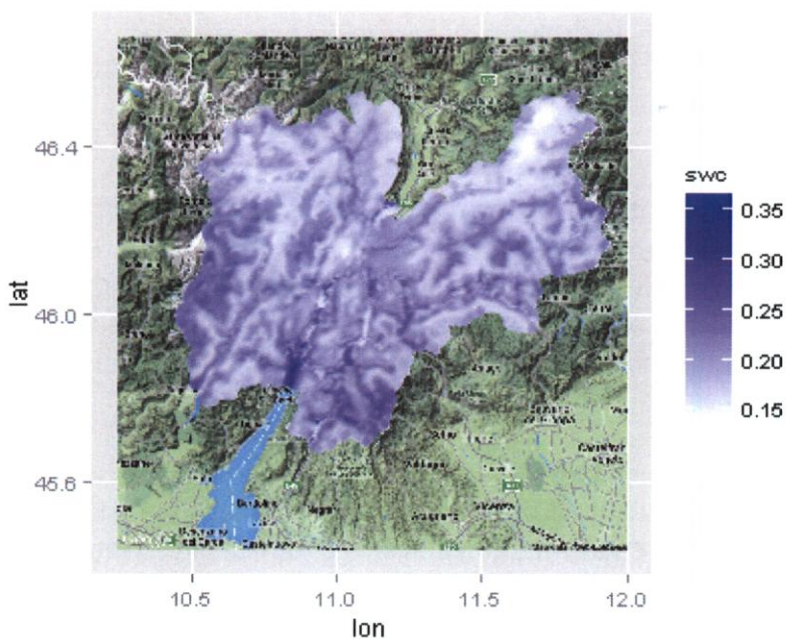


# PROGETTO "IDROCLIMA" - CLIMATOLOGIA DELLE CONDIZIONI IDROLOGICHE NATURALI DEI SUOLI IN TRENTINO

PROGETTO CO-FINANZIATO DAL "FONDO CAMBIAMENTI CLIMATICI" PAT 2012

- RELAZIONE FINALE -



*Emanuele Cordano - Fabio Zottele - Emanuele Eccel*

*Il responsabile di progetto, Emanuele Eccel*  
27.02.2014

## 1. Introduzione

Il ciclo dell'acqua tra atmosfera, suolo e copertura vegetale è influenzato dai mutamenti climatici in atto. La valutazione del contenuto idrico del suolo si ottiene risolvendo due equazioni di bilancio: bilancio idrico (conservazione della massa d'acqua) e bilancio energetico (conservazione dell'energia). All'attuale stato dell'arte esistono modelli che ci permettono di risolvere tali equazioni tenendo in considerazione le condizioni atmosferiche, del suolo e della copertura vegetale. Le conoscenze dei cambiamenti climatici sul ciclo dell'acqua sono cruciali per la mitigazione degli impatti ambientali: le tematiche sono state affrontate a scala globale e regionale da progetti quali AquaTerra (<http://eu-aquaterra.de/>), HydroAlp (<http://www.eurac.edu/en/research/projects/ProjectDetails.aspx?pid=9221>) e da consorzi interuniversitari internazionali come, ad esempio, CUAHSI (<http://www.cuahsi.org/>).

Nell'ambito delle proposte di progetto sul Fondo per il Cambiamento Climatico 2012, la proposta si prefigge di creare una base di dati che potrà essere compresa in un sistema di consultazione spazio-temporale come ENVIRO (FBK) o suoi sviluppi, anche finalizzati ad un utilizzo climatologico.

Nell'ambito, poi, del più grande progetto dell'Atlante Climatico del Trentino, la disponibilità di dati e mappe di contenuto idrico del suolo, in condizioni di interesse climatologico, si configura come un prodotto particolarmente innovativo, che perlustra un argomento finora piuttosto trascurato nell'indagine climatologico-ambientale.

## 2. Metodologia di indagine

### 2.1 Il modello di bilancio idrico

#### 2.1.1. Generalità sul modello

Le elaborazioni sono state condotte mediante modello di calcolo idrologico "GEOtop". Questo modello ebbe l'impulso iniziale per il suo sviluppo nel 1999 proprio con un co-finanziamento PAT e Ministero dell'Università e Ricerca. Da allora il modello ha visto sempre nuove versioni, che hanno via via integrato moduli di calcolo aggiuntivi, per giungere all'attuale versione 2.0. Una trattazione dettagliata della fisica del modello risulterebbe complessa in questa sede. Per ogni dettaglio sul modello si rimanda quindi al manuale utente (Endrizzi et al., 2011) e ai lavori di Rigon et al. (2006) ed in particolare a Endrizzi et al. (2013) per la versione 2.0.

GEOtop è un modello fisicamente basato che analizza il ciclo idrologico in maniera completa su un bacino. Il modello accetta in input le caratteristiche topografiche (modello digitale del terreno), che vengono elaborate per fornire indici utili al calcolo del bilancio, quali pendenza, esposizione, ombreggiamento, fattore di vista del cielo.

Le caratteristiche idrologiche del terreno, dettagliate su più livelli verticali, fanno parte dell'input di modello per simulare infiltrazione e scorrimento superficiale.

Anche le caratteristiche di uso del suolo costituiscono uno strato informativo di GEOtop. Esse vengono trattate secondo uno schema a doppio strato (Endrizzi and Marsh, 2010), che consente di separare il contributo della vegetazione da quello della superficie sui flussi turbolenti.

I dati meteorologici, input fondamentale per i bilanci, sono spazializzati sul dominio di calcolo con il modello Micromet (Liston and Elder, 2006). Quindi il modello calcola il bilancio di energia e di

massa nel bacino tramite un risolutore 3D per l'equazione di Richards e un risolutore 1D per l'equazione dell'energia.

Il modulo neve calcola, nella nuova versione, l'accumulo e lo scioglimento attraverso una discretizzazione multistrato del manto, che comprende anche l'effetto del vento.

In definitiva, GEOtop rappresenta uno strumento potente per la simulazione di:

- contenuto idrico dei suoli
- evaporazione dal suolo
- traspirazione della vegetazione
- dinamica della neve nel bacino
- temperatura in superficie nel bacino
- temperature del suolo e del substrato roccioso, anche in condizioni di congelamento
- bilancio di massa di ghiacciai
- altezza della falda e interazioni con lo scioglimento
- portata di corsi d'acqua nel bacino.

### 2.1.2 Input meteorologico

L'input meteorologico ammesso da GEOtop è esaustivo, comprendendo i campi seguenti:

- precipitazione
- velocità e direzione del vento
- umidità relativa
- temperatura di rugiada
- temperatura dell'aria
- pressione atmosferica
- radiazione globale (anche diretta, diffusa e netta)
- radiazione ad onda lunga

GEOtop ammette anche l'imposizione di gradienti altitudinali di temperatura, precipitazione, temperatura di rugiada.

I dati meteorologici utilizzati per il calcolo sono stati forniti da Meteotrentino e dalla Fondazione E. Mach, Sistema Informativo Geografico. Sono stati impiegati dati orari e sub-orari, con risoluzione temporale pari ad un'ora per 126 stazioni meteorologiche. Il passo temporale delle simulazioni idrologiche è pari anch'esso ad un'ora. Per un dettaglio sulle stazioni meteorologiche impiegate per l'input meteo di GEOtop si veda l'Appendice 1.

### 2.1.3 La modellistica di infiltrazione

In GEOtop, ogni punto nel dominio può essere identificato da una categoria pedologica, definita come dall'esempio della Tab. 1 e Fig. 1:

Stratigraphy ID	Layer ID involved	Soil texture
1	1, 2, 3	gravel
1	4, 5	clay
1	6, 7, 8	sand
2	1	clay
2	2, 3, 4	gravel
2	5, 6	clay
2	7, 8	sand
3	1, 2, 3, 4, 5, 6	clay
3	7	gravel
3	8	sand

Tab. 1 - esempio di classificazione pedologica dei suoli in GEOTop

La valutazione del contenuto idrico è stata valutata su 9 diversi strati a profondità crescente, secondo la Tab. 2

Numero strato	Profondità media (mm)	Spessore (mm)
1	15	30
2	80	100
3	230	200
4	580	500
5	1430	1200
6	3530	3000
7	7530	5000
8	16030	12000
9	34530	25000

Tab. 2 - Gli strati di suolo impiegati, spessori medi e profondità medie

Gli strati a profondità superiori a 1.5 m non rappresentano necessariamente una realtà fisica di suolo, ma sono semplicemente funzionali alla simulazione. Oltre ai 3 m, con l'esclusione delle aree site in zone alluvionali, gli strati si configurano in realtà come roccia, dotata quindi di scarsa permeabilità.

Nell'implementazione seguita, vista l'indisponibilità di informazioni pedologiche di dettaglio in forma grigliata sul dominio, è stata fatta un'ipotesi uniforme sui suoli.

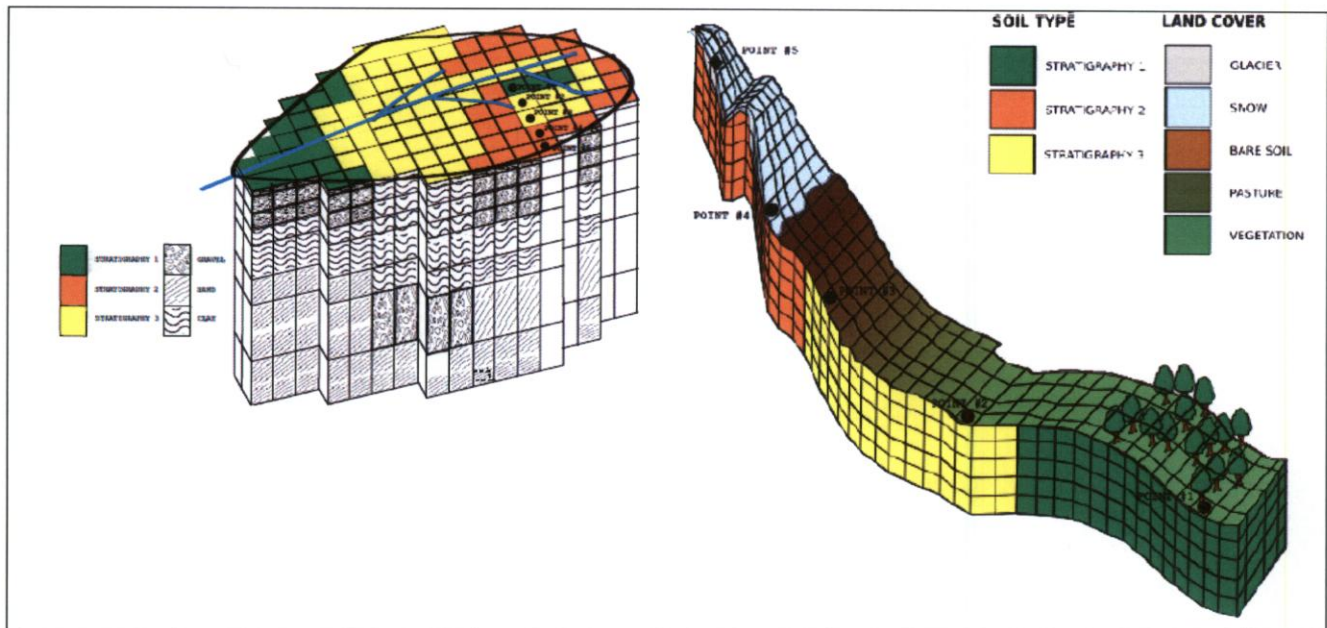


Fig. 1 - GEOtop: esempio di attribuzione di classi pedologiche omogenee nel dominio del bacino. Ogni classe è definita in tutti i livelli di suolo definiti.

Da questa schematizzazione sono stati introdotti i valori di permeabilità (verticale e orizzontale) e di ritenzione idrica secondo curve parametriche definite dai parametri di van Genuchten (Van Genuchten, 1980; Mualem, 1976). Tali valori modellano la curva di ritenzione e la curva di conducibilità idraulica, rispettivamente il legame funzionale tra il contenuto d'acqua volumetrico del suolo ed il carico di pressione interstiziale o la conducibilità idraulica. Queste curve sono necessarie per la chiusura (e quindi la risoluzione) dell'equazione di Richards usata per il bilancio idrico dei suoli, nei quali il flusso d'acqua subsuperficiale è assunto dipendere quasi linearmente dal gradiente piezometrico tramite un coefficiente, detto conducibilità idraulica, dipendente dalla permeabilità del suolo e dal valore istantaneo di contenuto d'acqua. In GEOtop è stata scelta la parametrizzazione di Van Genuchten-Mualem per la descrizione di tali curve. I parametri di queste curve dipendono dalla tessitura e del contenuto organico dei suoli. Alcuni valori di parametri rappresentativi sono illustrati in diversi testi e articoli di letteratura tra cui Cordano (2006).

