



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

Dipartimento di Ingegneria Civile
e Ambientale

Analisi dati stazioni metereologiche

Relazione di idrologia

Precipitazione, Kriging, radiazione, evapotraspirazione, infiltrazione

Anno accademico 2016/2017

Docente del corso: Riccardo Rigon



A cura di:

Cristian Brutto 172134

Roberto Cunego 172132

Maria Cristina Tilica 172205



Indice

Precipitazioni	4
Curve di Gumbel	4
Test di Pearson	4
Curve di possibilità pluviometrica	5
Kriging	6
Experimental semivariogram	6
Theoretical semivariogram	8
Leave one out	9
Kriging point	10
Radiazione	11
Skyview	11
SWRB	12
Clearness Index	12
LWRB	12
Net radiation	12
Evapotraspirazione	14
Modello Penman-Monteith FAO	14
Modello Priestley-Taylor	14
Infiltrazione	17
Cenni di teoria	17
Simulazioni di base	17
Argilla	19
Limo	20
Sabbia	21
Ghiaia	22
Variazioni	23
Ghiaia: Contenuto d'acqua a saturazione pari a 1	23
Sabbia: contenuto d'acqua a saturazione pari a 1	23
Condizione al contorno: Free Drainage	24
Condizione al contorno: Precipitazione a gradino	24
Bibliografia	26

Precipitazioni

In questa sezione verrà proposto un metodo per individuare le curve di possibilità pluviometrica a partire dai dati delle massime precipitazioni forniti dagli annali idrologici in base alla durata dell'evento, utilizzando anche l'analisi statistica.

Conoscendo i dati su un campione di più anni è possibile costruire la distribuzione delle piogge per ogni durata, ottenendo inoltre interessanti dati statistici (media, mediana, quartili, massimi, minimi...).

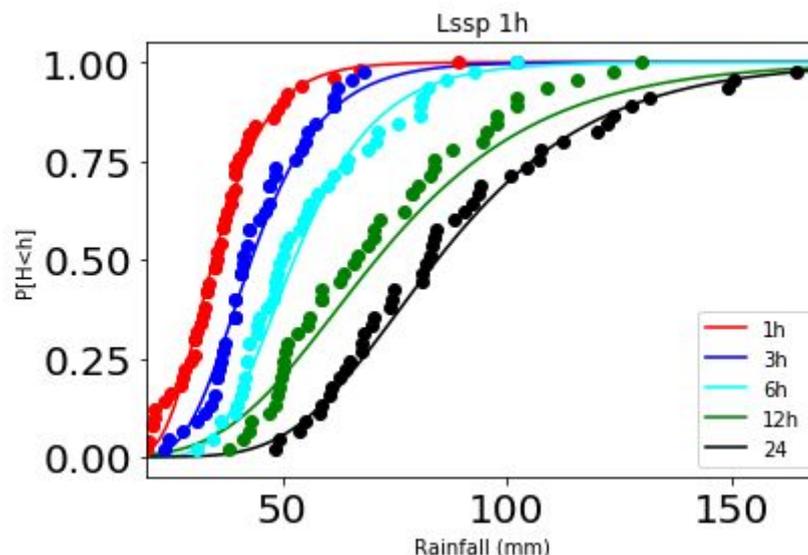
Curve di Gumbel

Ora è necessario scegliere in quale modo interpolare i dati degli annali; la scelta fatta è di utilizzare le curve di Gumbel, che hanno bisogno di due parametri, ottenibili con tre diversi metodi:

- Metodo dei momenti: consiste nel risolvere un sistema a due equazioni, in cui si uguaglia i momenti del campione (media, varianza) a quelli della popolazione
- Metodo della massima verosimiglianza: cerca quali sono i parametri che danno la massima probabilità congiunta di ottenere la serie
- Metodo dei minimi quadrati: consiste nel minimizzare lo scarto quadratico medio tra la frequenza di non superamento dei dati e la probabilità di non superamento della curva

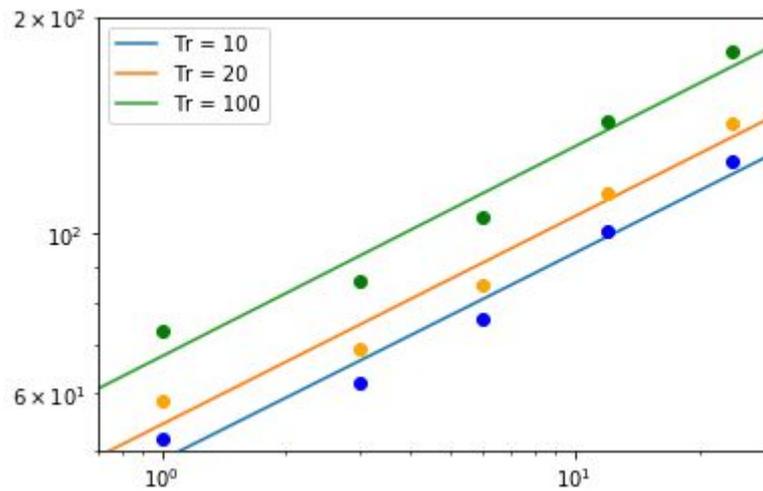
Test di Pearson

Se si applicano tutti i metodi proposti resta da scegliere quali parametri della curva di Gumbel usare; viene fatto quindi il test di Pearson: lo spazio delle probabilità viene diviso in intervalli (ad esempio equiprobabili), dentro ai quali mi aspetto di trovare un numero di dati proporzionale alla larghezza dell'intervallo. Per verificare che questo avvenga, valuto il valore della funzione χ^2 (funzione delle differenze tra i dati osservati nell'intervallo e quelli attesi). La curva che meglio interpola i dati è quella con χ^2 più piccolo.



Curve di possibilità pluviometrica

A questo punto, conoscendo la forma della curva e scegliendo una altezza di precipitazione è possibile calcolare il tempo di ritorno (o viceversa) e mettere su grafico le curve di possibilità pluviometrica (in ascisse la durata, in ordinata l'altezza di precipitazione).



Si osserva che nel piano bilogarithmico le curve sono parallele tra loro (in particolare per le durate di interesse); infatti se si incrociassero si avrebbe una situazione paradossale: scelta una durata, a tempi di ritorno maggiori verrebbero predette altezze di precipitazione inferiore.

Kriging

Gli strumenti di rilevazione presenti sul territorio forniscono dati precisi, ma solo nel punto in cui sono posti (e si può estendere questo dato solo a uno spazio ristretto attorno allo strumento). Se si sta svolgendo qualche analisi su una zona estesa o che non ha sufficienti punti di monitoraggio si rende quindi necessario estrapolare i parametri richiesti utilizzando le conoscenze fisiche e statistiche a propria disposizione.

E' a questo che servono gli interpolatori, al quale gruppo il Kriging appartiene. In particolare il Kriging è un interpolatore locale, sfrutta le osservazioni effettuate in un'area per stimare quella nel punto di interesse (che si trova dentro l'area).

Di seguito sono presentate le operazioni da svolgere applicate per le temperature e le precipitazioni. La rete di stazioni scelta è formata da due anelli centrati attorno a Roggia di Sardinia, facente parte del bacino analizzato nella prima relazione, per un totale di 15 stazioni. Sono stati scaricati da Meteotrentino i dati di temperature e precipitazioni giornalieri per l'anno 2005.

