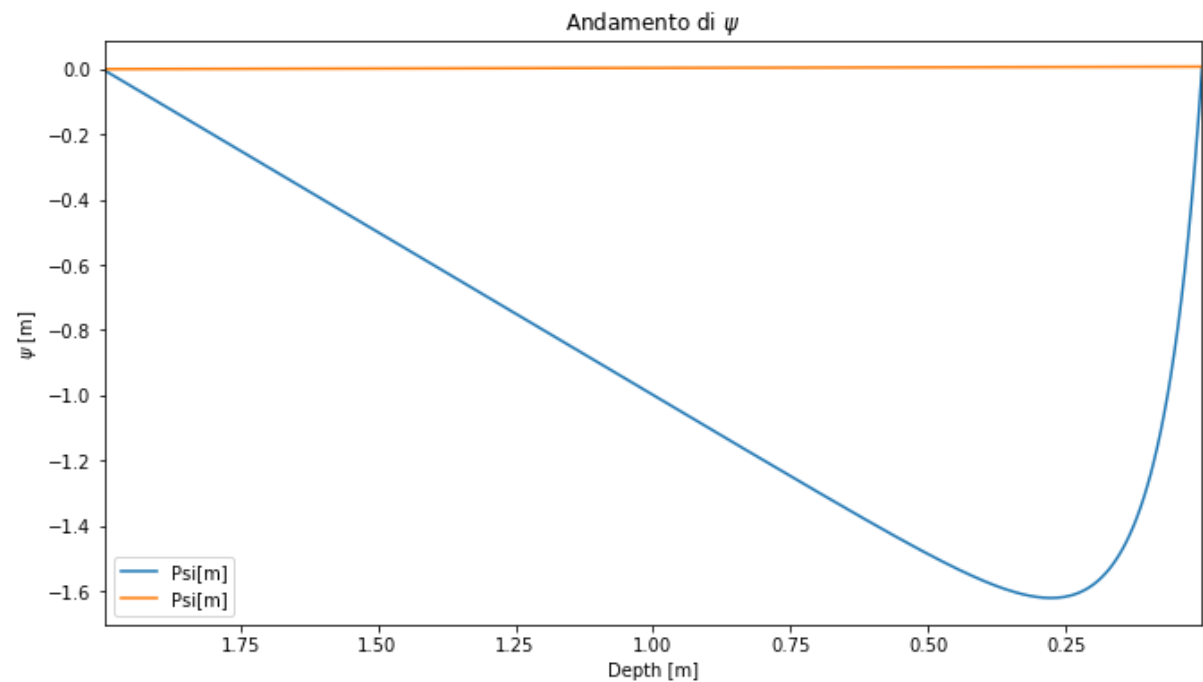


Fig.48 – variazione di Psi nel tempo

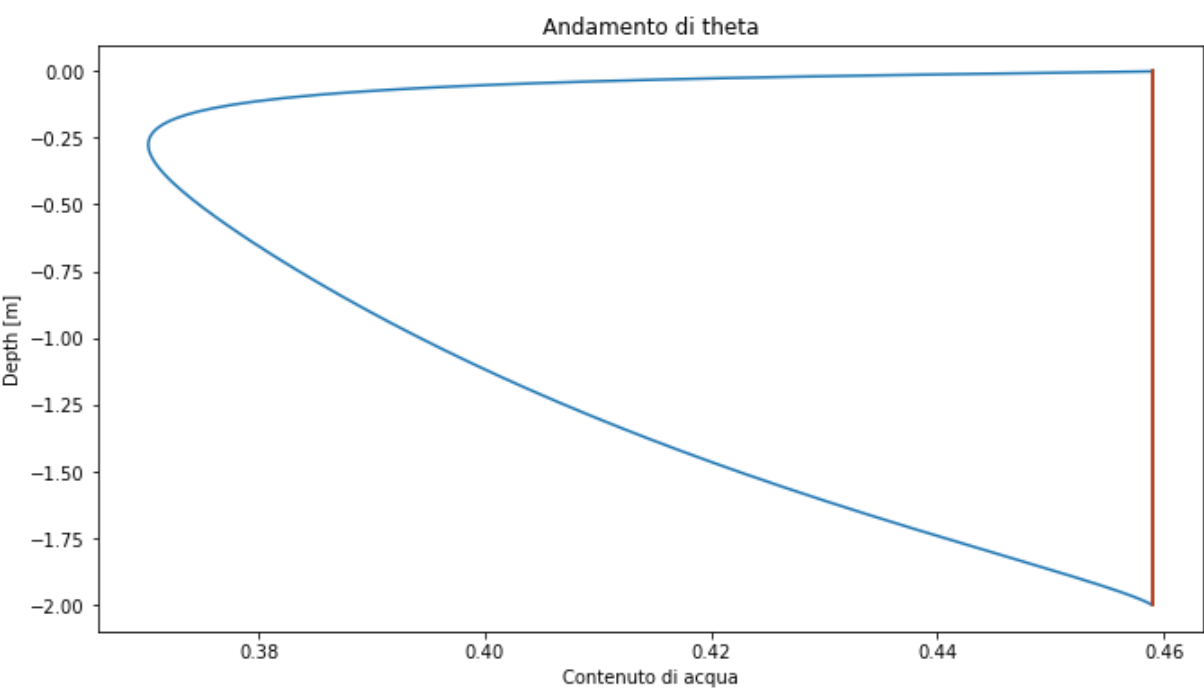


Fig.49 – andamento del contenuto d’acqua

Esperimento di Casulli

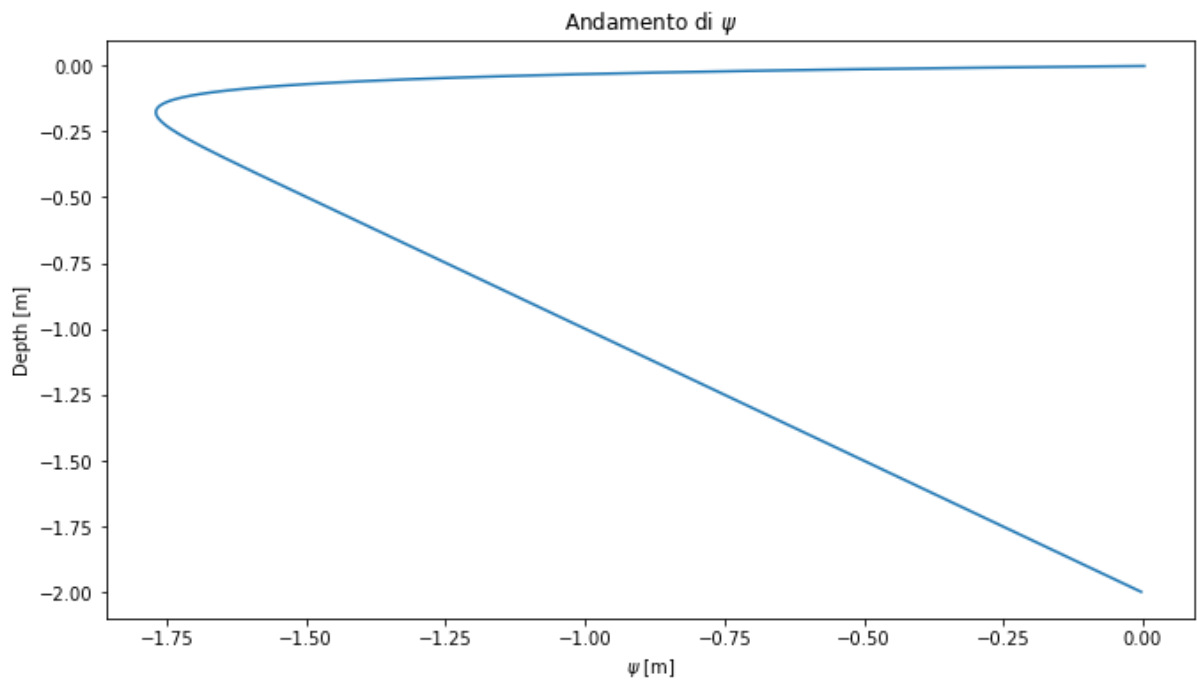


Fig.50 – condizioni iniziali Casulli