In mancanza di informazioni dettagliate sui suoli provinciali, è stato scelto un profilo di suolo a medio impasto quindi sono stati adottati i seguenti valori ai parametri per ciascun strato di suolo:

I valori impiegati si trovano in Tab. 3.

nr. strato	Dz	Kh	Kv	res	sat	a	n
1	30	0.1	0.1	0.08	0.5	0.004	1.3
2	100	0.1	0.1	0.08	0.5	0.004	1.3
3	200	0.05	0.05	0.08	0.5	0.004	1.3
4	500	0.05	0.05	0.08	0.5	0.004	1.3
5	1200	0.05	0.05	0.08	0.5	0.004	1.3
6	3000	0.001	0.001	0.08	0.5	0.004	1.3
7	5000	0.0001	0.0001	0.08	0.5	0.004	1.3
8	12000	0.0001	0.0001	0.08	0.5	0.004	1.3
9	25000	0.0001	0.0001	0.08	0.5	0.004	1.3

Tab. 3 - Caratteristiche idrologiche del suolo impostate nella simulazione di GEOtop

#### Legenda:

Dz:	spessore strato (mm)
Kh:	cond. idraulica normale (mm s <sup>-1</sup> )
Kv:	cond. idraulica vert. (mm s <sup>-1</sup> )
res:	contenuto d'acqua residuo (% vol.)
fc:	contenuto d'acqua a capacità di campo (% vol.)
sat:	contenuto d'acqua alla saturazione (% vol.)
a:	parametro α delle curve di Van Genuchten (mm <sup>-1</sup> )
n:	parametro n delle curve di Van Genuchten (-)

### 2.1.4 Lo schema di modellazione della vegetazione

La versione attuale del modello impiega un approccio a due strati, in cui la vegetazione è trattata come una massa distribuita omogeneamente sulla superficie, in grado di assorbire e riflettere radiazione ad onda corta, e di assorbire, riflettere ed emettere radiazione ad onda lunga e dove il flusso d'aria può trasferire calore, vapore e quantità di moto.

Sia il flusso evapotraspirativo che quello di calore, risultano dalla somma della componente dal suolo e di quella dalla vegetazione. In particolare, per l'evapotraspirazione si hanno le seguenti relazioni:

$$E_v = \rho \frac{q_v - q_{ca}}{r_c} \quad E_s = \rho \frac{q_s - q_{ca}}{r_{uc}} \quad E = \rho \frac{q_{ca} - q_a}{r_{caE}}$$

dove  $\rho$  = densità dell'aria,  $E_v$  = flusso evapotraspirativo dalla chioma,  $E_s$  = flusso evapotraspirativo sotto la chioma,  $E$  = flusso evapotraspirativo totale,  $q_v$  = umidità specifica dell'aria alla superficie della chioma,  $q_{ca}$  = umidità specifica dell'aria entro la chioma,  $q_s$  = umidità specifica dell'aria al suolo,  $q_a$  = umidità specifica nell'aria sopra la chioma,  $r_c$  = resistenza al flusso di vapore tra la chioma e l'aria (resistenza della chioma),  $r_{uc}$  = resistenza al flusso di vapore tra il suolo e l'aria nella chioma,  $r_{aE}$  = resistenza al flusso di vapore sopra la chioma

Per quantificare la presenza di vegetazione, oltre all'altezza tipica delle piante, va indicata la percentuale della loro copertura sul suolo, l'indice di area fogliare e del fusto (Stem and Leaf Area Index, SLAI), la massa per unità di SLAI, un parametro geometrico sulle foglie, nonché un parametro di resistenza al trasferimento di vapore tra la chioma e l'atmosfera. I flussi di calore latente da e verso la chioma sono dati dalla somma dell'evaporazione delle foglie umide e dalla traspirazione (determinato dalla resistenza stomatica delle foglie). Viene impiegato un approccio basato sulla teoria della diffusione locale ("teoria K"), cioè sull'assunzione che le concentrazioni e il contenuto di vapore dipendano solo dalla scala dei flussi e delle turbolenze locali. Per ulteriori dettagli si rimanda ad Endrizzi et al., 2010.

### 2.1.5 Il dominio di calcolo per il modello, l'uso del suolo e le altre parametrizzazioni

Per poter disporre di un'ideale chiusura dei bilanci è necessario allargare i domini di calcolo a porzioni del territorio esterne al Trentino, per poter considerare i contributi nelle sezioni a monte della parte interessata e per consentire una corretta simulazione del deflusso anche a valle. Per le simulazioni il territorio è stato perciò esteso, rispetto ai confini provinciali, per comprendere anche parte del bacino dell'Adige in provincia di Bolzano e parte dei bacini limitrofi meridionali, su Sarca e Adige (Fig. 2).

Su questo dominio si sono ricercati i dati di tipo topografico e di uso del suolo. La parametrizzazione dell'uso del suolo ha influenza sia sul bilancio di massa che su quello di energia, coinvolgendo la velocità del vento, la turbolenza, la suddivisione dell'evapotraspirazione tra le due componenti di modello (evaporazione dal suolo e traspirazione dalla chioma).

Il modello è stato applicato con una risoluzione di 500 m. Essa risulta da un compromesso tra la necessità di avere un dettaglio sufficiente per identificare i pattern geografici rilevanti e la necessità di poter gestire agevolmente le dimensioni dei file generati e i tempi di simulazione (vedere anche par. 2.3).

L'implementazione di GEOtop ha contemplato 11 possibili classi di uso del suolo, che sono state assegnate in base alla somiglianza con le classi che sono attribuite ad ogni pixel dalle seguenti classificazioni:

- mappe provinciali di uso del suolo per il Trentino date dal progetto CORINE e distribuita dal sito OpenData Trentino [<http://dati.trentino.it>];
- mappe di CORINE Land Use (Reuter et al., 2007; Jarvis et al., 2008) per le aree confinanti comprese nella simulazione.

Le classi sono le seguenti. I valori dei parametri secondo le rispettive classi si possono trovare in Appendice 1.

1. Urban
2. Pasture
3. Grassland
4. Agricultural
5. Broad leaf forest
6. Coniferous forest
7. Mixed forest
8. Bare Rocks
9. Bare Soils
10. Glacier
11. Lake/Marsh

Per ogni categoria si sono inseriti nel file dei parametri del modello i valori tipici per i suoli (vedere Appendice 1, sez. "Land Cover").

Sono state condotte diverse simulazioni di GEOtop, per giungere ad un assetto ottimale dei parametri del modello e delle impostazioni di calcolo. Le impostazioni parametriche del modello più rilevanti ai fini del calcolo dell'umidità del suolo sono riassunte nell'Appendice 1.

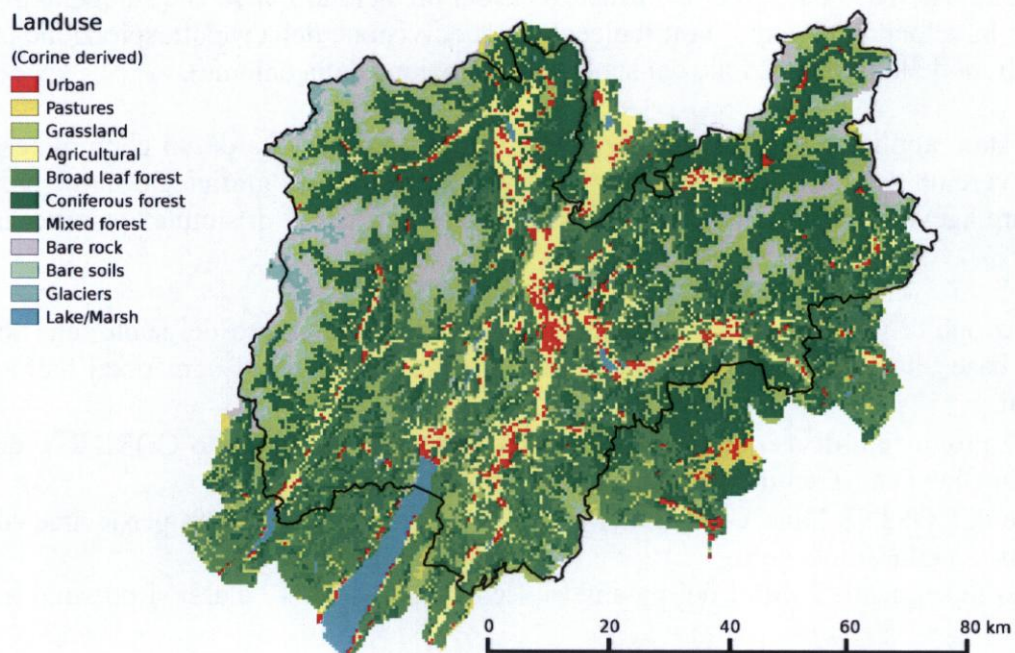


Fig. 2 - Mappa di uso del suolo impiegata (da CORINE land use).

## 2.2 Post - elaborazione dell'output di GEOtop

Il modello GEOtop produce due tipi di output:

- puntuale;
- distribuito.

### 2.2.1 Serie puntuali simulate di grandezze di contenuto idrico del suolo

Nel primo caso, è possibile impostare un funzionamento del codice su singoli punti, con bilanci idrici che non tengono conto dello scorrimento dell'acqua nel suolo e sopra il suolo: ogni punto viene quindi trattato secondo un "comportamento a secchio". Questa possibilità, seppur testata in fase di calibrazione, non è ottimale in quanto viene meno uno dei processi fondamentali per la definizione del contenuto idrico dei suoli. Pertanto, nella presente analisi verranno utilizzati i risultati del funzionamento distribuito, ossia calcolato sull'intero dominio di calcolo, dal quale è possibile però estrarre singoli punti per i quali ricavare i valori delle rispettive grandezze, identiche a quelle calcolate su mappa.

L'analisi puntuale è stata quindi ricavata dai risultati calcolati su mappa. Sono stati scelti 3 punti, ognuno corrispondente ad altrettanti punti di controllo su cui esistevano misure di umidità del suolo. Le informazioni disponibili sulle condizioni idriche dei suoli sono lacunose e limitate a periodi ristretti. Infatti, le misure in terreni irrigui non costituiscono una fonte attendibile per validare la simulazione condotta, che non tiene conto degli afflussi irrigui, ma solo delle precipitazioni, dovendo simulare le condizioni di bilancio naturale. Ci si è potuti quindi basare solo su alcune misure condotte con sonde capacitivie Sentek "Enviroscan", installate nelle seguenti località in periodi frammentari compresi tra agosto 2003 e settembre 2008, con sonde di profondità di 50 o 100 cm.



- Savignano (Pomarolo) (50 cm) - misure non considerate (vedere sez. "Risultati")
- Mezzolombardo (100 cm)
- S. Michele all'Adige (50 cm)

## 2.2.2 Mappe di grandezze di umidità del suolo

L'output di GEOtop produce mappe raster di una serie di grandezze, alcune delle quali (come quelle relative agli input spazializzati) hanno soprattutto un'utilità diagnostica. Alcune di esse sono riferite ai singoli livelli di profondità del suolo, altre sono relative alla superficie. In questa implementazione è stato chiesto al programma di calcolare le seguenti:

### Su singoli livelli di suolo (3D):

Contenuto volumetrico acqua liquida  
 Contenuto volumetrico acqua solida  
 Carico di pressione interstiziale.

### Su superficie (2D):

Equivalente in acqua della copertura nevosa  
 Altezza manto nevoso  
 Altezza acqua sul suolo  
 Radiazione solare incidente  
 Temperatura dell'aria  
 Flusso di calore  
 Flusso di calore sensibile  
 Flusso di calore latente  
 Precipitazione  
 Precipitazione netta (che raggiunge il suolo)  
 Evapotraspirazione dal suolo

I singoli oggetti "Rasterbrick", generati dalle funzioni della libreria *geotopbricks*, devono poi essere aggregati per poter essere analizzati in un'ottica climatologica. Sono stati pertanto gestiti (con procedure R) in modo tale da aggregare il dato giornaliero a livello mensile, producendo liste di oggetti Rasterbrick (caso 3D) o raster (caso 2D). Tali liste (salvate, p. es., come "lista\_map\_mean\_pri.lst" nelle sottocartelle delle rispettive variabili) contengono, pertanto, per ogni stagione, elenchi di oggetti Rasterbrick o raster aggregati mensilmente (per esempio mediati), lunghi quanto la durata del periodo di simulazione.

Nel primo livello di aggregazione (quello mensile) le funzioni implementabili sono le seguenti:

- media
- minimo
- massimo
- mediana (50° percentile)
- altri percentili (es. 10°, 90°)

Un secondo livello di aggregazione consente di analizzare il dato secondo una scala temporale di tipo climatologico, aggregando le mappe mensili sugli anni, sempre secondo le medesime funzioni ora elencate.