Experimental semivariogram

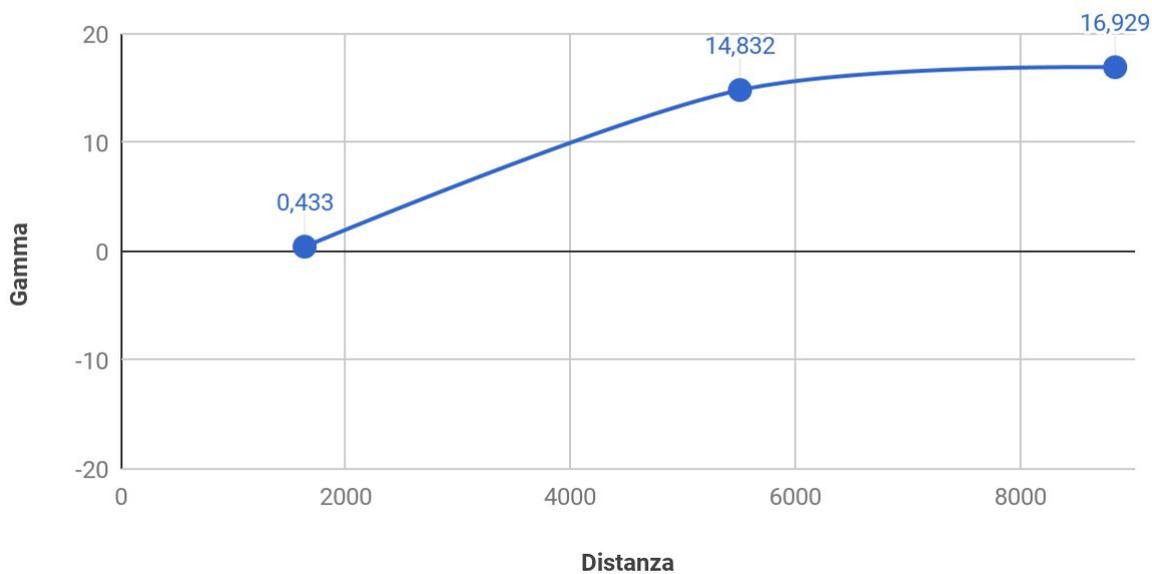
Questa simulazione analizza i dati osservati tenendo in considerazione anche la loro distribuzione spaziale, e fornisce i parametri per la costruzione del semivariogramma. Il semivariogramma da indicazioni sulla covarianza in funzione della distanza dal punto.

Il parametro fondamentale da scegliere è quello chiamato `Cutoff_divide`, che identifica in quanti intervalli di distanza deve essere calcolata la semivarianza; è un valore che deve essere scelto ragionando sul numero di stazioni a disposizione per la simulazione (ogni intervallo deve avere al suo interno un numero sufficiente di stazione).

Per le temperature si è scelto di lavorare sui dati di un mese, calcolando la media delle temperature in ogni stazione. Si arriva quindi ad un unico semivariogramma. Per le piogge invece sono stati utilizzati tutti i dati facendo il calcolo dei semivariogrammi per ogni timestep; il semivariogramma scelto è dato dalla media dei valori (esclusi quelli dei giorni senza precipitazioni).

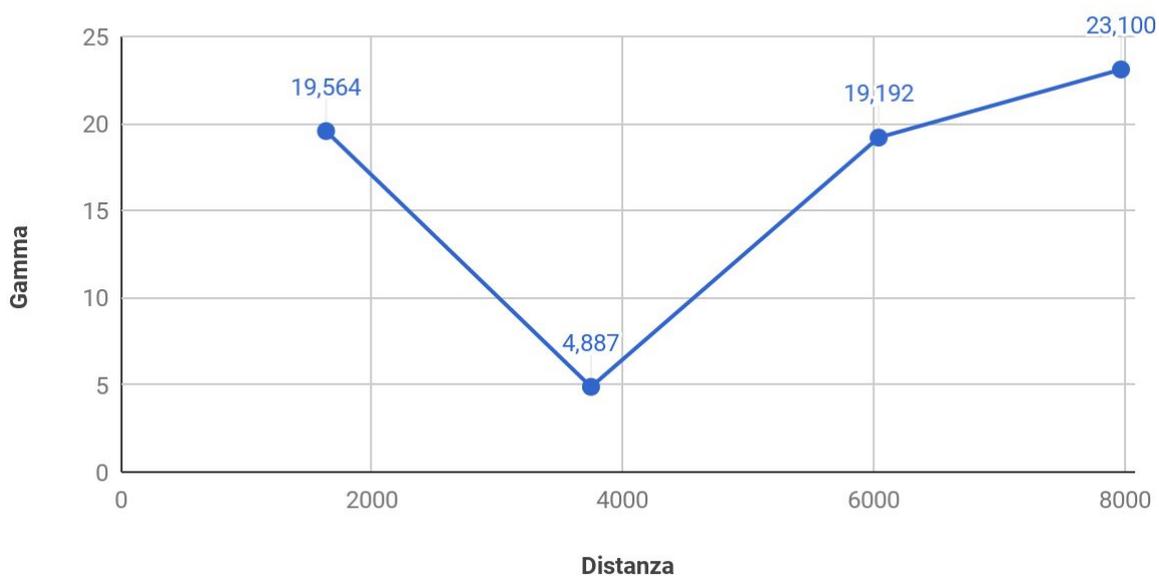
Semivariogramma T

Cutoff=3. Si osserva la distribuzione tipo Bessel



Semivariogramma precipitazioni

Cutoff=4. Anche se non c'è un andamento evidente, assumiamo sia tipo Bessel



Theoretical semivariogram

Attraverso la conoscenza di alcuni punti dei semivariogrammi sperimentali e la scelta di un modello con i suoi parametri di nugget, range, sill è possibile ottenere il semivariogramma che meglio segue l'andamento del modello dal punto di vista teorico.

Particle swarm

E' un calibratore: confronta volta per volta i semivariogrammi sperimentali con quelli teorici (e imponiamo degli intervalli dei parametri che può utilizzare per crearli) e calcola quali sono i parametri ottimi, cioè quelli che rendono minima la differenza tra il semivariogramma teorico e quello sperimentale.

Per le temperature:

Input:

- Modello: Bessel
- EV_range: 8847.52
- EV_nugget: -5.0
- EV_sill: 16.929
- "TV_range" (lower:5000.0, upper:10000,calib_strategy:MEAN)
- "TV_nugget" (lower:-10.0, upper:0.0,calib_strategy:MEAN)
- "TV_sill" (lower:15.0, upper:20.0,calib_strategy:MEAN)

Output:

- TV_range: 5044.314274062029
- TV_nugget: -9.039504535586648
- TV_sill: 19.695362616923404

Per le piogge:

Input:

- Modello: Bessel
- EV_range: 7971.06103341363
- EV_nugget: 5.0
- EV_sill: 15.0
- "TV_range" (lower:5000.0, upper:10000,calib_strategy:MEAN)
- "TV_nugget" (lower:0.0, upper:10.0,calib_strategy:MEAN)
- "TV_sill" (lower:10.0, upper:20.0,calib_strategy:MEAN)

Output:

- TV_range: 9879.76661355189
- TV_nugget: 0.0211175284464149
- TV_sill: 10.233672898947614