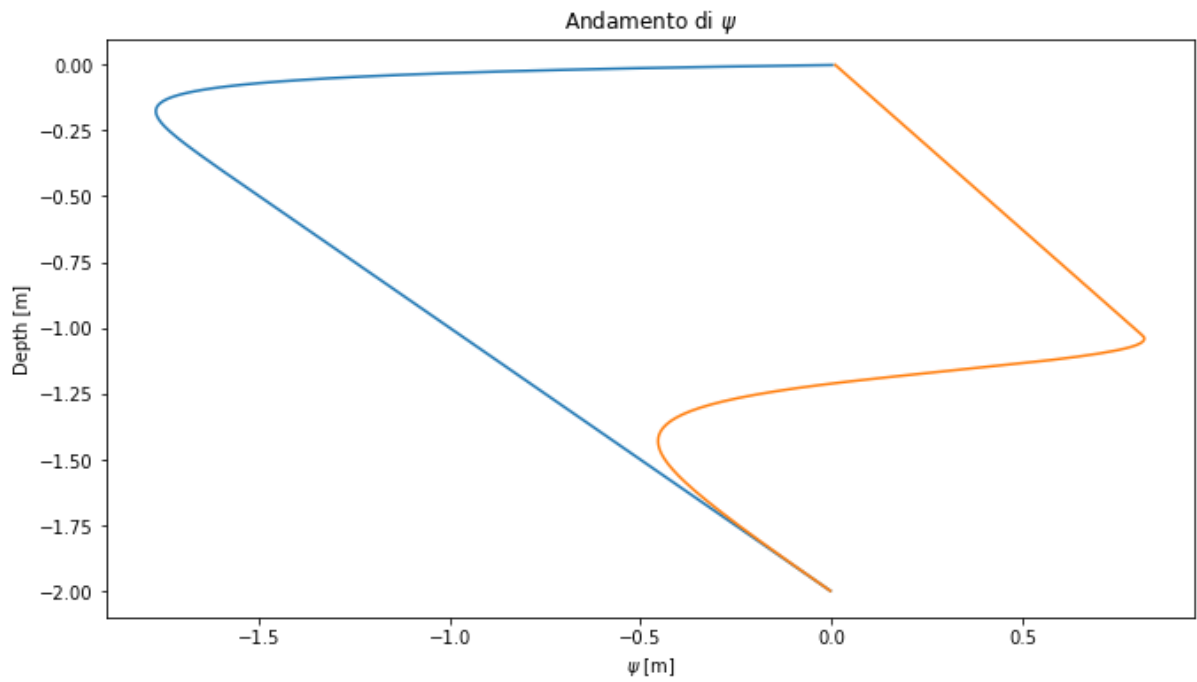


Fig.51 – condizioni dopo 13 giorni

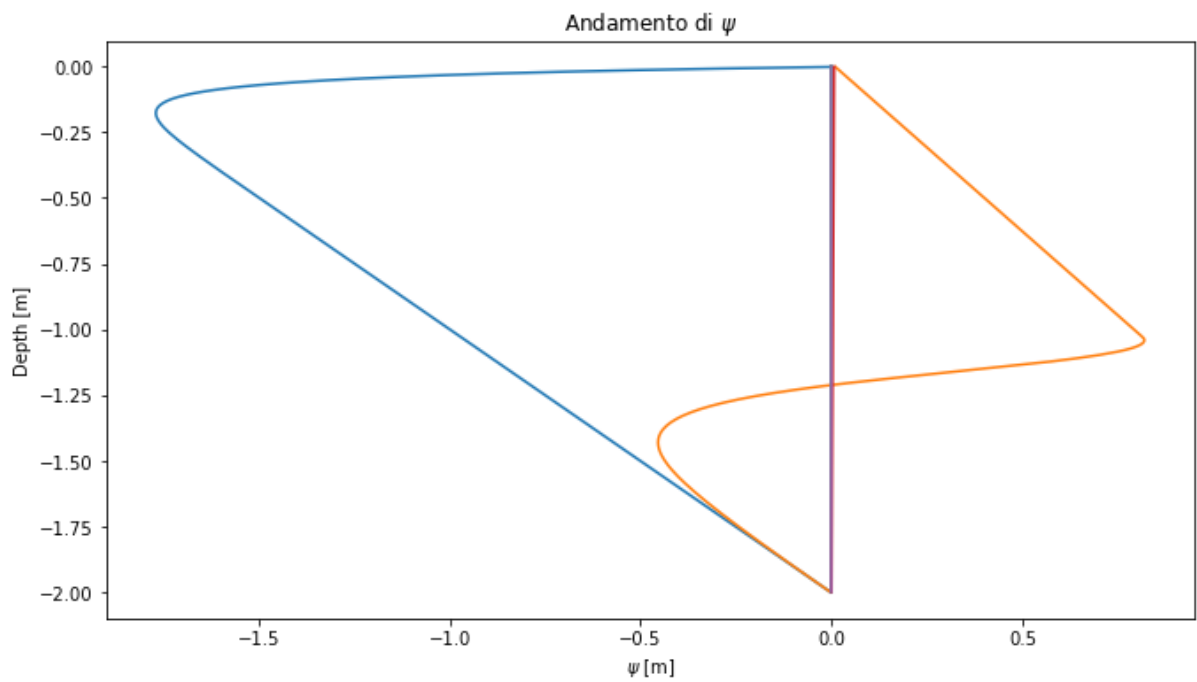


Fig.52 – andamento al variare del tempo

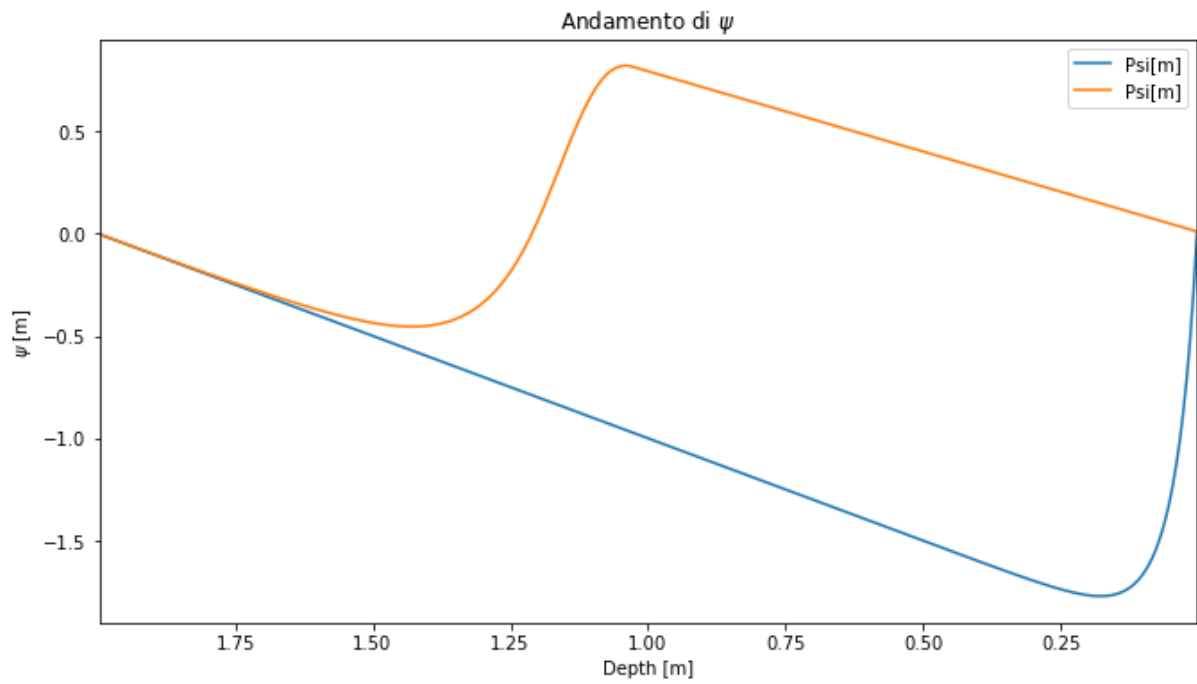


Fig.53 – andamento di Psi al variare del tempo