Il risultato di questa seconda aggregazione sono ancora liste che esprimono il valore aggregato sugli anni, riferito ad ogni mese. Come esempio, tali liste sono salvate come

"lista\_map\_mean\_mean.on.2002-2009\_12mesi.lst" (la media 2002-2009 delle medie mensili di una variabile, espressa o come "Rasterlayer" o come "Rasterbrick"). Si veda l'Appendice 2 per un dettaglio sul contenuto del DVD allegato.

Per relativizzare ogni grandezza alle condizioni medie dell'intera area, sono state anche create le mappe di anomalia (scostamento dai valori medi per l'intera area) e del rapporto (rapporto tra ogni valore e la media per l'intera area), che esprimono, rispettivamente:

$$SW_{an} = SW - \overline{SW} \quad SW_r = \frac{SW}{\overline{SW}}$$

dove  $SW_{an}$  = anomalia (entro mappa) del contenuto d'acqua  
 $SW$  = contenuto d'acqua  
 $\overline{SW}$  = contenuto d'acqua medio nella mappa  
 $SW_r$  = rapporto (entro mappa) tra contenuto d'acqua e contenuto d'acqua medio in mappa.

Dal valore di contenuto in acqua nei suoli (% volume) si può facilmente passare al contenuto relativo al valore massimo di acqua disponibile per il suolo (% saturazione - % residua), o umidità relativa del suolo.

$$SW_{rel} = \frac{SW - SW_{res}}{SW_{sat} - SW_{res}}$$

dove  $SW_{rel}$  = contenuto d'acqua relativo (%)  
 $SH$  = contenuto d'acqua volumetrico assoluto (%)  
 $SH_{sat}$  = contenuto d'acqua volumetrico a saturazione (%)  
 $SH_{res}$  = contenuto d'acqua volumetrico residuo (%)

Sono quindi state anche calcolate le mappe di questa grandezza.

### 2.3 Strumenti di calcolo

Le elaborazioni di GEOTop sono state condotte su server ad elevate prestazioni computazionali Ubuntu srv 64 versione 12.10 LTS equipaggiato con 28 Gb RAM e un processore virtuale esacore (Intel Xeon).

Tutte le pre- e post-elaborazioni sono state condotte con software statistico libero R (R Development Core Team, 2008). Per una gestione ottimale delle mappe generate, l'output su singoli livelli nel suolo, organizzato in mappe giornaliere, sono stati usati i tools geografici di R (<http://cran.r-project.org/>), in particolare i pacchetti "raster" (<http://cran.r-project.org/web/packages/raster>) e "geotopbricks" (<http://cran.r-project.org/web/packages/geotopbricks>) e <https://github.com/ecor/geotopbricks>), quest'ultimo appositamente creato all'interno del progetto. Sono state realizzate apposite librerie (*geotopbricks*, pubblicata sul repository di R-cran, e *geographyTrentinoVis* e *geotoppoints*, pubblicate sul repository github (<https://github.com/ecor/>), tutte scaricabili liberamente. Altre elaborazioni sono state realizzate con normale programmazione in R. Il pacchetto "geotopbricks", oltre a supportare gli oggetti ed i metodi del pacchetto "raster", contiene funzioni e metodi in grado di interrogare il file "geotop.inpts" con opportune keywords ed importare come oggetti R i dati di input/output di una simulazione di GEOTop. In particolare, le mappe di input e output vengono gestite all'interno di R come oggetti "Raster": "RasterLayer" o "RasterBrick" a seconda che rappresentino mappe di

variabili su superficie (2D) o sui singoli livelli di suolo (3D). Per ulteriori analisi di dati puntuali tabellati e visualizzazioni sono stati creati i pacchetti R di sviluppo “geotopoints” e “geographyTrentinoVis”, entrambi rilasciati come Software Libero con licenza GPL-v3 ([www.gnu.org](http://www.gnu.org)). Maggiori dettagli ed il codice R sui pacchetti si possono trovare su rispettivamente su <https://github.com/ecor/geotopoints> e <https://github.com/ecor/geographyTrentinoVis>.

Per la messa a punto del modello si sono resi necessari diversi esperimenti sui parametri. Il carico computazionale del modello è notevole, e non del tutto atteso. Lo spazio disco occupato dal solo output su mappa di GEOtop per una simulazione di 23 anni (1990 - 2012) è di circa 178 Gb. Nelle implementazioni realizzate, con la risoluzione a 500 m, il modello applicato sul server Ubuntu a disposizione, ha impiegato circa 19 giorni di calcolo per la simulazione nr. 11, alla quale si riferiscono i risultati contenuti nella presente relazione. Per assicurare la continuità all'interno della simulazione, ogni interruzione dovuta ad errori sui dati meteo, purtroppo riscontrati di frequente, comporta la reinizializzazione del modello e la ripartenza del calcolo dal primo giorno di simulazione.

La post elaborazione dei risultati si è mostrata anch'essa dispendiosa, in termini di tempo. Ogni operazione di aggregazione del dato su base mensile, condotta con R su PC, impiega un tempo variabile, a seconda del tipo di operazione, da alcune ore ad alcune decine di ore.

### 3. Risultati

Vengono analizzati in questa sezione l'andamento di alcune variabili di controllo del modello e quindi il contenuto idrico dei suoli in alcuni livelli scelti come riferimento tra i 9 della simulazione. Il periodo di simulazione, corrispondente alla disponibilità (anche parziale) dei dati meteorologici, è stato 1990 - 2012. E' necessario un certo tempo di simulazione affinché il modello stabilizzi il bilancio idrico a partire dalle condizioni iniziali arbitrarie, che sono sempre fornite in modo omogeneo per l'area e senza la conoscenza strumentale delle condizioni iniziali reali. Pertanto, i primi due anni di simulazione sono stati esclusi dall'analisi dei risultati, anche in considerazione della limitata copertura meteorologica oraria nel periodo.

#### 3.1 Validazione del modello con serie di misure puntuali

In sede di validazione del modello, sono state verificate le simulazioni delle principali grandezze di controllo: temperature del suolo, velocità del vento, radiazione solare, ecc... In generale i risultati sono compatibili con le misure di riferimento, considerando la risoluzione e le forti semplificazioni insite nella modellazione topografica, di copertura del suolo e della schematizzazione fisica dell'atmosfera.

Nella Fig. 3 viene rappresentata la velocità media del vento per i 5 punti di controllo. Si nota una buona rappresentazione della stagionalità, con rapporti tra inverno ed estate realistici, vicini a quelli misurati, e l'effetto importante della copertura, parametrizzata tramite l'altezza tipica degli ostacoli (nel caso dei 5 punti si tratta in tutti i casi di alberi), e della rugosità del suolo.

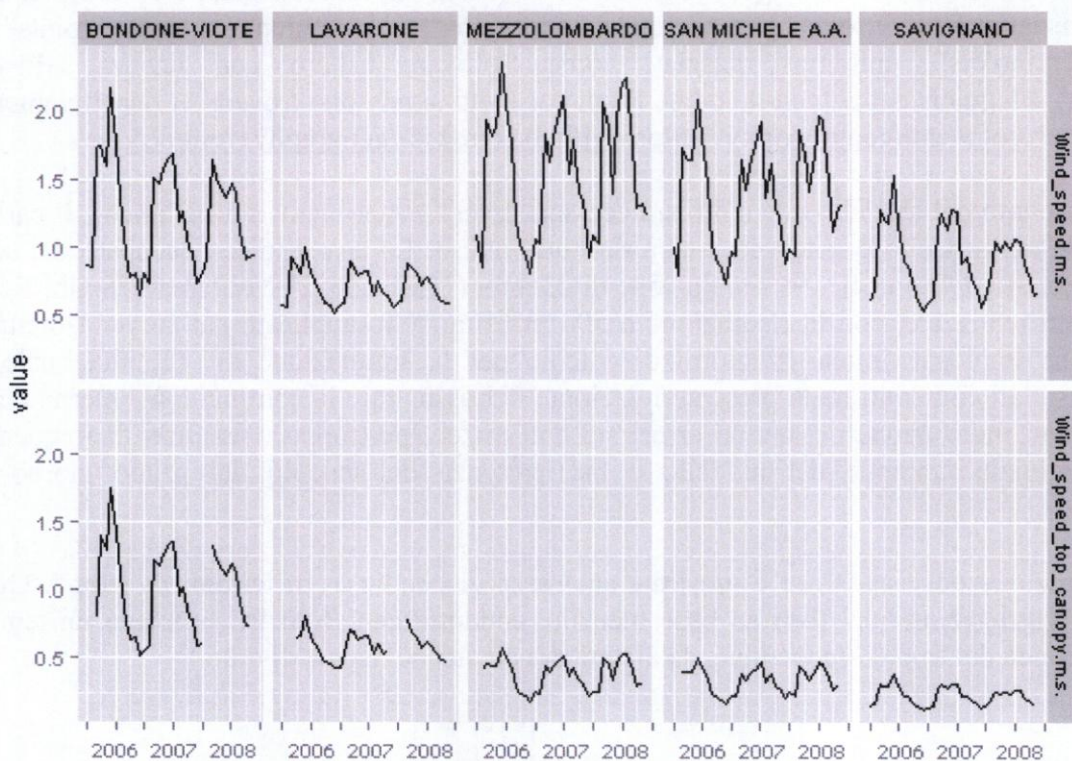


Fig. 3 - Simulazioni puntuali della velocità media del vento per il periodo 2006-2008 in 5 posizioni di controllo. Pannelli superiori: velocità media. Pannelli inferiori: velocità alla sommità della chioma delle piante

Nella Fig. 4 è rappresentata la temperatura del suolo simulata dal modello a tre diverse profondità (8, 23, 58 cm). Una verifica sui siti di fondovalle è possibile con la stazione di San Michele, che misura le temperature del suolo. Si riscontra una sottostima del modello fino a circa 2-3 °C rispetto ai dati misurati, con una corretta escursione termica. A differenza di quanto si riscontra nei dati misurati, il modello tende a prevedere il ghiacciamento del suolo anche al livello dello strato 4 (profondità media di 58 cm) e per periodi più lunghi negli strati superiori.

Nella Fig. 5 sono rappresentate le due componenti del flusso evapotraspirativo: dalla chioma, ad opera della traspirazione dalla vegetazione, e dal suolo (evaporazione). I valori simulati sono ben rappresentativi del regime evapotraspirativo tipico del clima regionale. Le differenze, anche importanti, tra una stazione e l'altra sono da attribuire al diverso uso del suolo (rispettivamente, dal primo punto all'ultimo: foresta di latifoglie [punto 1], foresta di conifere [punto 2], suolo agricolo [punti 3, 4, 5]). La differenza tra Mezzolombardo e S. Michele è da leggere anche in funzione dell'attribuzione del punto di Mezzolombardo, da parte di GEOTop, all'area soggetta al drenaggio di acqua nella Piana Rotaliana (vedere anche alla sezione Risultati).

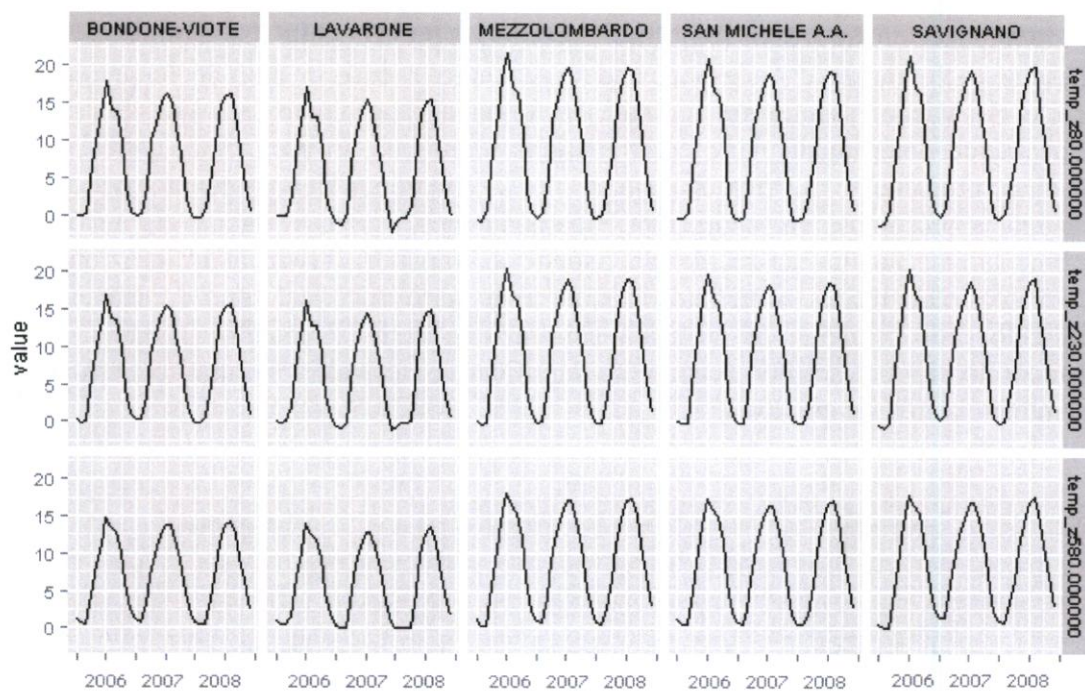


Fig. 4 - Simulazioni puntuali della temperatura media mensile del suolo per il periodo 2006-2008 in 5 posizioni di controllo. Prima riga: profondità media di 8 cm. Seconda riga: profondità media di 23 cm. Terza riga: profondità media di 58 cm.