Leave one out

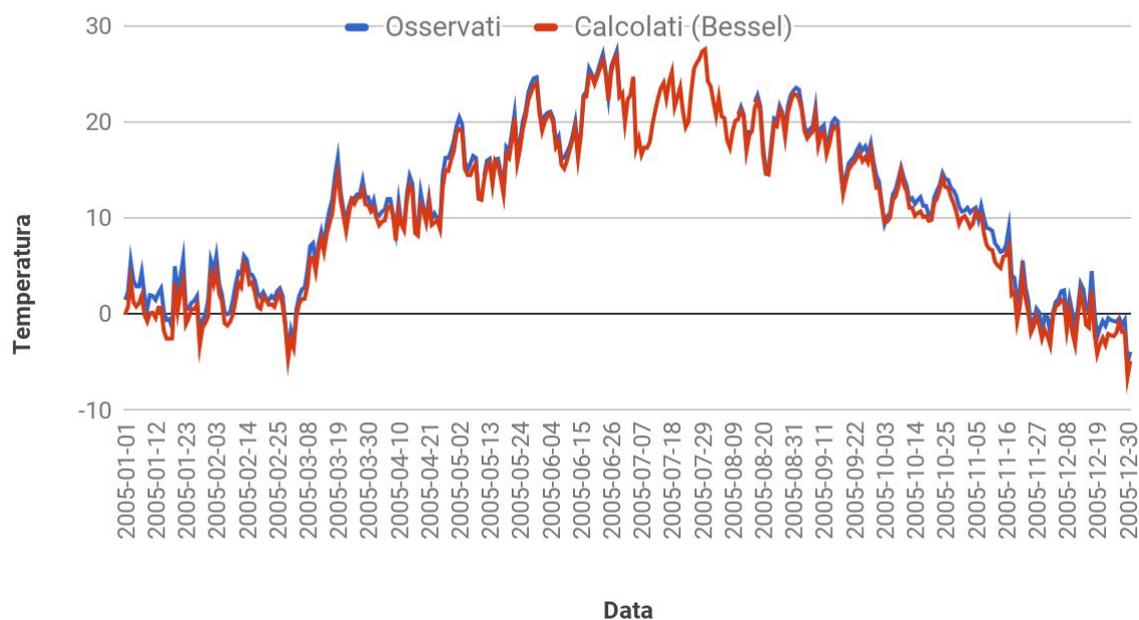
E' un metodo di verifica della bontà di tutte le scelte fatte fino a questo momento: utilizzando il modello con i parametri ottimi la simulazione va ad applicare il kriging per calcolare il dato nel punto corrispondente a una stazione (senza utilizzare il dato misurato nella stazione stessa). Se le assunzioni fatte sono buone, dovremmo ottenere valori simili ai dati osservati per ogni stazione.

Sono possibili inoltre due scelte:

- Applicare o no il leave one out utilizzando solo con gruppo ristretto di stazioni vicino a quella da ricalcolare
- Applicare o no la relazione esistente tra la quota e il parametro

Confronto dati osservati e calcolati temperature

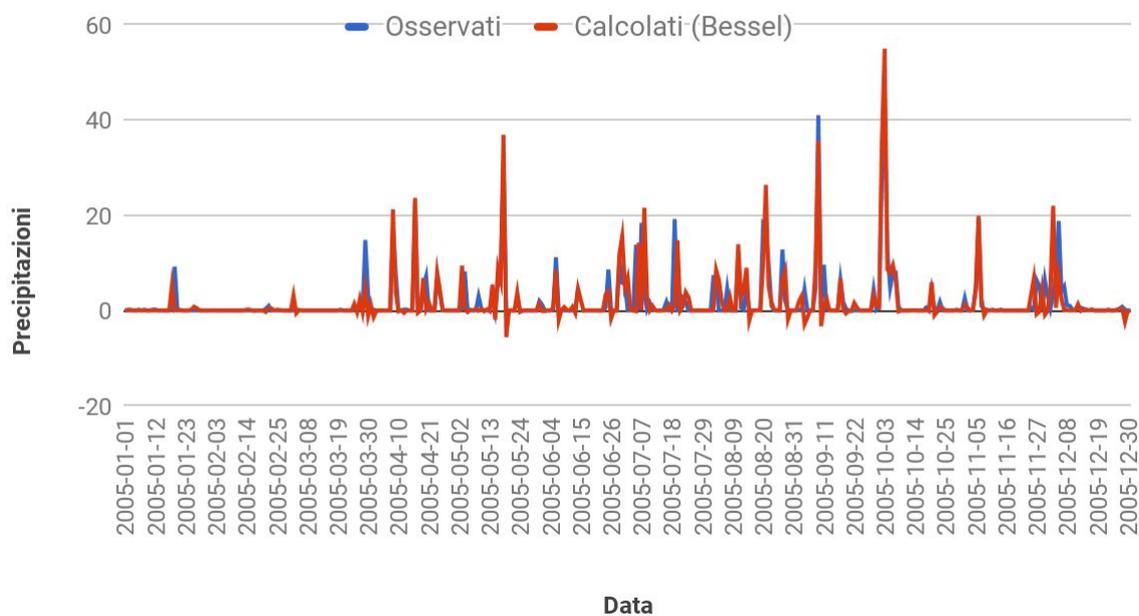
Stazione 129



Si osserva che l'errore sulle temperature è al massimo di qualche grado, segno che la scelte fatte sono valide.

Confronto dati osservati e calcolati precipitazioni

Stazione 129



Si osserva che i dati calcolati imitano abbastanza bene quelli misurati, ad eccezione di alcuni picchi di precipitazione a volte sottostimati e a volte sovrastimati.

Kriging point

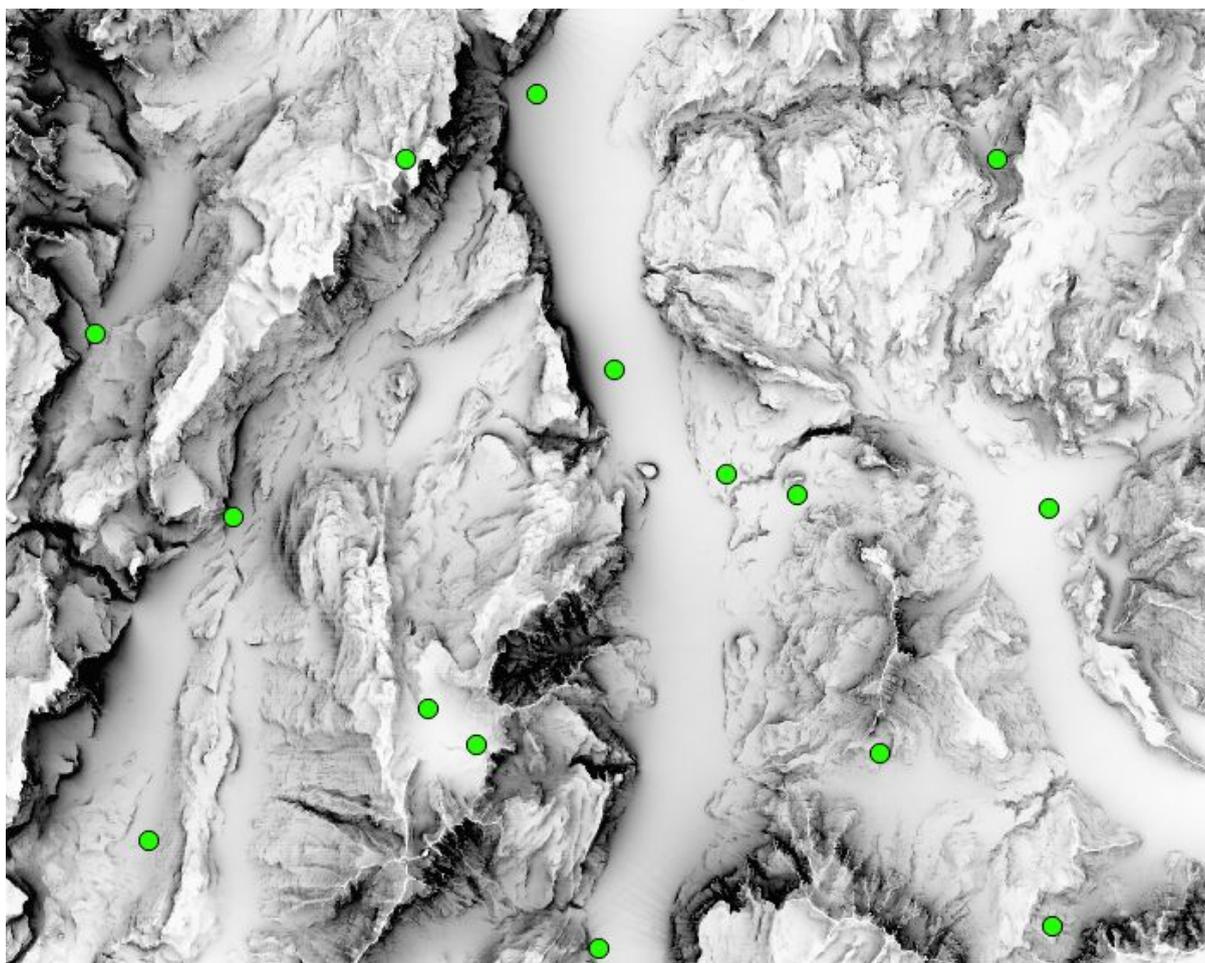
Questa simulazione applica il kriging in modo da ricavare i dati nei punti desiderati (definiti da uno shape file fornito)

Radiazione

Obiettivo di questa sezione è quello di calcolare la radiazione netta incidente su diversi punti.