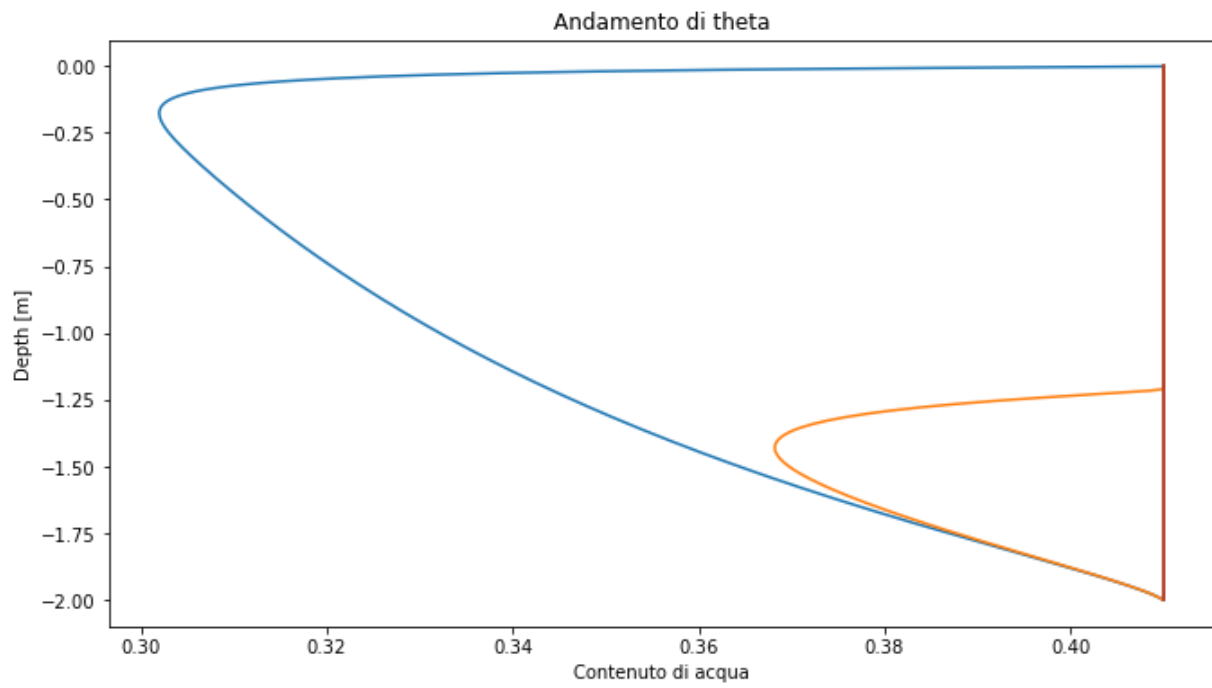


Fig.54 – andamento di Psi al variare della profondità

Analisi Radiazione

Scopo del lavoro è l'analisi in termini di radiazione di un centroide scelto tra quelli nella zona del Rio Val dei Schivi. I dati utilizzati per ricavare il grafico relativo alla radiazione SWRB (radiazione ad onde corte) sono stati ottenuti da OMS, inserendo in input le quote dei centroidi, la mappa skyview e l'output relativo al kriging_point delle temperature. I grafici sono stati realizzati con Excel.