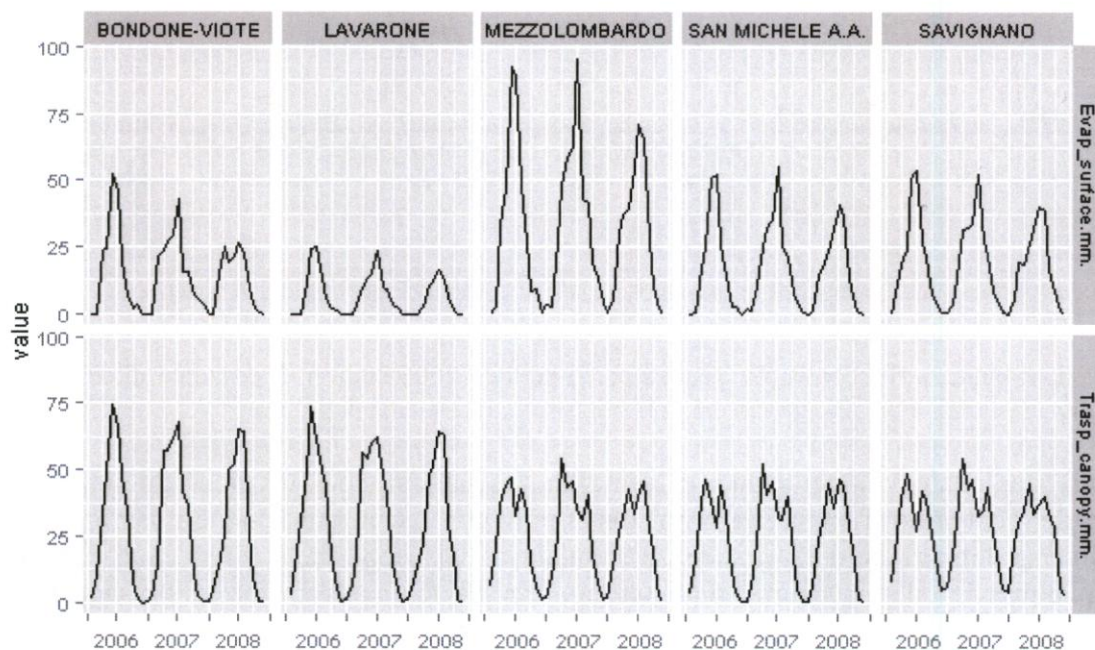


Fig. 5 - Simulazioni puntuali delle componenti di evapotraspirazione mensile per il periodo 2006-2008 in 5 posizioni di controllo. Prima riga: evaporazione dal suolo. Seconda riga: traspirazione dalla chioma.

Il confronto di maggiore interesse è naturalmente quello con i valori misurati di umidità del suolo. I dati misurati a Savignano non sono stati impiegati causa incongruenze sulle date contenute nel file di rilievo. Dall'esame delle Figg. 6 e 7 si evince che il contenuto d'acqua in suoli anche vicini, come Mezzolombardo e S. Michele, entrambi situati nel fondovalle rotaliano, sui due lati opposti dell'Adige, è fortemente determinato dalle caratteristiche idrauliche, in particolare dalle curve di ritenzione per ogni profondità. Si ricava pure come la dinamica del contenuto d'acqua sia fortemente attenuata a profondità crescenti, con andamento non troppo variabile già a 50 cm di profondità, e come la stagionalità sia marginale rispetto ai transitori dovuti all'infiltrazione delle precipitazioni. I valori maggiori di contenuto d'acqua, nelle serie misurate, sono da ritenere poco affidabili, risentendo probabilmente di un'errata calibrazione dello strumento. Tuttavia, si può notare come il modello abbia descritto un aumento significativo dei valori simulati corrispondente alla risalita misurata nella primavera 2008.

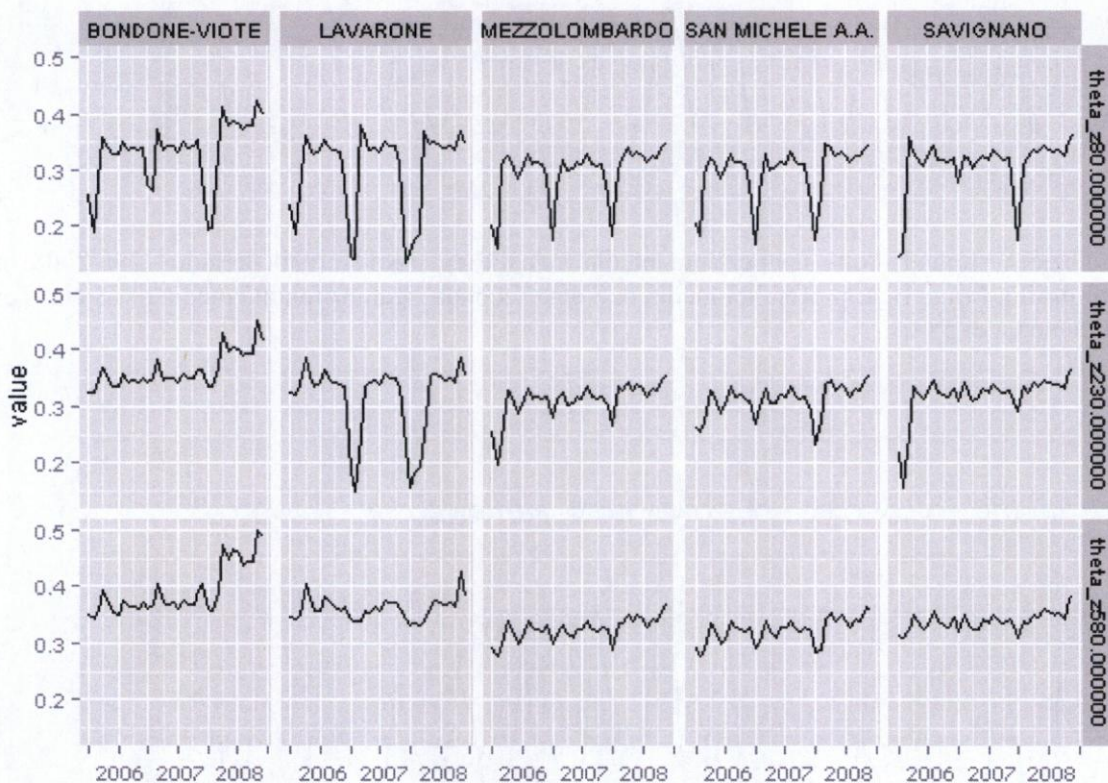


Fig. 6 - Simulazioni puntuali del contenuto d'acqua per il periodo 2006-2008 in 5 posizioni di controllo, a quattro profondità crescenti: 8 cm, 23 cm, 58 cm, 143 cm (profondità media dello strato)

Nell'andamento stagionale del contenuto di umidità simulato si nota un ricorrente, repentino abbassamento del contenuto d'acqua nei primi due strati (non riscontrabile nelle misure). Esso è dovuto alla diversa definizione della grandezza simulata da GEOTop, che si riferisce al contenuto liquido di acqua, pertanto il ghiacciamento del terreno implica automaticamente l'abbassamento dei valori fino alla prossimità con il valore di acqua residuo non disponibile.

In conclusione, il confronto dei dati di modello con le misure pregresse suggerisce di escludere il riscontro quantitativo dei valori, mentre convalida qualitativamente i risultati dell'applicazione GEOTop.

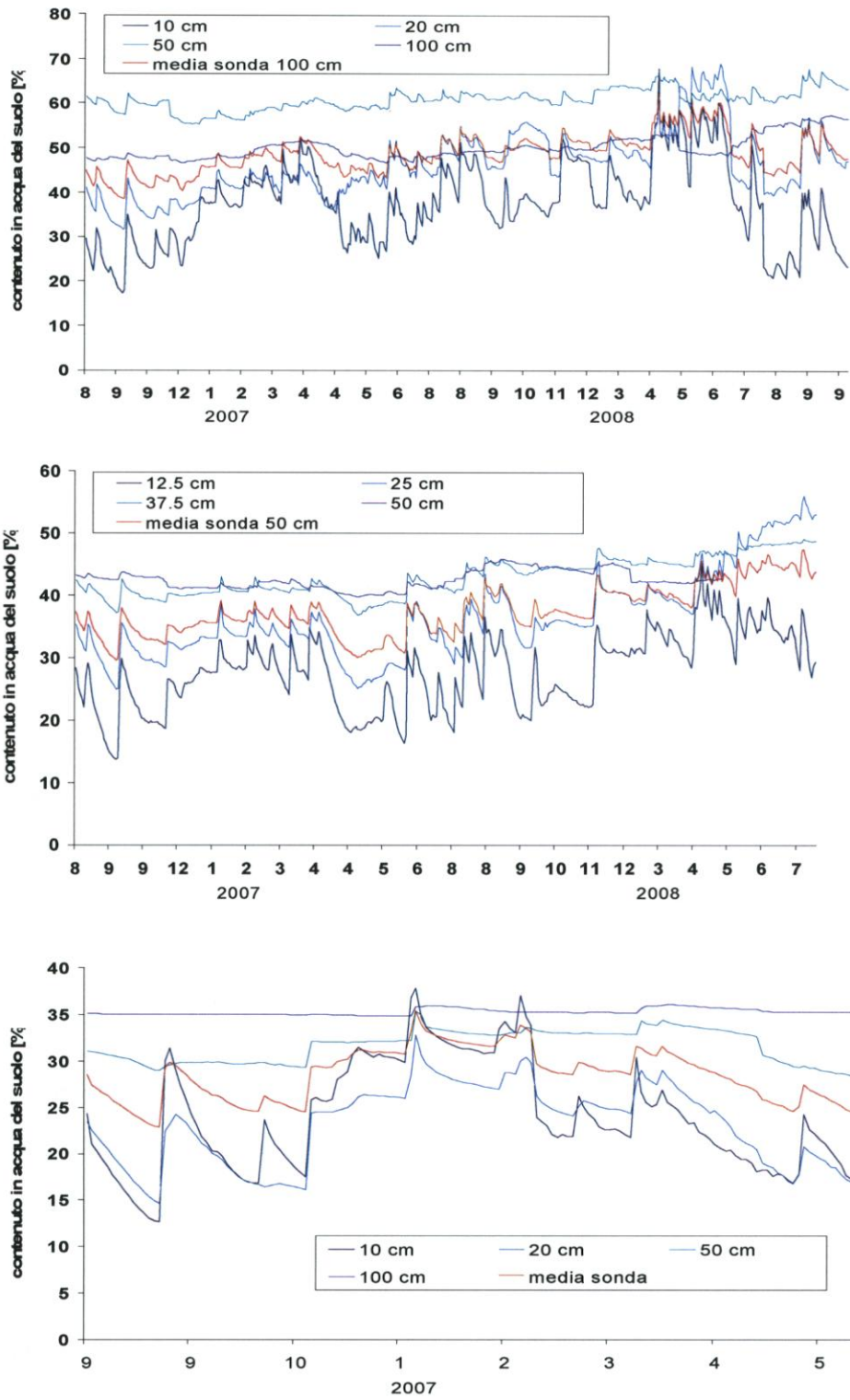


Fig. 7 - Misure di umidità del suolo – Dall'alto: Mezzolombardo, sonda da 100 cm; Mezzolombardo, sonda da 50 cm; San Michele (sonda da 100 cm).