Skyview

La simulazione calcola punto per punto la porzione di cielo visibile, variabile a seconda della quota del punto e di quelli circostanti. Questo parametro andrà ad influire quindi sulla radiazione diffusa incidente su ogni punto.



- Raster dello skyview con evidenziate le stazioni da cui sono stati raccolti i dati -

SWRB

Calcola la radiazione a onda corta (derivante quindi dal Sole) che incide sul terreno, al netto di quella riflessa.

Per farlo vengono utilizzati i dati di temperatura in punti noti, il modello digitale del terreno, lo skyview, lo spessore di ozono nella stratosfera (che filtra le radiazioni ultraviolette), l'albedo (percentuale di radiazione riflessa dal suolo), i km visibili (indice della presenza di particelle in sospensione in aria).

Clearness Index

E' l'indice che tiene conto di quanto è pulito il cielo, calcolando il rapporto tra la radiazione a onda corta che arriva al suolo e quella che arriva sopra l'atmosfera. Si tiene quindi conto in modo globale degli ostacoli (inquinanti, aerosol, vapore acqueo...) che la radiazione incontra.

LWRB

E' la radiazione ad onda lunga, che viene prodotta dalla Terra, assorbita dall'atmosfera e poi riemessa. La radiazione ha lunghezza d'onda maggiore perchè le temperature della Terra e dell'atmosfera sono inferiori a quella della superficie del Sole (288,15 K contro 5800 K).

E' possibile utilizzare anche il clearness index e i dati di umidità relativa misurati dalle stazioni. Nel nostro caso non sono stati utilizzati perchè disponibili per pochissime stazioni della rete.

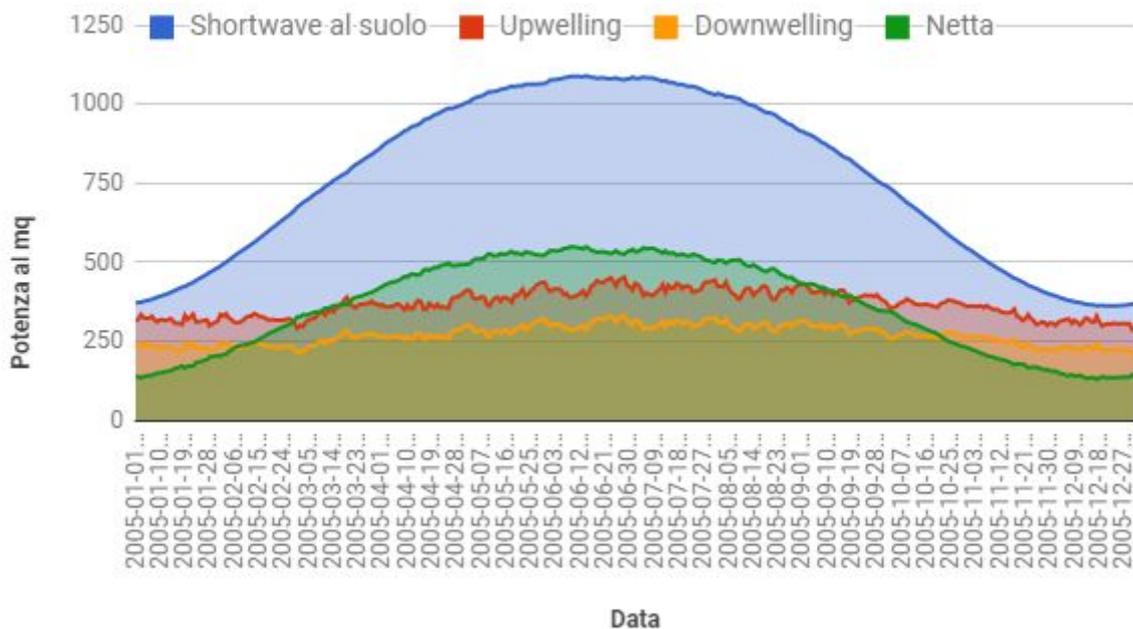
Data la complessità del calcolo di questa componente esistono in letteratura moltissimi modelli dipendenti da altrettanti parametri; per la simulazione quindi va specificato quale viene utilizzato.

Net radiation

Utilizzando i dati calcolati precedentemente Fa la differenza tra la radiazione in arrivo sulla superficie della Terra (a onda corta e lunga) e quella in uscita (onda lunga), tenendo conto dell'albedo per ridurre la quella a onda corta.

Radiazione

Stazione 129



Evapotraspirazione

Procediamo ora al calcolo dell'evapotraspirazione dal suolo e dalle piante, utilizzando due modelli studiati.

Modello Penman-Monteith FAO

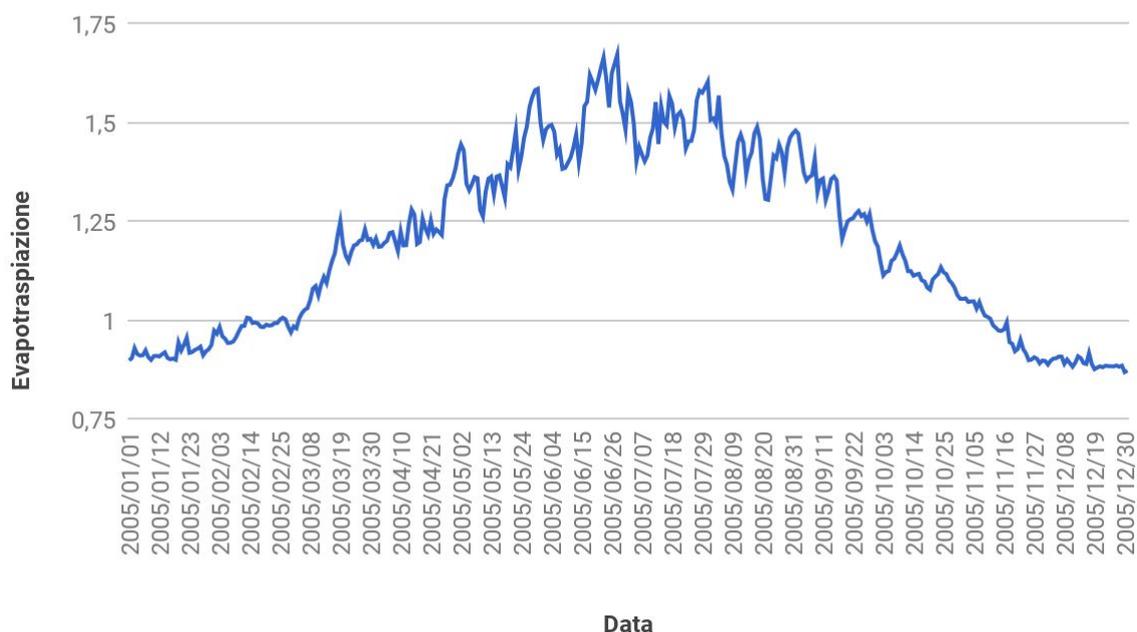
E' basato sul bilancio di energia.