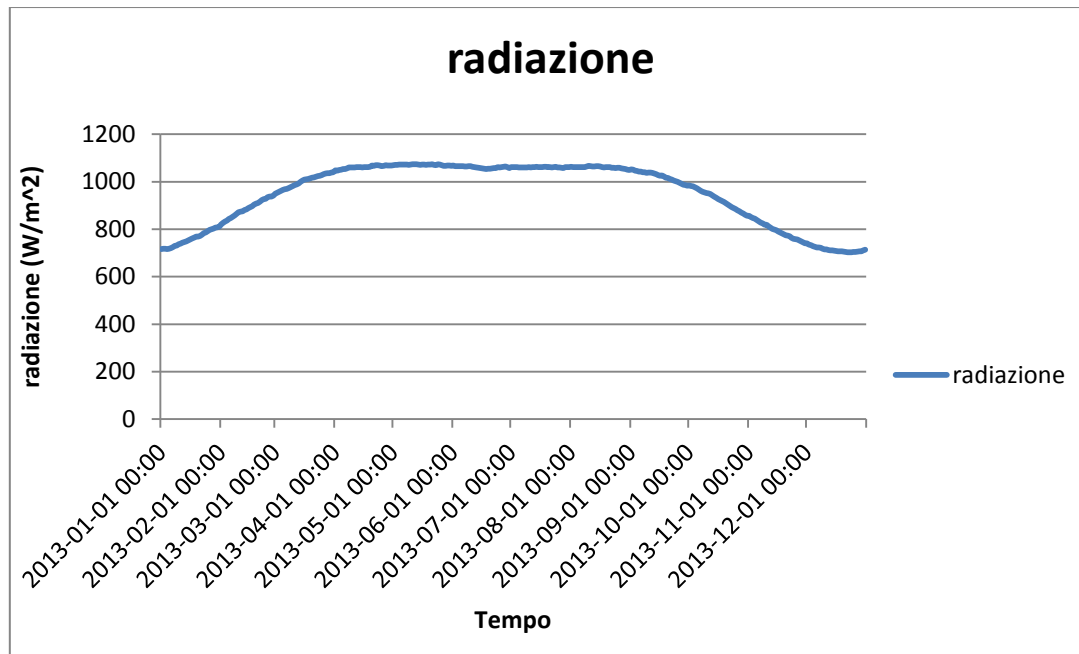


Fig.55 – andamento SWRB

In fig.55 è rappresentato il grafico della radiazione ad onde corte. Come è logico attendersi i massimi si hanno nel periodo estivo, nel momento in cui si registrano infatti i massimi di temperatura.

Di seguito vengono rappresentati gli andamenti nel corso dell'anno considerato di Upwelling (radiazione emessa dal suolo verso l'atmosfera), Downwelling (radiazione diretta dall'atmosfera verso il suolo) e Net Radiation (radiazione netta ottenuta dal bilancio radiativo tra la quantità di energia che arriva al suolo e la quantità che da questo viene riemessa).