### 3.2 Analisi delle mappe

Diverse misure del contenuto di acqua del suolo sono state elaborate ed analizzate; ogni aggregazione del dato parte da valori forniti da GEOtop come output giornaliero. I risultati sono sempre analizzati con aggregazione mensile, per il periodo 1992-2012 (21 anni). Sono stati calcolati:

- per il contenuto d'acqua del suolo:
  - il contenuto medio climatologico di acqua nel suolo (medie per diverse profondità di suolo, aggregate per mese);
  - i valori minimi;
  - i valori medi climatologici del 10° percentile calcolato sugli anni dei valori minimi mensili;
- e di queste grandezze sono state calcolate, subordinatamente, le elaborazioni seguenti:
  - il contenuto d'acqua relativo al valore teorico di "acqua disponibile" per il suolo;
  - le differenze rispetto ai valori medi di mappa;
  - i rapporti rispetto ai valori medi di mappa;
  - gli scostamenti tra elaborazioni diverse (es: il confronto tra valori medi e minimi sullo stesso periodo).
- per il carico idraulico:
  - i valori medi climatologici del 10° percentile calcolato sugli anni dei minimi mensili;
- per l'evapotraspirazione:
  - il valore medio sul mese

La combinazione possibile delle modalità di creazione delle mappe è vastissima; per questioni di spazio, in questa relazione vengono prese in considerazione solo alcune tipologie ritenute più significative. A parte poche eccezioni, si è scelto di esemplificare la rappresentazione con un mese primaverile (aprile) e uno estivo (luglio), più rappresentativo per gli aspetti critici di bilancio idrico, ad una profondità media di 23 cm (strato nr. 3).

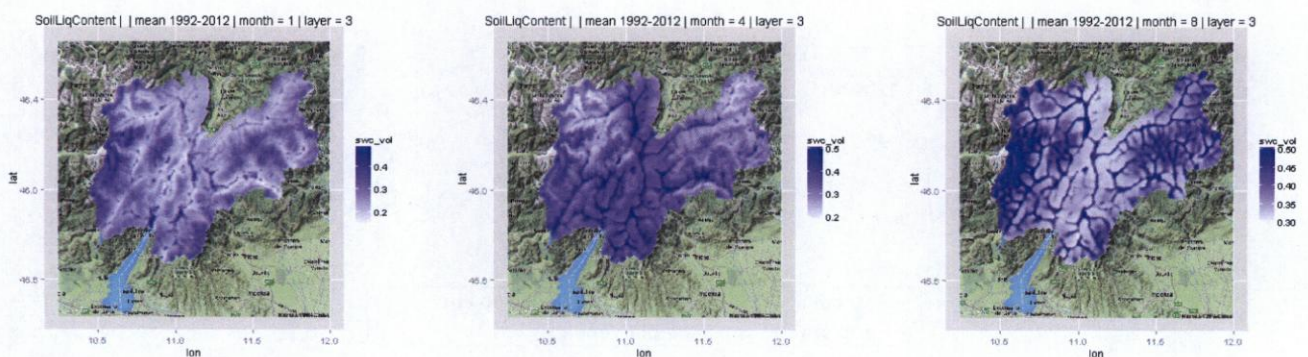


Fig. 8 - Contenuto medio di acqua nel suolo alla profondità media di 23 cm. Da sinistra a destra: gennaio, aprile, agosto.

La fig. 8 rappresenta le mappe per tre mesi dell'anno: gennaio, aprile e agosto. I valori invernali sono, in generale, determinati dalla presenza di neve e di suolo ghiacciato, che ostacola fortemente la dinamica del contenuto idrico. La grandezza di contenuto di acqua è relativa all'acqua effettivamente disponibile, ossia quella in forma liquida. I valori invernali, dunque, hanno un interesse relativo ai fini della determinazione delle condizioni di aridità, salvo per i casi di ghiacciamento spinto del suolo (vedere anche l'analisi delle serie puntuali), che in primavera può ancora manifestarsi in montagna e dare luogo a fenomeni di aridità fisiologica (Montagnani et al., 2005).



I valori di umidità medi vengono raggiunti e mantenuti a regime durante l'estate. Il pattern che se ne ricava è fortemente determinato dall'orografia, ma anche dalla pluviometria. Questi parametri determinano la gran parte della variabilità del bilancio idrico di un suolo. Dalla parte centrale dell'estate i valori di umidità medi tendono a stabilizzarsi, evidenziando bene le aree montane, più umide, e le fasce più soggette a condizioni di scarsa disponibilità.

Risultano ben evidenti le linee di impluvio (fondovalle) dove il modello simula bene la raccolta dell'acqua infiltrata. Talora la larghezza della Valle dell'Adige consente al modello di descrivere situazioni variate, non determinate dal semplice scorrimento dell'acqua, come invece avviene nelle vallate minori e dove, logicamente, il valore di saturazione non corrisponde a reali condizioni idriche del suolo, quanto piuttosto alla presenza di un corso d'acqua.

La Fig. 9 riprende il contenuto della Fig. 8, ma i valori sono in questo caso riferiti all'acqua disponibile per il tipo di suolo secondo le curve di ritenzione. Tale mappa, in presenza di tipi di suolo diversi, potrebbe riprodurre un pattern diverso da quello delle mappe del valore di contenuto d'acqua espresso su volume.

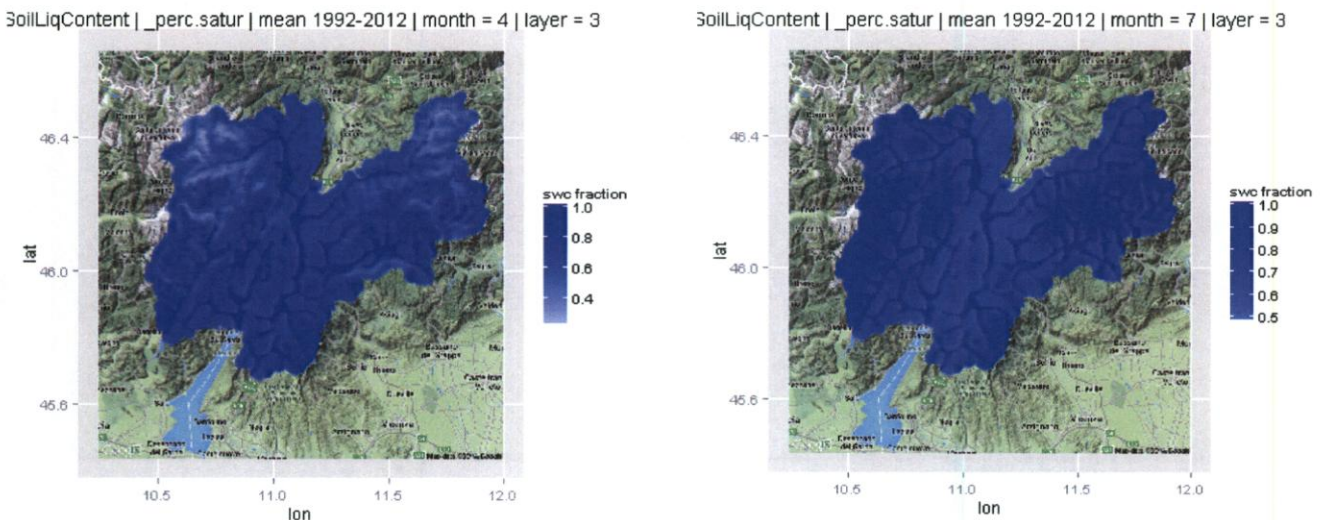
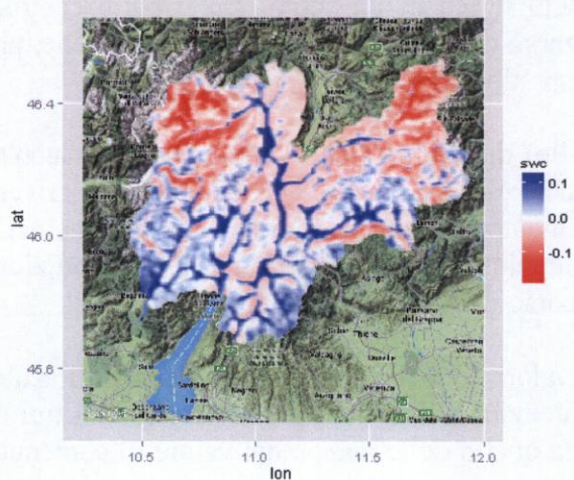


Fig. 9 - Contenuto medio di acqua nel suolo alla profondità media di 23 cm, valori riferiti al contenuto di acqua disponibile del suolo (frazione). Sinistra: aprile. Destra: luglio.

Risulta utile, per una visualizzazione efficace, riferire ogni valore della mappa al valore medio della mappa stesso. In questo modo si possono identificare con tonalità diverse i valori inferiori alla media, superiori ad essa, o vicini alla media stessa. E' ciò che è stato eseguito in Fig. 10, dove si evidenziano determinati pattern anche non semplicemente dipendenti dall'altimetria e/o dalla morfologia del territorio. Concettualmente simile l'elaborazione di Fig. 11, dove invece delle anomalie rispetto alla media sono stati calcolati i rapporti tra i valori di ogni punto in mappa e il valore medio di mappa. Come è logico attendersi, il pattern rappresentato non cambia.

ILiqContent | \_in-map\_anomalies | mean 1992-2012 | month = 4 | layer = 3



LiqContent | \_in-map\_anomalies | mean 1992-2012 | month = 7 | layer = 3

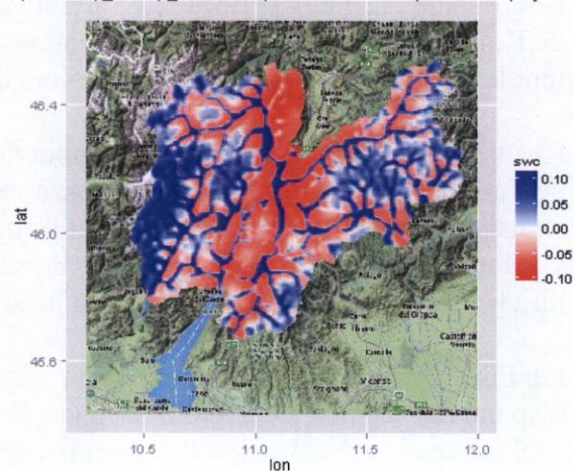
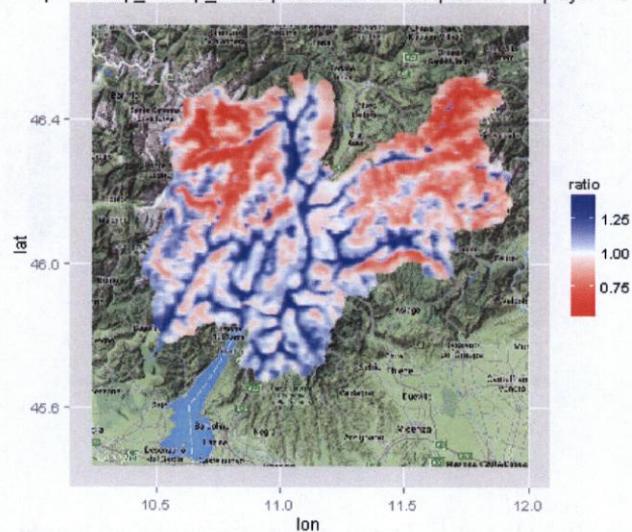


Fig. 10 - Come la Fig. 8, mappa delle differenze con i valori medi di mappa. Sinistra: aprile. Destra: luglio.

SoilLiqContent | \_in-map\_ratios | mean 1992-2012 | month = 4 | layer = 3



SoilLiqContent | \_in-map\_ratios | mean 1992-2012 | month = 7 | layer = 3

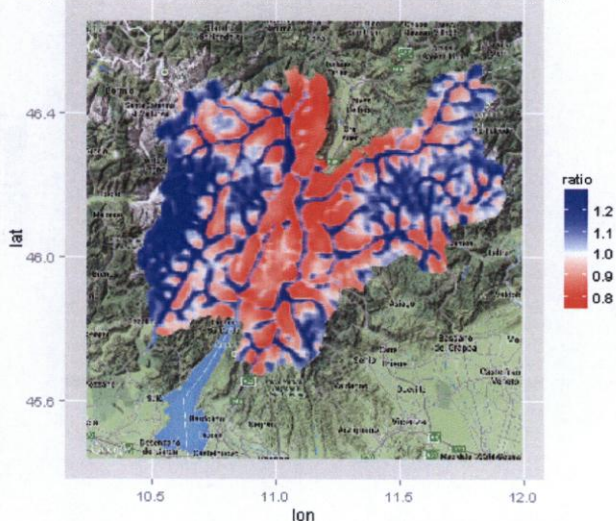


Fig. 11 - Come la Fig. 10, mappa dei rapporti con i valori medi di mappa

La Fig. 12 indica una misura di valore basso (il 10° percentile sugli anni dei minimi mensili) nel contenuto idrico. E' uno stimatore più robusto, rispetto al minimo assoluto del periodo, che può risentire di eventi particolarmente rari. Si noti come le aree montane siano relativamente poco soggette ad eventi siccitosi estivi, visto il regime pluviometrico che le interessa.