I parametri da fornire sono: la temperatura nelle stazioni e la radiazione netta.

In particolare quello adottato è il modello FAO semplificato, che utilizza i valori medi giornalieri.

Evapotraspirazione modello Penman-Monteith

Stazione 129



Modello Priestley-Taylor

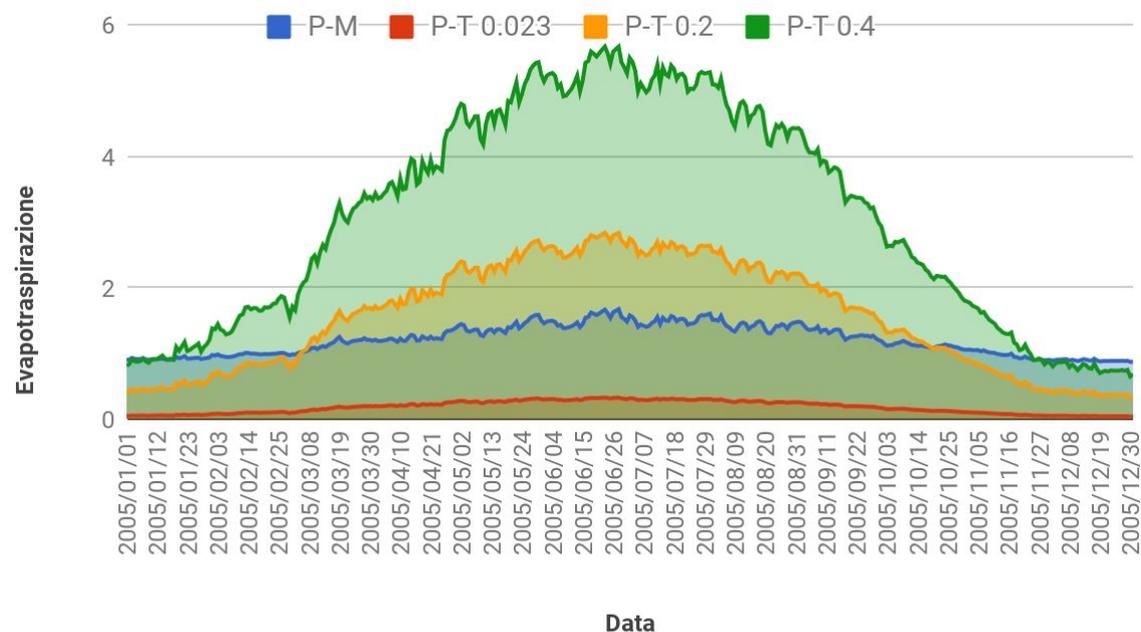
E' basato sul bilancio di radiazione.

I parametri da fornire sono: la temperatura nelle stazioni, la radiazione netta, il flusso di calore verso il centro della Terra di giorno e di notte. E' presente inoltre un parametro Alpha utilizzato come parametro di calibrazione, necessario perchè questo modello trascura il deficit di umidità specifica e le resistenze aerodinamiche, del suolo e della vegetazione.

Di seguito viene mostrato il grafico utilizzato per scegliere il valore del parametro di calibrazione: è stata presa come riferimento l'evapotraspirazione calcolata con il modello Penman-Monteith e si è cercato l'alpha che restituisce valori simili di evapotraspirazione.

Grafico per scelta parametro calibrazione

Stazione 129

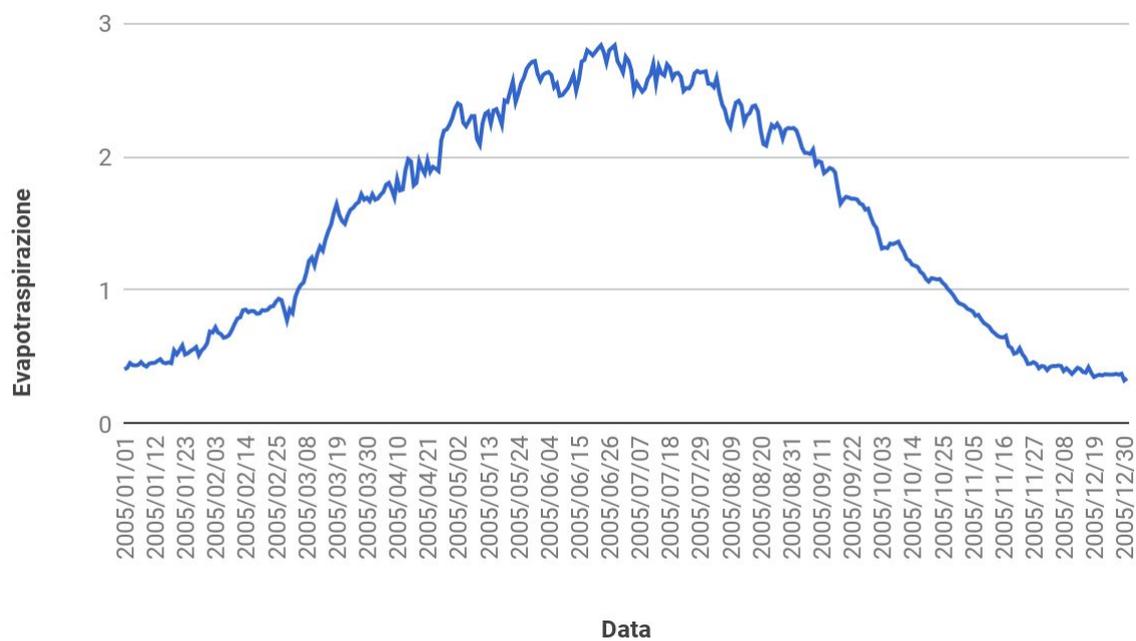


Il grafico migliore sembrerebbe essere quello con $\alpha=0.2$.

Si osserva una maggiore differenza tra il valore minimo e massimo, probabilmente dovuta alle differenze di calcolo dei modelli.

Evapotraspirazione modello Priestley-Taylor

Stazione 129, Alpha=0.2



Infiltrazione

Cenni di teoria

Per capire, prevedere e simulare come l'acqua si infiltra in un terreno si è ricorso ad uno sviluppo mirato delle equazioni di continuità espresse per i suoli: conservazione della massa e del flusso.

Trascurando l'effetto dell'isteresi del terreno, con le equazioni delle curve di ritenzione idrica, le equazioni di Darcy-Buckingham, Mualem e Van Genuchten si ottengono le equazioni di Richards. Esse esprimono come varia la suzione nel terreno nel tempo. Ponendo delle adeguate condizioni al contorno sulla geometria del problema e la condizione iniziale sulla suzione è possibile trovare il livello di suzione in ogni punto della profondità del terreno in tempi diversi.

Il contenuto d'acqua è correlato alla suzione dalla equazione di Van Genuchten.

Simulazioni di base

Per osservare come agisce l'infiltrazione in un terreno abbiamo usufruito di una simulazione della console OMS fornitaci. Questa simulazione permette, inserendo gli opportuni dati in input e variando opportunamente i parametri, di ottenere il livello di suzione (Ψ , espresso in metri di colonna d'acqua) e contenuto d'acqua (Θ , adimensionale) per ogni time step. Più nello specifico la simulazione cerca di ottenere gli output risolvendo le equazioni di Richards unidimensionali; nel nostro caso la dimensione è la profondità.