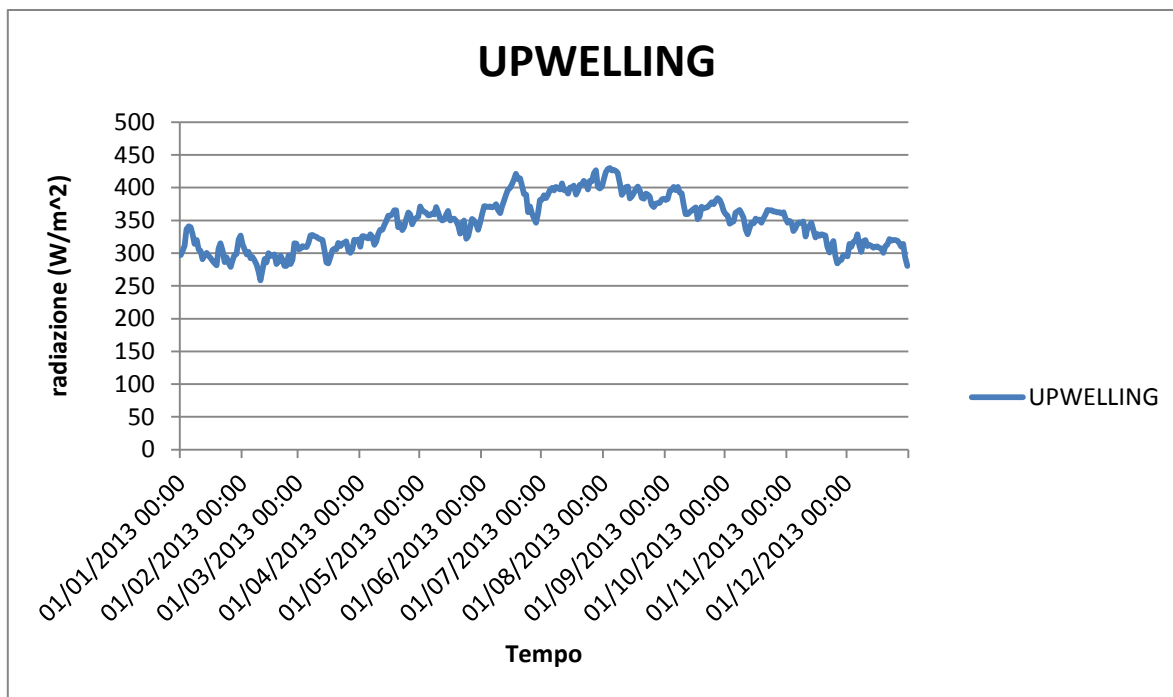


Fig.56 – upwelling

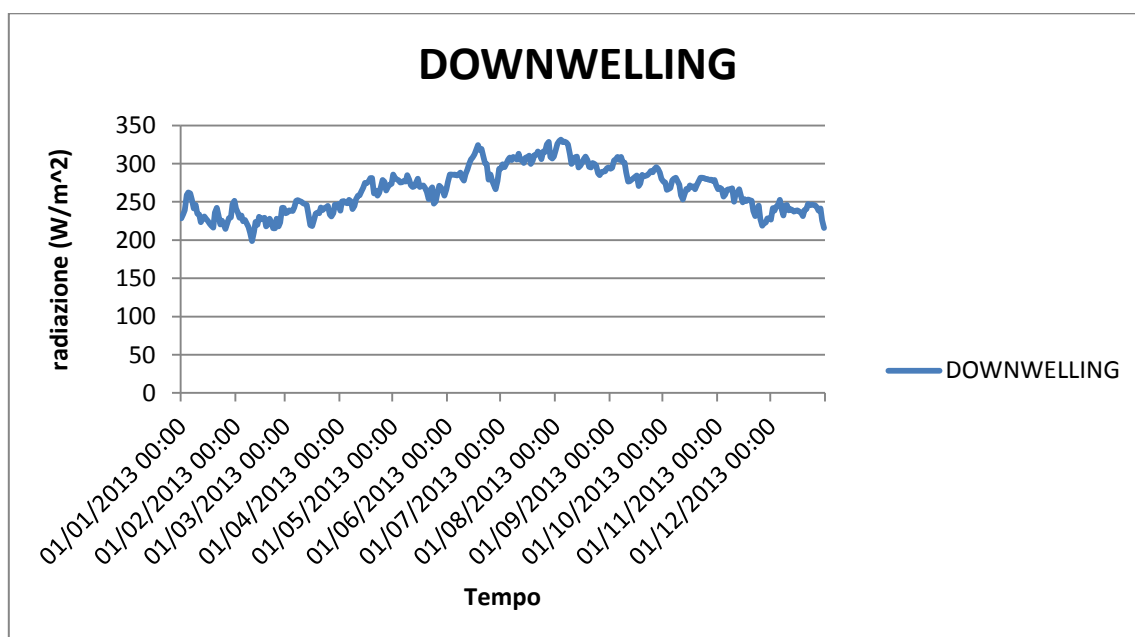


Fig.57 – downwelling

Inserendo in input (al sim file NETRAD su OMS) radiazione, upwelling e downwelling, calcolati precedentemente, si ottiene il grafico relativo all'andamento della radiazione netta.