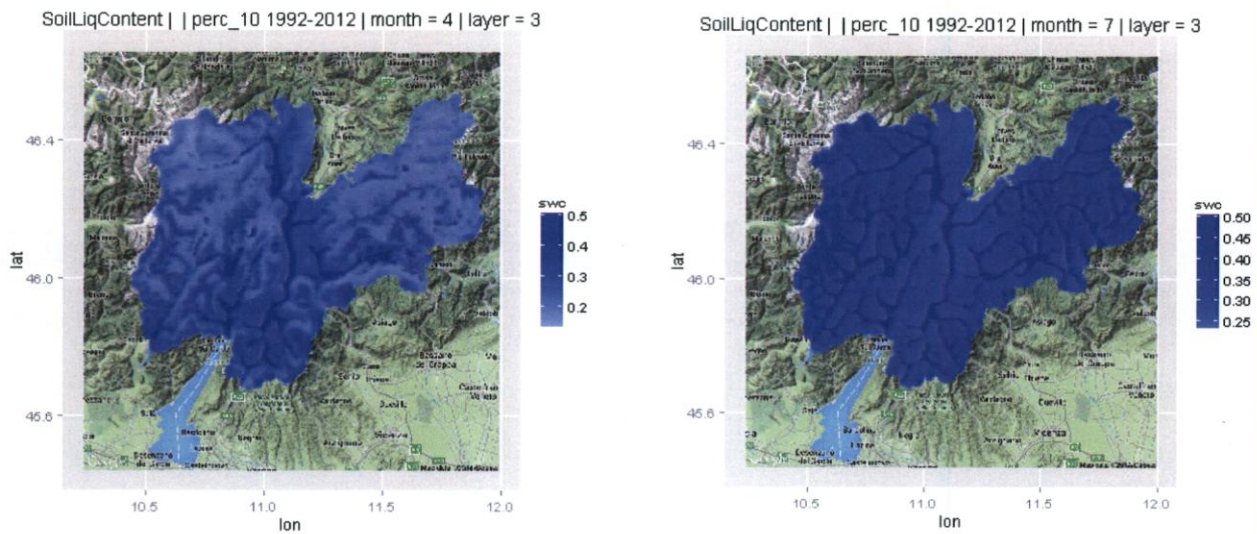


Fig. 12 - 10° percentile sugli anni dei minimi mensili del contenuto di acqua nel suolo alla profondità media di 23 cm. Sinistra: aprile. Destra: luglio.

Per ciò che riguarda le differenze nei diversi strati, sempre ricordando l'ipotesi di suolo uniforme sul territorio, si nota, in condizioni climatiche medie, quindi non interessate dal transitorio della bagnatura dovuta alle piogge, una buona uniformità negli strati di maggior interesse (fino a 60 cm). In Fig. 13 è rappresentato un esempio per il mese di aprile.

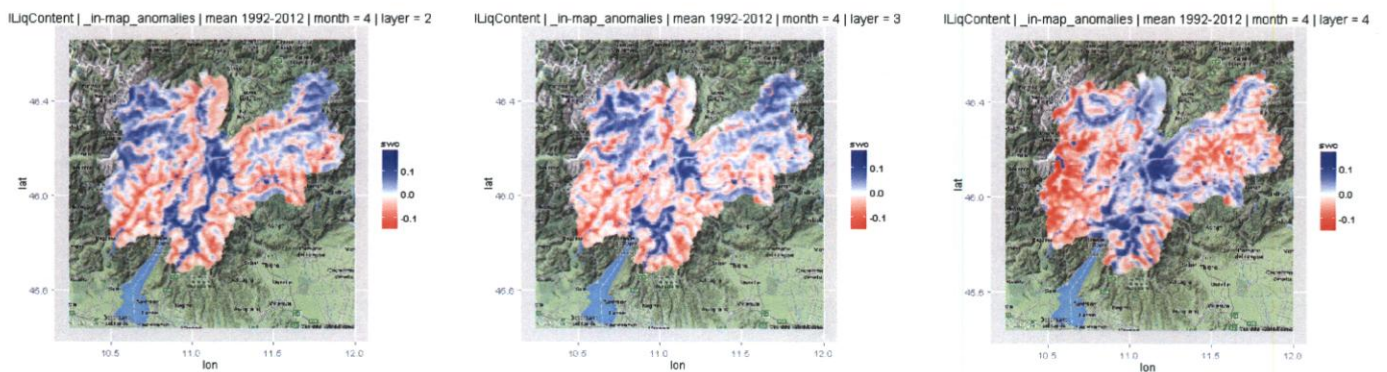
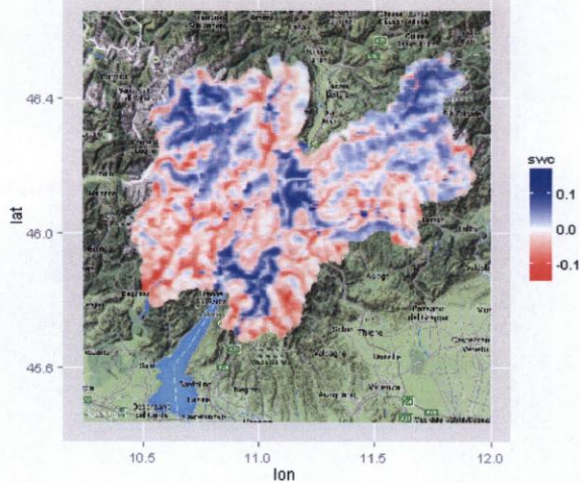


Fig. 13 - Contenuto medio di acqua nel suolo a tre profondità (da sinistra a destra: 8, 23 e 58 cm), mese di aprile – anomalie rispetto ai valori medi di mappa.

Infine, può essere di interesse analizzare le differenze che sussistono tra i valori minimi e quelli medi tipici del mese, nello stesso periodo. Nella Fig. 14 viene rappresentata tale differenza come anomalia entro la mappa. I valori più negativi indicano le zone più soggette ad una diminuzione del contenuto d'acqua rispetto ai valori medi del periodo. In particolare nei mesi estivi, tale mappa indica la maggiore esposizione potenziale di alcune aree ad eventi siccitosi.

SoilLiqContent | \_in-map\_anomalies | 1992-2012 | month = 4 | layer = 3



ILiqContent | \_in-map\_anomalies | mean 1992-2012 | month = 7 | layer = 3

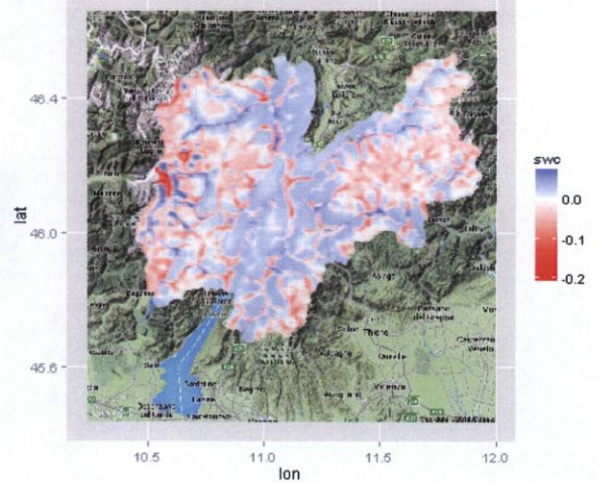
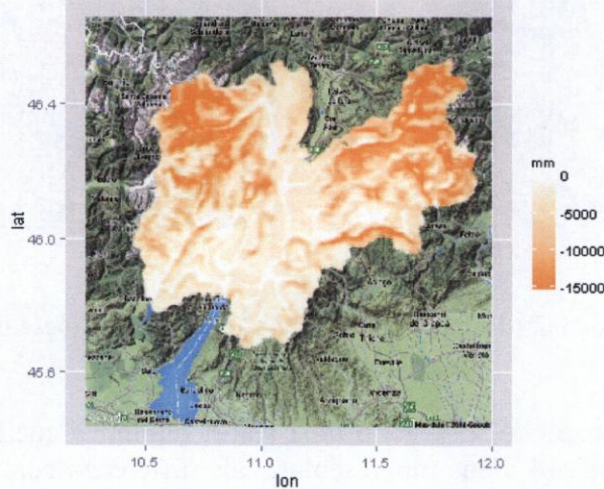


Fig. 14 - Differenza tra valori minimi e medi mensili del contenuto d'acqua alla profondità media di 23 cm, anomalie rispetto al valore medio di mappa. Sinistra: aprile. Destra: luglio.

Oltre alla misure di contenuto d'acqua, è utile un controllo sul carico di pressione, che indica il carico idraulico dell'acqua, ovvero la depressione (valori negativi), entro uno strato di suolo. Questa grandezza è stata in particolare analizzata nei suoi valori minimi tipici, aggregati sugli anni secondo il 10° percentile (Fig. 15). La mappa ripropone un pattern geografico che è stato già visto nelle simulazioni del contenuto d'acqua (Fig. 12).

SoilLiqWaterPress | | perc\_10 2006-2012 | month = 4 | layer = 3



SoilLiqWaterPress | | perc\_10 1992-2012 | month = 7 | layer = 3

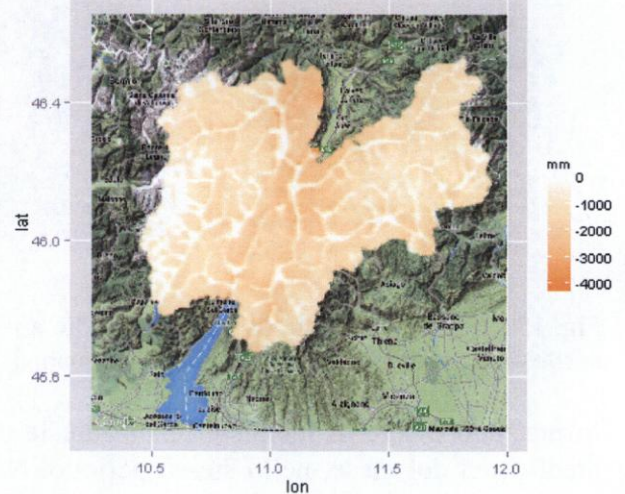


Fig. 15 - Carico di pressione sul suolo alla profondità media di 23 cm. Sinistra: aprile. Destra: luglio

Da ultimo, come controllo, si propongono due mappe della simulazione dell'evapotraspirazione dal suolo (una delle due componenti di modello del flusso evapotraspirativo totale – Fig. 16). I valori risultano ben compatibili con quanto misurabile, come già osservato per le serie puntuali.

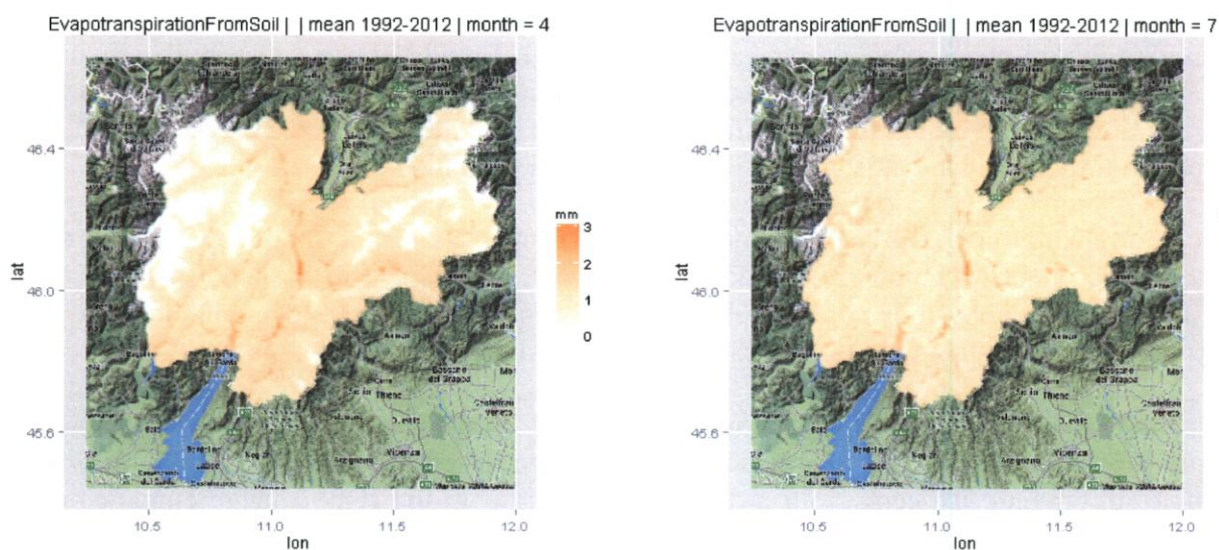


Fig. 16 - Mappe di evaporazione media dal suolo. Sinistra: aprile. Destra: luglio.