Come metodo di risoluzione delle equazioni abbiamo adottato quello di "Van Genuchten". Abbiamo svolto dei tentativi sugli altri ma quello di "Kosugi" porta a dei risultati irrealistici, mentre quello di "Brooks and Corey" da un errore durante il lancio della simulazione che non siamo riusciti a risolvere.

La simulazione offre il metodo di Newton per iterare i dati e avere un errore che stia al di sotto di una certa tolleranza imposta.

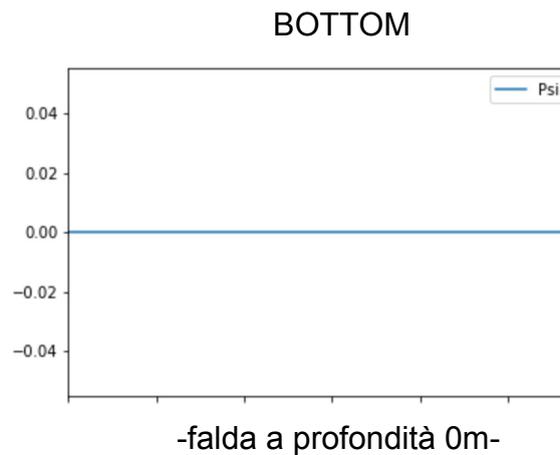
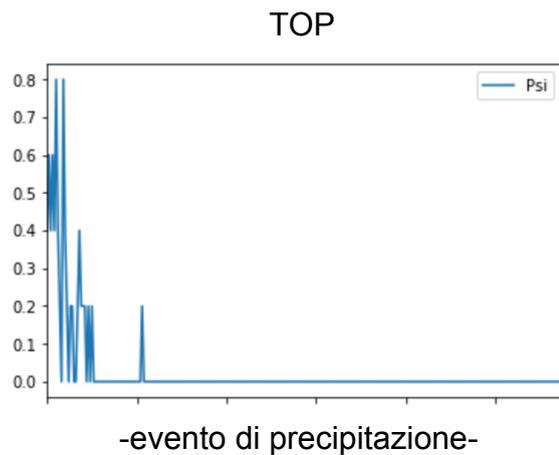
Dati

Data di inizio e fine della simulazione:	03/08/2005 dalle 00:05 alle 23:50
Altezza della colonna di suolo:	$h = 3$ [m]
Parametri del modello di Van Genuchten:	$n = 1,31$ $\alpha = 1,9$ [m ⁻¹]
Time step:	$t = 5$ [min]
Tolleranza:	$\tau = 1 \times 10^{-11}$

Input (uguali per tutte le simulazioni di base)

Condizioni al contorno:

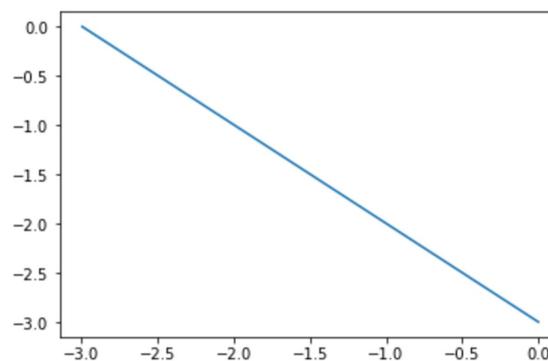
[Tempo vs Suzione]



Condizione iniziale:

Idrostatica

[Suzione vs Profondità]



Di seguito i risultati ottenuti con le varie simulazioni su quattro tipi di terreno.

I grafici variano nel periodo 03/08/2005 dalle 00:05 alle 23:50

I time step negli output variano da 0 (quello iniziale) a 280 (~ quello finale)

Argilla

Parametri

Conducibilità idraulica:

$k_{\text{clay}} = 7 \times 10^{-7}$ [m/s]

Contenuto d'acqua a saturazione:

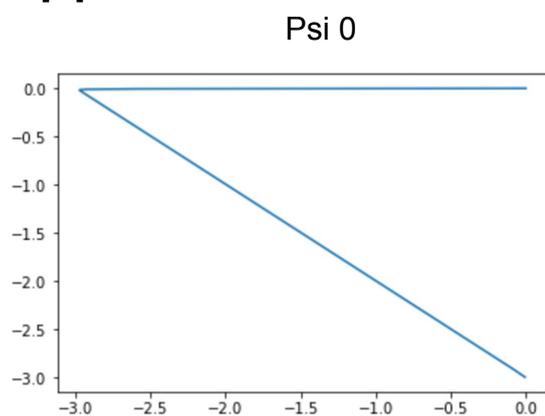
Theta sat= 0,41

Contenuto d'acqua adimensionale residuo:

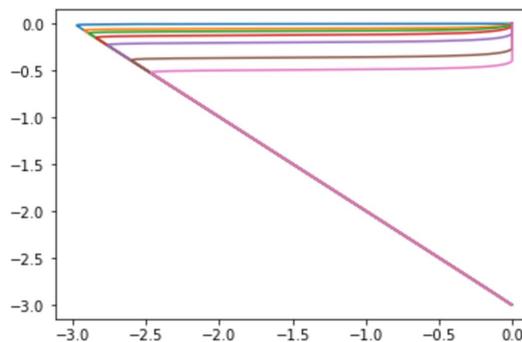
Theta res=0,095

Output

Psi[m]

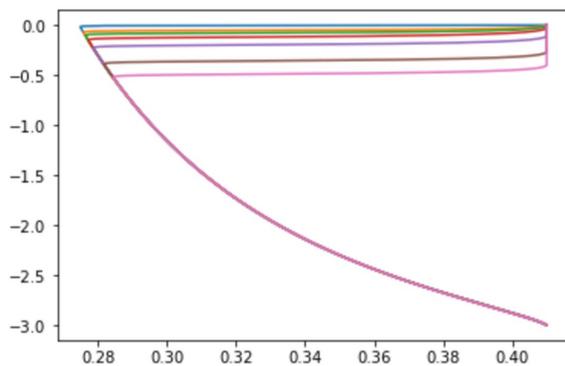


[Profondità vs Suzione]
Psi 0-13-25-50-100-200-280



Theta

Theta 0-13-25-50-100-200-280



[Profondità vs Contenuto d'acqua]

Commenti

Si osserva che nel caso dell'argilla la scala del periodo preso in considerazione non è sufficiente affinché le variazioni di suzione e contenuto d'acqua dalla condizione iniziale raggiungano la falda posta a 3m di profondità.

Limo

Parametri

Conducibilità idraulica:

$k_{\text{silt}} = 5 \times 10^{-5}$ [m/s]

Contenuto d'acqua a saturazione:

Theta sat= 0,41

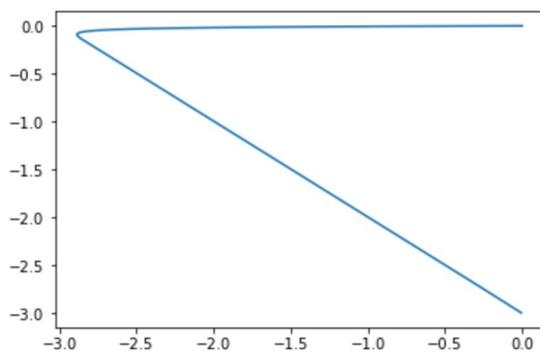
Contenuto d'acqua adimensionale residuo:

Theta res=0,095

Output

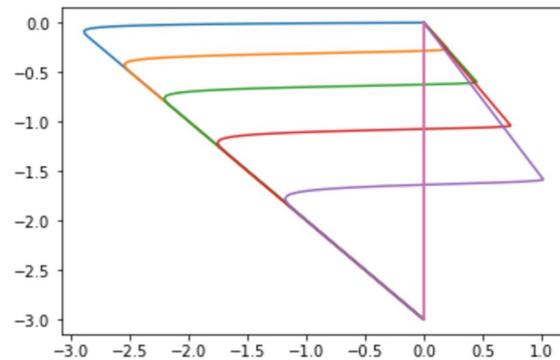
Psi[m]