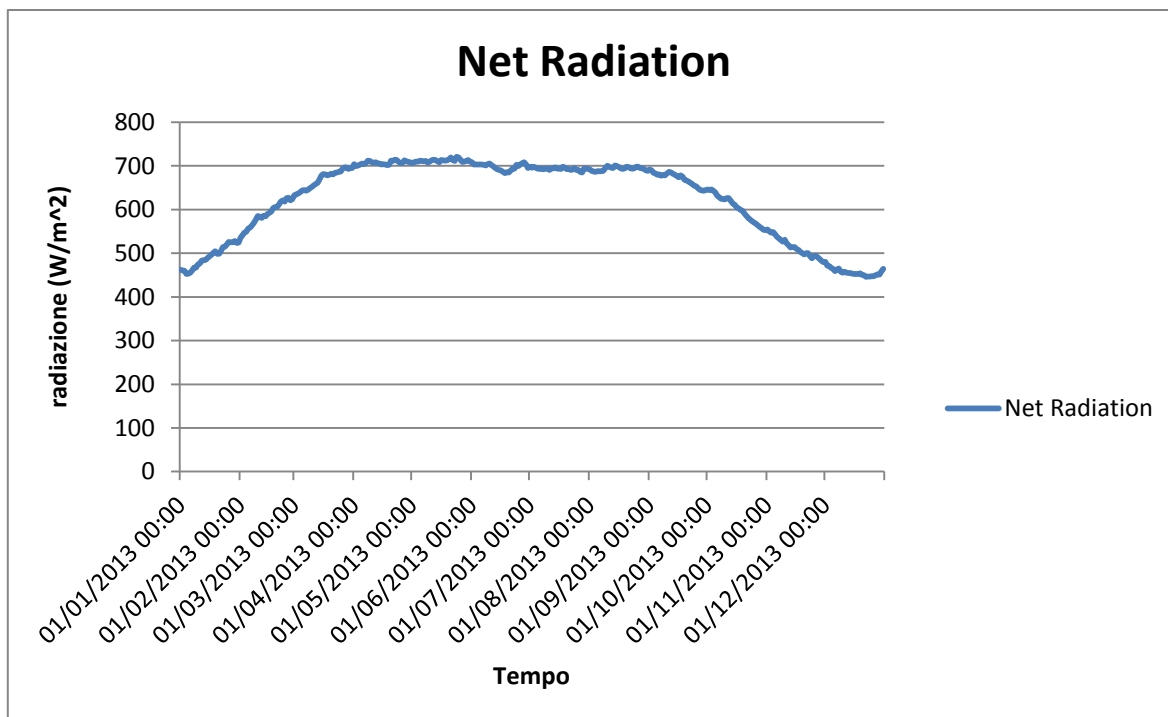


Fig.58 – andamento della radiazione netta

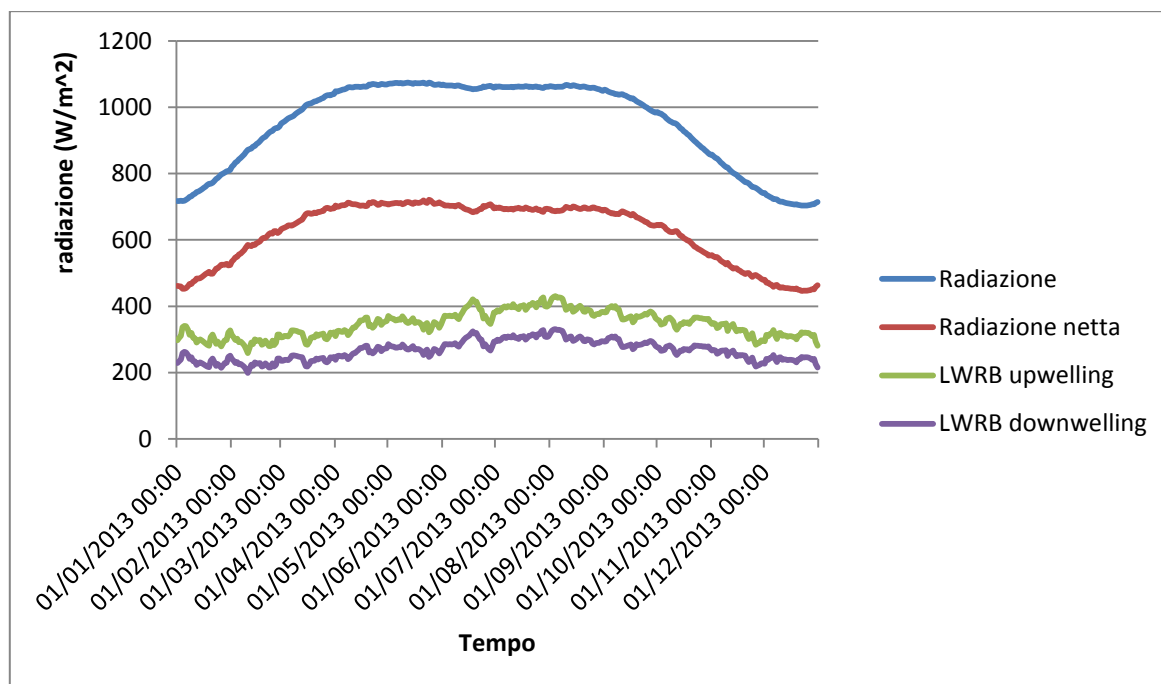


Fig.59 – grafico di confronto

Nel grafico precedente sono riportati i grafici ottenuti grazie ai sim file. In particolare si nota come l'upwelling sia maggiore del downwelling; questo è possibile perché nella trattazione del problema si è ipotizzata la assenza di nuvole che, se presenti, rimettono una certa frazione di radiazione verso la terra.