#### 4. Conclusioni, considerazioni sull'utilizzo dei risultati del progetto IdroClima per la definizione della climatologia dell'umidità dei suoli, sviluppi futuri

Il modello GEOTop è stato impiegato per simulare l'umidità dei suoli trentini, in condizioni teoriche di afflusso naturale (senza irrigazione) in un periodo sufficientemente lungo per attribuire una valenza climatologica all'indagine. Le simulazioni sono state condotte facendo uso di tutte le grandezze meteorologiche a disposizione (serie orarie). I dati di uso del suolo sono stati impostati secondo le destinazioni d'uso indicate in OpenData Trentino e CORINE Land Use.

I risultati indicano che le condizioni medie naturali, tipiche per ogni stagione, sono fortemente determinate dalle caratteristiche del suolo in termini di spessore e curve di ritenzione, le quali, nell'implementazione seguita, sono state impostate come costanti su tutto il territorio. E' questa certamente una limitazione importante, non prevista all'inizio del progetto, quando la disponibilità di tale informazione era data per assodata, sulla scorta della conoscenza dell'esistenza del dato pedologico presso l'ex Museo Tridentino di Scienze Naturali. Tuttavia, i risultati evidenziano che, anche nell'ipotesi di terreno omogeneo, si possono evidenziare differenze di comportamento idrologico, dovute in primo luogo alla conformazione, che favorisce o meno lo scorrimento verso valle, ma anche alla diversa pluviometria, ai diversi tassi evapotraspirativi (a loro volta, determinati principalmente dal gradiente di temperatura, ma anche dalla diversa copertura del suolo e dalla simulazione delle forzanti meteorologiche).

Allo stato attuale, il progetto IdroClima, oltre ad aver simulato una panoramica climatologica della presenza idrica nei suoli del Trentino, ha consentito di creare i presupposti conoscitivi tecnico-scientifici per applicare il modello anche a simulazioni ulteriori, che potranno, volta per volta, affinare ed estendere i risultati, in particolare:

- con ulteriori conoscenze pedologiche, che potranno risultare da una mappa dei suoli digitale e/o dall'applicazione di algoritmi di analisi pedo-morfologica (carta dei pedo-paesaggi);
- con ulteriori calibrazioni condotte con misure di umidità del suolo misurata ad ampia scala;
- per simulazioni da condurre per scenari climatici futuri, da confrontare con le condizioni presenti.

In relazione a quest'ultimo aspetto, è utile considerare che il periodo circa ventennale di disponibilità di dati meteorologici orari, all'incirca dal 1992 al 2012, non consente di visualizzare cambiamenti importanti nel regime idrologico naturale dei suoli, visto che le precipitazioni non hanno subito variazioni importanti, in particolare in estate (cfr. p.es. Di Piazza e Eccel, 2012), e che il periodo di forte riscaldamento è avvenuto entro la fine degli anni '80.

Per ciò che riguarda la possibilità di visualizzare e consultare le mappe prodotte con strumenti di interfaccia con l'utenza, come la piattaforma ENVIRO, si ritiene che il percorso potrà essere piuttosto semplice, essendo i prodotti elaborati dall'output di GEOtop oggetti "Rasterlayer" o "Rasterbrick", facilmente importabili e gestibili dalla piattaforma stessa.

In relazione ad una possibile applicazione a proiezioni climatiche per il futuro, le conoscenze acquisite presso la Piattaforma "Dinamiche degli agroecosistemi" potrebbero essere valorizzate nell'ambito di progetti di ricerca volti a determinare gli impatti del cambiamento climatico atteso sull'idrologia dei suoli. In particolare, oltre alle competenze acquisite per le simulazioni con GEOtop, la Piattaforma ha realizzato sia un generatore stocastico di dati giornalieri di precipitazione e temperatura (RMAWGEN - Cordano and Eccel, 2011; Cordano and Eccel, 2012; Cordano and Eccel, *submitted*), sia un algoritmo di interpolazione oraria di temperatura (Interpol.T - Eccel, 2010), entrambe pubblicate come librerie R (<http://cran.r-project.org/>), che potrebbero essere utilmente impiegate per simulazioni di scenari futuri ad elevata risoluzione.

## RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano Daniele Andreis (FEM), Giacomo Bertoldi (EURAC), Matteo dell'Amico (Mountain.eering) e Stefano Endrizzi per il loro sostegno nell'applicazione di GEOtop. Progetto cofinanziato dal "Fondo Cambiamenti Climatici" - PAT, 2012. Un grazie ad Andrea Cattani (FEM) per l'assistenza informatica fornita.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Cordano, E., and Eccel, E. (2011): RMAWGEN: Simulations of future weather scenarios with a stochastic Monte-Carlo generator (<http://cran.rproject.org/web/packages/RMAWGEN/>)

Cordano, E., and Eccel, E., (2012): RMAWGEN: A software project for a daily Multi-Site Weather Generator with R. Geophysical Research Abstracts Vol. 14, EGU2012-14026, 2012 EGU General Assembly 2012. [http://presentations.copernicus.org/EGU2012-14026\\_presentation.pdf](http://presentations.copernicus.org/EGU2012-14026_presentation.pdf)

Cordano, E., and Eccel, E.: RMAWGEN Daily Weather Generator: a smart simulation for daily temperature and precipitation. Submitted to Environmental Modelling & Software

Cordano, E. (2006): Subsurface flow in a catchment: theoretical tools. PhD Thesis. Doctoral School of Fluid Dynamics and Environmental Engineering Processes, Genova.

Di Piazza, A. Eccel, E. (2012): Analisi di serie giornaliere di temperatura e precipitazione in Trentino nel periodo 1958-2010. Provincia Autonoma di Trento e Fondazione E. Mach. 88 pp.

Eccel, E. (2010): What we can ask to hourly temperature recording. Part II: hourly interpolation of temperatures for climatology and modelling. Italian Journal of Agrometeorology XV(2):45-50.

Endrizzi, S., Dall'Amico, M., Gruber, S., and Rigon, R. (2011): GEOtop Users Manual. Dispon. in [www.geotop.org](http://www.geotop.org)

Endrizzi, S., Gruber, S., Dall'Amico, M., and Rigon, R. (2013): GEOtop 2.0: simulating the combined energy and water balance at and below the land surface accounting for soil freezing, snow cover and terrain effects. *Geoscientific Model Development Discussion*, 6:6279–6341.

Endrizzi, S., and P. Marsh (2010): Observations and modeling of turbulent fluxes during melt at the shrub-tundra transition zone 1: point scale variations, *Hydrology Research*, 41(6), 471–491.

Jarvis A., Reuter, H.I., Nelson, A., Guevara, E. (2008): Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), available from <http://srtm.csi.cgiar.org>.

Liston, G., and K. Elder (2006): A meteorological distribution system for high-resolution terrestrial modeling (MicroMet), *Journal of Hydrometeorology*, 7(2), 217–234.

Montagnani, L., Maresi, G., Dorigatti, C., Bertagnolli, A., Eccel, E., Zorer, R., Bertamini, M. (2005): Winter depression and spring recovering of photosynthetic function of five coniferous species in the treeline zone of the Southern Alps (Trentino - South Tyrol). *Studi Trentini di Scienze Naturali, Acta Biologica*, 81(2004):227-244

Mualem, Y. (1976): A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.*, 12: 513-522

R Development Core Team (2008): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0 URL <http://www.R-project.org>

Reuter H.I, Nelson, A., Jarvis, A. (2007): An evaluation of void filling interpolation methods for SRTM data, *International Journal of Geographic Information Science*, 21:9, 983-1008.

Rigon, R., G. Bertoldi, and T. M. Over (2006): GEOtop: a distributed hydrological model with coupled water and energy budgets, *J. Hydromet.*, 7, 371–388.

Van Genuchten, M.T. (1980): A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal* 44 (5): 892–898.

## Appendice 1

### *Parametri di calcolo impostati nella simulazione 11 di GEOTop*

```
!=====
! GENERAL SETTINGS
!=====

! Catchment centroid (for Sun position)
Latitude = 46.0667
Longitude= 11.1167
StandardTimeSimulation = 1

! Simulation settings
WaterBalance = 1
EnergyBalance = 1

!Output timeseries Dt in hours
DtPlotDischarge = 1
DtPlotPoint = 1
DtPlotBasin = 24

!Output maps Dt in hours
OutputSoilMaps = 24
OutputSurfEBALMaps = 24
OutputMeteoMaps = 24
OutputSnowMaps = 24
OutputGlacierMaps=24
OutputVegetationMaps=24

!=====
! METEO STATIONS
!=====
! Station 0001 FEMid: st21 Name: Ronzo Chienis
! Station 0002 FEMid: st22 Name: Faedo - Maso Togn
! Station 0003 FEMid: st23 Name: Lomaso
! Station 0004 FEMid: st24 Name: Baselga di Pine'
! Station 0005 FEMid: st25 Name: Denno
! Station 0006 FEMid: st26 Name: Rovereto
! Station 0007 FEMid: st27 Name: S. Michele a/A
! Station 0008 FEMid: st28 Name: Borgo Valsugana
! Station 0009 FEMid: st29 Name: Arco
! Station 0010 FEMid: st30 Name: Ala
! Station 0011 FEMid: st31 Name: Cles
! Station 0012 FEMid: st32 Name: Trento Sud
! Station 0013 FEMid: st81 Name: Telve
! Station 0014 FEMid: st82 Name: Storo
! Station 0015 FEMid: st83 Name: Cavedine
! Station 0016 FEMid: st84 Name: Fondo
! Station 0017 FEMid: st85 Name: Bezzecca
! Station 0018 FEMid: st86 Name: Vigolo Vattaro
! Station 0019 FEMid: st87 Name: Predazzo
! Station 0020 FEMid: st88 Name: Caldes
! Station: 0021.txt MeteoTrentino id: T0001 Name: Pergine Valsugana (Convento)
! Station: 0022.txt MeteoTrentino id: T0008 Name: Paneveggio
! Station: 0023.txt MeteoTrentino id: T0009 Name: Centa San Nicolo'
! Station: 0024.txt MeteoTrentino id: T0010 Name: Levico (Terme)
! Station: 0025.txt MeteoTrentino id: T0014 Name: Telve (Pontarso)
! Station: 0026.txt MeteoTrentino id: T0015 Name: Bieno
! Station: 0027.txt MeteoTrentino id: T0018 Name: Pieve Tesino (O.P. Enel)
! Station: 0028.txt MeteoTrentino id: T0021 Name: San Martino di Castrozza
! Station: 0029.txt MeteoTrentino id: T0024 Name: Passo Cereda
! Station: 0030.txt MeteoTrentino id: T0030 Name: Canal San Bovo
! Station: 0031.txt MeteoTrentino id: T0032 Name: Lavarone (Chiesa)
! Station: 0032.txt MeteoTrentino id: T0038 Name: San Michele All'Adige
! Station: 0033.txt MeteoTrentino id: T0063 Name: Pian Palu' (Diga)
! Station: 0034.txt MeteoTrentino id: T0064 Name: Peio
! Station: 0035.txt MeteoTrentino id: T0065 Name: Careser (Diga)
! Station: 0036.txt MeteoTrentino id: T0068 Name: Cogolo Pont (Centrale)
```