Psi 0



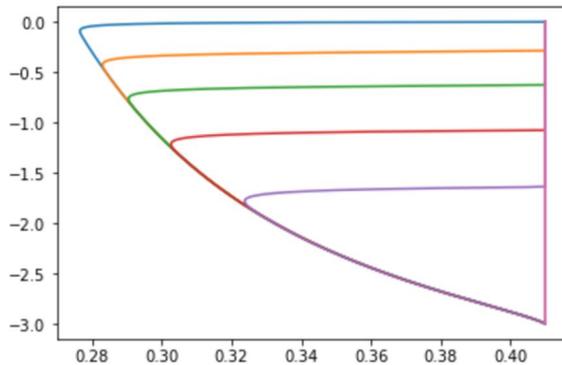
[Profondità vs Suzione]

Psi 0-13-25-38-50-63-76



Theta

Theta 0-13-25-38-50-63-76



[Profondità vs Contenuto d'acqua]

Commenti

Come si osserva dai grafici, la variazione della conducibilità idraulica comporta una drastica riduzione del tempo che impiega la suzione e il contenuto d'acqua per arrivare in condizioni stazionarie. In questo caso si raggiunge intorno ai 76 time step, ossia dopo 6 ore e 20 minuti.

Sabbia

Parametri

Conducibilità idraulica:

$k_{\text{sand}} = 2,5 \times 10^{-4} \text{ [m/s]}$

Contenuto d'acqua a saturazione:

$\theta_{\text{sat}} = 0,41$

Contenuto d'acqua adimensionale residuo:

$\theta_{\text{res}} = 0,095$

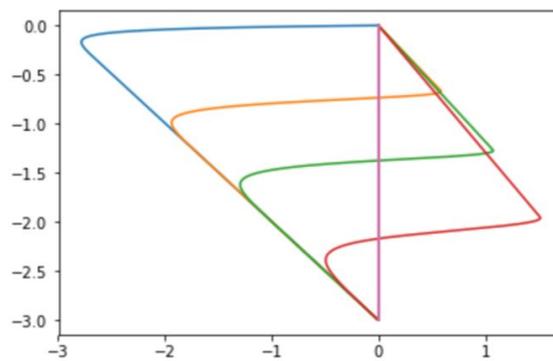
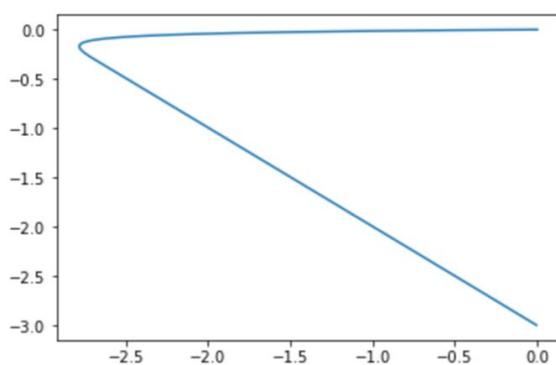
Output

Psi[m]

[Profondità vs Suzione]

Psi 0

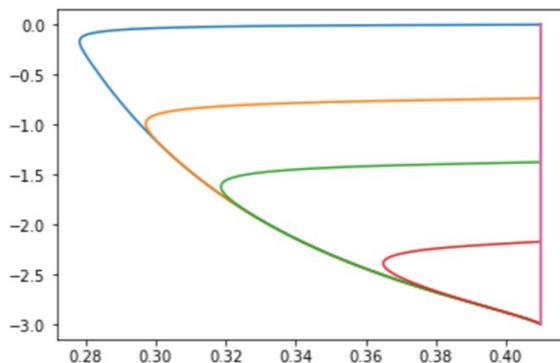
Psi 0-13-20-25-30



Theta

[Profondità vs Contenuto d'acqua]

Theta 0-13-20-25-30



Commenti

In questo caso la variazione della suzione raggiunge la falda dopo circa 30 time step che equivalgono a 2 ore e mezza. Oltre questo tempo la suzione e il contenuto d'acqua rimangono costanti nello strato di suolo considerato per tutta la durata della simulazione.

Ghiaia

Parametri

Conducibilità idraulica:

$k \text{ gravel} = 0,1 \text{ [m/s]}$

Contenuto d'acqua a saturazione:

$\text{Theta sat} = 0,41$

Contenuto d'acqua adimensionale residuo:

$\text{Theta res} = 0,095$

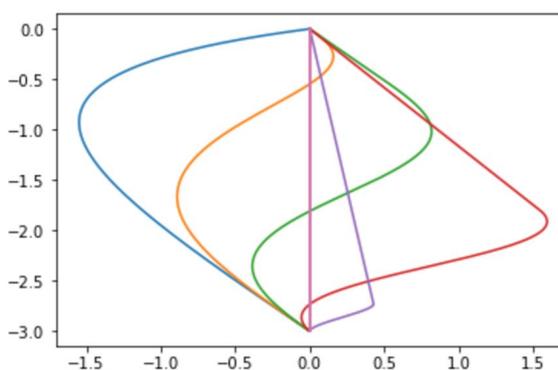
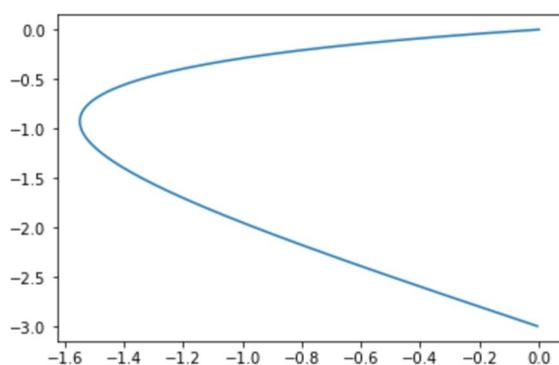
Output

Psi[m]

[Profondità vs Suzione]

Psi 0

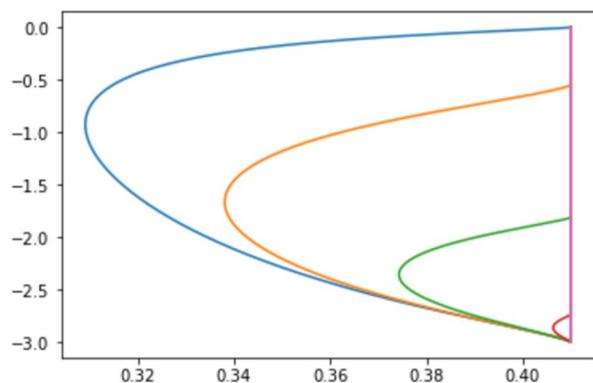
Psi 0-1-2-3-4-5



Theta

[Profondità vs Contenuto d'acqua]

Theta 0-1-2-3-4



Commenti

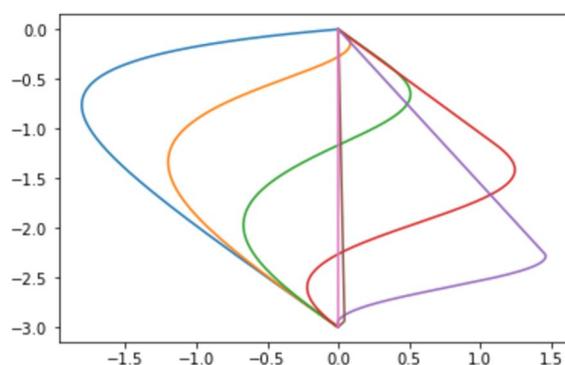
Nel caso della ghiaia si osserva come il tempo per arrivare in condizioni stazionarie è estremamente ridotto, infatti la suzione parte avendo un valore minimo di circa -1,6. Dai grafici è possibile notare come la suzione cresca fino a diventare completamente positiva dopo 4 time step. Il tempo per arrivare in una situazione costante nel tempo è stimabile a 22 minuti per la suzione mentre 16 minuti per il contenuto d'acqua