Analisi evapotraspirazione

Con il termine evapotraspirazione si intende la somma di 2 contributi: evaporazione e traspirazione.

L'evaporazione è il passaggio dell'acqua dalla fase liquida a quella gassosa da parte di suoli o acque superficiali, mentre la traspirazione consiste nello stesso fenomeno originato però da piante e animali, allo scopo di mantenere l'equilibrio termico tra l'interno e l'esterno dell'organismo. L'evapotraspirazione (ET) è quindi un processo di evaporazione, che corrisponde ad una reazione endoergonica, richiedente energia (solare) per poter avvenire.

I quattro fattori più importanti che influenzano l'evapotraspirazione sono:

- Acqua (qualità, quantità, estensione e profondità);
- Energia, misurata attraverso la Temperatura (apporto di radiazione solare);
- Gradiente di tensione di vapore;
- Vento (favorisce i fenomeni di evapotraspirazione grazie al regime turbolento presente ad una certa distanza dal suolo).

Di seguito si riportano i grafici relativi all'evapotraspirazione calcolati in un sottobacino tramite la formula empirica di Priestley-Taylor.



Fig.60 - evapotraspirazione

Il grafico riportato in fig.60, realizzato a partire dai valori di temperatura media e di radiazione netta, riporta un andamento oscillante, che è caratterizzato da valori massimi nel periodo estivo (luglio, agosto, settembre) e da valori minimi invernali.

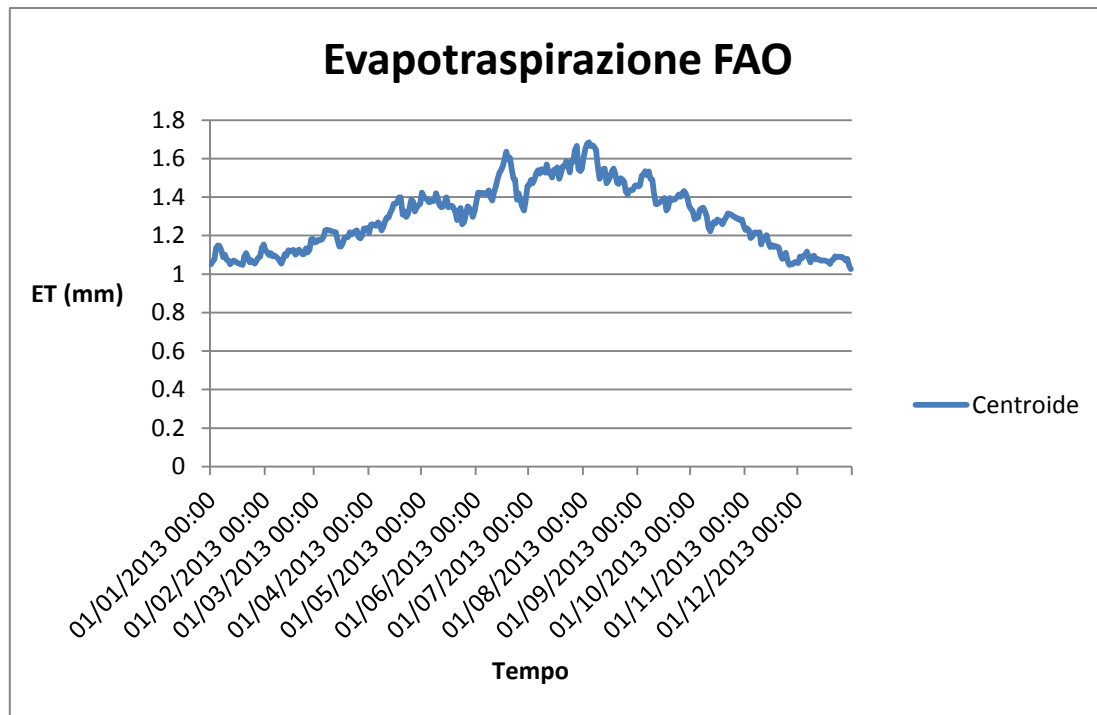


Fig.61 – evapotraspirazione FAO

Il grafico in fig.61 mostra invece il risultato dell'evapotraspirazione calcolato con la modalità FAO. La FAO (Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura) ha infatti introdotto un proprio sistema (ottenuto riadattando altre teorie) per il calcolo dell'ET a scopi agricoli.

L'andamento è analogo a quello evidenziato in fig.60, con valori massimi estivi e minimi invernali.