Variazioni

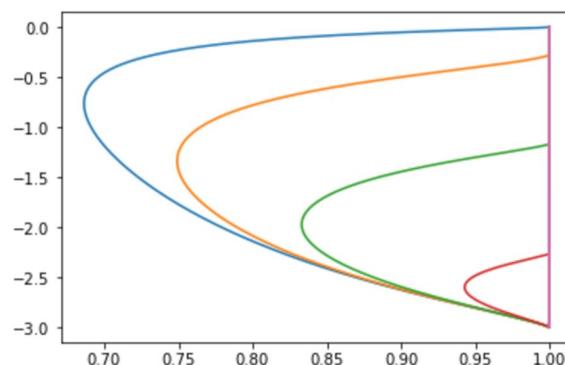
Ghiaia: Contenuto d'acqua a saturazione pari a 1

Nel caso della ghiaia abbiamo provato, pensando fosse più verosimile, ad aumentare il contenuto d'acqua a saturazione fino a 1

Psi 0-1-2-3-4-5



Theta 0-1-2-3-4



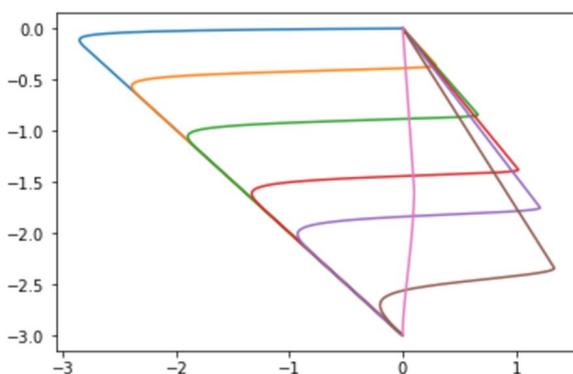
Gli output ci dimostrano che il contenuto d'acqua è variato dalle condizioni precedenti concordemente con la modifica che abbiamo apportato.

Da qui in poi abbiamo provato a variare dei dati tenendo come [condizione di partenza la simulazione effettuata per la sabbia](#)

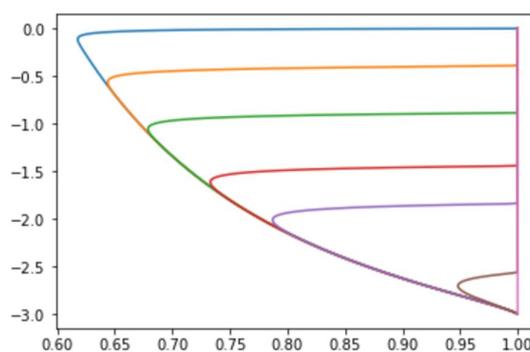
Sabbia: contenuto d'acqua a saturazione pari a 1

Anche per la sabbia abbiamo cambiato il contenuto d'acqua a saturazione per vedere come sarebbero cambiati i grafici dell'output

Psi 0-13-25-35-40-45-50



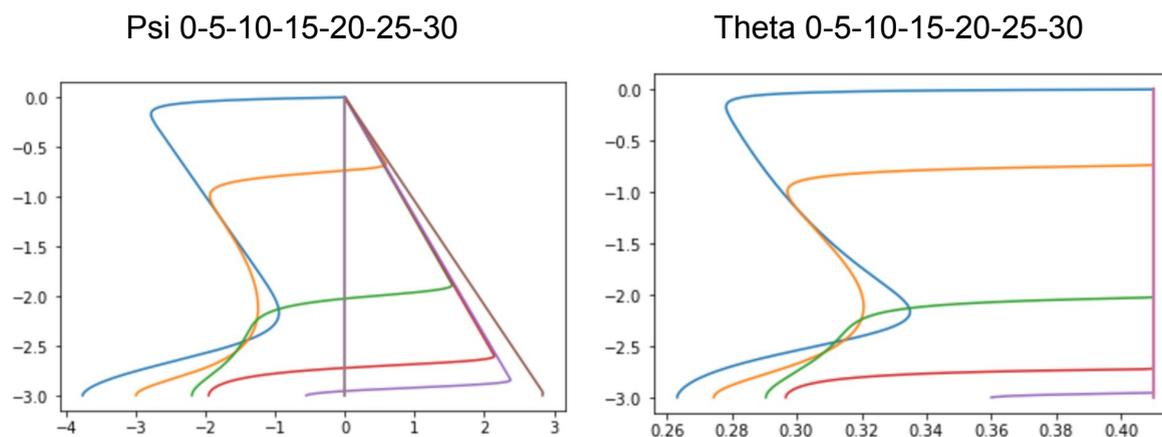
Theta 0-13-25-35-40-45-50



Si ha un ritardo nell'arrivare a saturazione rispetto alla condizione di partenza di circa 1 ora e 40 min. La variazione è più netta rispetto al caso della ghiaia.

Condizione al contorno: Free Drainage

In questo caso si è lasciata l'acqua libera di scorrere anche oltre il fondo della sezione di terreno



I diagrammi esprimono un netto cambiamento rispetto al porre la falda come condizione della superficie sottostante. I livelli di suzione assumono delle curve molto variabili essendo che non vi è più un effetto di accumulo dell'acqua. Passato comunque lo stesso tempo rispetto la sabbia in condizioni di partenza si arriva a saturazione.

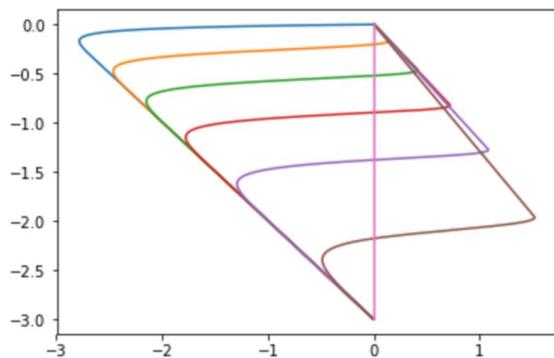
Condizione al contorno: Precipitazione a gradino

Si è ipotizzata un evento di precipitazione "a gradino" ponendo i millimetri di precipitazione a 5 per un tempo di 2 ore dall'inizio della simulazione

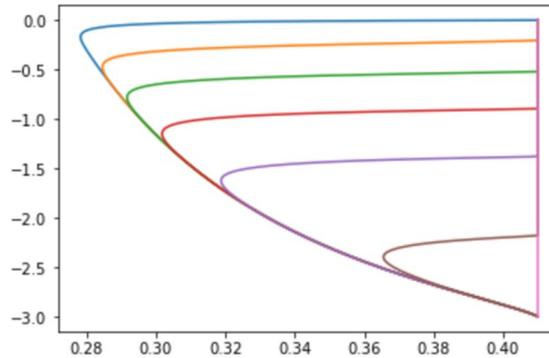
Diagramma della variazione della condizione iniziale superficiale con millimetri di precipitazione in ordinata e in ascissa il tempo.



Psi 0-5-10-15-20-25-30



Theta 0-5-10-15-20-25-30



Ci si aspettava una maggior variazione ma i grafici sono risultati pressoché identici.



Bibliografia

[AboutHydrology](#)

[MeteoTrentino](#)

[OMS](#)

[QGIS](#)

[Sistema di riferimento](#)

[WebGIS UNITN](#) (link funzionante solo dall'interno della Facoltà)