! Station: 0037.txt MeteoTrentino id: T0069 Name: Passo Tonale  
 ! Station: 0038.txt MeteoTrentino id: T0071 Name: Mezzana  
 ! Station: 0039.txt MeteoTrentino id: T0074 Name: Male'  
 ! Station: 0040.txt MeteoTrentino id: T0075 Name: Rabbi (Somrabbi)  
 ! Station: 0041.txt MeteoTrentino id: T0080 Name: Fondo  
 ! Station: 0042.txt MeteoTrentino id: T0082 Name: Passo Mendola  
 ! Station: 0043.txt MeteoTrentino id: T0083 Name: Cles (Convento)  
 ! Station: 0044.txt MeteoTrentino id: T0088 Name: Tres  
 ! Station: 0045.txt MeteoTrentino id: T0090 Name: Mezzolombardo (Convento)  
 ! Station: 0046.txt MeteoTrentino id: T0092 Name: Pian Fedaiia (Diga)  
 ! Station: 0047.txt MeteoTrentino id: T0094 Name: Passo Costalunga  
 ! Station: 0048.txt MeteoTrentino id: T0096 Name: Moena (Diga Pezze')  
 ! Station: 0049.txt MeteoTrentino id: T0099 Name: Cima Paganella  
 ! Station: 0050.txt MeteoTrentino id: T0101 Name: Zambana (Idrovora)  
 ! Station: 0051.txt MeteoTrentino id: T0102 Name: Predazzo (Centrale)  
 ! Station: 0052.txt MeteoTrentino id: T0103 Name: Passo Rolle  
 ! Station: 0053.txt MeteoTrentino id: T0104 Name: Passo Valles  
 ! Station: 0054.txt MeteoTrentino id: T0107 Name: Cavalese (Convento)  
 ! Station: 0055.txt MeteoTrentino id: T0109 Name: Val Cadino (Segheria Canton)  
 ! Station: 0056.txt MeteoTrentino id: T0113 Name: Grumes  
 ! Station: 0057.txt MeteoTrentino id: T0114 Name: Valda  
 ! Station: 0058.txt MeteoTrentino id: T0115 Name: Segonzano (Gresta)  
 ! Station: 0059.txt MeteoTrentino id: T0116 Name: Segonzano (Scancio)  
 ! Station: 0060.txt MeteoTrentino id: T0118 Name: Cembra  
 ! Station: 0061.txt MeteoTrentino id: T0119 Name: Lisignago  
 ! Station: 0062.txt MeteoTrentino id: T0129 Name: Trento (Laste)  
 ! Station: 0063.txt MeteoTrentino id: T0135 Name: Trento (Roncafort)  
 ! Station: 0064.txt MeteoTrentino id: T0136 Name: Trento (Ufficio)  
 ! Station: 0065.txt MeteoTrentino id: T0137 Name: Trento (Piazza Vittoria)  
 ! Station: 0066.txt MeteoTrentino id: T0139 Name: Sant'Orsola Terme  
 ! Station: 0067.txt MeteoTrentino id: T0141 Name: Sternigo  
 ! Station: 0068.txt MeteoTrentino id: T0142 Name: Povo  
 ! Station: 0069.txt MeteoTrentino id: T0144 Name: Monte Bondone  
 ! Station: 0070.txt MeteoTrentino id: T0146 Name: Aldeno (San Zeno)  
 ! Station: 0071.txt MeteoTrentino id: T0147 Name: Rovereto  
 ! Station: 0072.txt MeteoTrentino id: T0148 Name: Terragnolo (Piazza)  
 ! Station: 0073.txt MeteoTrentino id: T0149 Name: Vallarsa (Diga di Speccheri)  
 ! Station: 0074.txt MeteoTrentino id: T0150 Name: Vallarsa (Foxi)  
 ! Station: 0075.txt MeteoTrentino id: T0151 Name: Mori (Loppio)  
 ! Station: 0076.txt MeteoTrentino id: T0152 Name: Brentonico  
 ! Station: 0077.txt MeteoTrentino id: T0153 Name: Ala (Ronchi)  
 ! Station: 0078.txt MeteoTrentino id: T0154 Name: Ala (Convento)  
 ! Station: 0079.txt MeteoTrentino id: T0166 Name: Val Di Genova (O.P. Enel)  
 ! Station: 0080.txt MeteoTrentino id: T0167 Name: Pradalago (Rifugio Viviani)  
 ! Station: 0081.txt MeteoTrentino id: T0168 Name: Passo Campo Carlo Magno  
 ! Station: 0082.txt MeteoTrentino id: T0169 Name: Monte Groste' (Rifugio Graffer)  
 ! Station: 0083.txt MeteoTrentino id: T0174 Name: Giustino (Dos Del Sabion)  
 ! Station: 0084.txt MeteoTrentino id: T0175 Name: Pinzolo  
 ! Station: 0085.txt MeteoTrentino id: T0177 Name: Val di Breguzzo (Ponte Arno')  
 ! Station: 0086.txt MeteoTrentino id: T0178 Name: La Rocca (Centrale)  
 ! Station: 0087.txt MeteoTrentino id: T0179 Name: Tione  
 ! Station: 0088.txt MeteoTrentino id: T0182 Name: Montagne (Larzana)  
 ! Station: 0089.txt MeteoTrentino id: T0186 Name: Nembia (Centrale)  
 ! Station: 0090.txt MeteoTrentino id: T0189 Name: Santa Massenza (Centrale)  
 ! Station: 0091.txt MeteoTrentino id: T0190 Name: Lago Di Cavedine  
 ! Station: 0092.txt MeteoTrentino id: T0192 Name: Arco  
 ! Station: 0093.txt MeteoTrentino id: T0193 Name: Torbole (Belvedere)  
 ! Station: 0094.txt MeteoTrentino id: T0200 Name: Tenno  
 ! Station: 0095.txt MeteoTrentino id: T0203 Name: Forte D'Ampola  
 ! Station: 0096.txt MeteoTrentino id: T0204 Name: Bezzecca  
 ! Station: 0097.txt MeteoTrentino id: T0210 Name: Folgaria  
 ! Station: 0098.txt MeteoTrentino id: T0212 Name: Spormaggiore  
 ! Station: 0099.txt MeteoTrentino id: T0222 Name: Borgo Valsugana  
 ! Station: 0100.txt MeteoTrentino id: T0231 Name: Campestrin  
 ! Station: 0101.txt MeteoTrentino id: T0232 Name: Lodrone (frana)  
 ! Station: 0102.txt MeteoTrentino id: T0236 Name: Romeno  
 ! Station: 0103.txt MeteoTrentino id: T0322 Name: Arco (Arboreto)  
 ! Station: 0104.txt MeteoTrentino id: T0323 Name: Campodenno (frana)  
 ! Station: 0105.txt MeteoTrentino id: T0324 Name: Prezzo (frana)  
 ! Station: 0106.txt MeteoTrentino id: T0325 Name: Villa Rendena (frana)

```

! Station: 0107.txt MeteoTrentino id: T0326 Name: Vigolo Vattaro (frana)
! Station: 0108.txt MeteoTrentino id: T0327 Name: Monte Bondone (Giardino Botanico)
! Station: 0109.txt MeteoTrentino id: T0354 Name: Tremalzo
! Station: 0110.txt MeteoTrentino id: T0355 Name: Passo Brocon
! Station: 0111.txt MeteoTrentino id: T0360 Name: Passo Tonale
! Station: 0112.txt MeteoTrentino id: T0363 Name: Vallarsa (Malga Boffetal)
! Station: 0113.txt MeteoTrentino id: T0364 Name: Vermiglio (Capanna Presena)
! Station: 0114.txt MeteoTrentino id: T0365 Name: Cima Presena
! Station: 0115.txt MeteoTrentino id: T0366 Name: Peio
! Station: 0116.txt MeteoTrentino id: T0367 Name: Cavalese
! Station: 0117.txt MeteoTrentino id: T0368 Name: Monte Bondone (Viote)
! Station: 0118.txt MeteoTrentino id: T0369 Name: Passo Sommo
! Station: 0119.txt MeteoTrentino id: T0370 Name: Storo (Lodrone)
! Station: 0120.txt MeteoTrentino id: T0371 Name: Lases (frana)
! Station: 0121.txt MeteoTrentino id: T0372 Name: Monte Vioz (Rifugio Mantova)
! Station: 0122.txt MeteoTrentino id: T0373 Name: Daone (Malga Bissina)
! Station: 0123.txt MeteoTrentino id: T0374 Name: Rovereto (Malga Zugna)
! Station: 0124.txt MeteoTrentino id: T0375 Name: Marmolada (Pian Dei Fiacconi)
! Station: 0125.txt MeteoTrentino id: T0376 Name: Tesero (Pala De Santa)
! Station: 0126.txt MeteoTrentino id: T0377 Name: Cima Rosetta
! Station: 0127.txt MeteoTrentino id: T0436 Name: Ragoli (Rifugio Alimonta)
! Station: 0128.txt MeteoTrentino id: T0443 Name: Brentonico (Santa Caterina)
! Station: 0129.txt MeteoTrentino id: T0450 Name: San Martino di Castrozza
! Station: 0130.txt MeteoTrentino id: T0469 Name: Castello Tesino (Le Parti)
!
!

```

NumberOfMeteoStations=130

```

!=====
!RATES OF DECREASE WITH ELEVATION
!=====

```

```

!K/1000m
LapseRateTemp = 5.1
LapseRateDewTemp = 2.5
!mm/1000m
LapseRatePrec = -0.2

```

```

SnowCorrFactor = 1.3
!WindSp = 2

```

PrecAsIntensity = 24

```

!=====
! LAND COVER
!=====

```

```

!Urban1, Pasture 2, Grassland 3, Agricultural 4, Broad leaf forest 5,
Coniferous forest 6, Mixed forest 7,
!Bare Rocks 8, Bare Soils 9, Glacier 10, Lake/Marsh 11

```

```

NumLandCoverTypes = 11
SoilRoughness = 10,10,10,10,10,10,10,10,10,10,1,1
ThresSnowSoilRough = 10,10,10,10,10,10,10,10,10,10,10,10
VegHeight = 0,200,600,3000,9000,9000,9000,0,0,0,0
ThresSnowVegUp = 50,50,50,50,50,50,50,50,50,50
ThresSnowVegDown = 10,10,10,10,10,10,10,10,10,10,10,10
LSAI = 0,2,5,5,6,6,6,0,0,0,0
CanopyFraction = 0,0.7,1,1,1,1,1,0,0,0,0
DecayCoeffCanopy = 2.5,2.5,2.5,2.5,2.5,2.5,2.5,2.5,2.5,2.5,2.5
VegSnowBurying = 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
RootDepth = 0,200,300,500,700,700,700,0,0,0,0
MinStomatalRes = 60,60,60,60,60,60,60,60,60,60,60
VegReflectVis = 0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1
VegReflNIR = 0.58,0.58,0.58,0.58,0.58,0.58,0.58,0.58,0.58,0.58,0.58
VegTransVis = 0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05
VegTransNIR = 0.25,0.25,0.25,0.25,0.25,0.25,0.25,0.25,0.25,0.25,0.25
LeafAngles = 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0

```

```

CanDensSurface = 2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2
SoilAlbVisDry = 0.15,0.15,0.15,0.15,0.15,0.15,0.15,0.15,0.15,0.15,0.15,0.15
SoilAlbNIRDry = 0.25,0.25,0.25,0.25,0.25,0.25,0.25,0.25,0.25,0.25,0.25,0.25
SoilAlbVisWet = 0.15,0.15,0.15,0.15,0.15,0.15,0.15,0.15,0.15,0.15,0.15,0.15
SoilAlbNIRWet = 0.25,0.25,0.25,0.25,0.25,0.25,0.25,0.25,0.25,0.25,0.25,0.25
SoilEmissiv = 0.96,0.96,0.96,0.96,0.96,0.96,0.96,0.96,0.96,0.96,0.96,0.96
SurFlowResLand = 0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05
SurFlowResExp = 0.667,0.667,0.667,0.667,0.667,0.667,0.667,0.667,0.667,0.667,0.667,0.667

```

```

=====
! SOIL
!=====

```

```

SoilParFile = "soil/soil"
SoilLayerTypes = 9
SoilMapFile = "soiltype"

```

```

!InitWaterTableDepth = 2000
! [C]
InitSoilTemp = 0
! [-]
WiltingPoint = 0.15
ThermalConductivitySoilSolids = 2.5
!
ThermalCapacitySoilSolids = 2.30E+06
! [mm^-1]
FrozenSoilHydrCondReduction = 0
! [mm]

```

```

!=====
! SNOW AND GLACIERS
!=====

```

```

MaxWaterEqSnowLayerContent=10
SWETop=40
SWEbottom=20
MaxSnowLayersMiddle=5

```

```

InitGlacierDensity = 700
InitGlacierTemp = -5

```

```

!MaxWaterEqGlacLayerContent=50
!GWETop=300
!GWEbottom=100
! MaxGlacLayersMiddle=3

```

```

!=====
! CHANNELS
!=====

```

```

RatioChannelWidthPixelWidth = 0.1
! in [mm]
ChannelDepression = 2000

```

```

ThresWaterDepthLandInf = 5
ThresWaterDepthLandSup = 50
SurFlowResChannel = 20
ThresWaterDepthChannel = 100

```

```

!=====
!Numerical parameters
!=====

```

```

RichardTol = 1.E-2
MinLambdaWater = 1.E-8
RichardMaxIter = 500
ExitMinLambdaWater = 1
UpdateHydraulicConductivity = 0

```

```

MinRatioKactualToKSat = 1E-8

MaxTimesHalvingTimeStepWater = 20
MaxCourantSupFlowLand = 0.1
MaxCourantSupFlowChannel = 0.1
MinSupWaterDepthLand = 1
MinSupWaterDepthChannel = 1
MinDiffSupWaterDepthLandChannel = 5

MinTimeStep = 0.1
MinTimeStepSupFlow = 0.001

HeatEqTol = 1.E-4
HeatEqMaxIter = 200
MaxTimesHalvingTimeStepEnergy = 5
CanopyMaxIter = 3
BusingerMaxIter = 3
TsMaxIter = 3
LocMaxIter = 3

! Morphological parameters
SlopeWeight = 1
CurvatureWeight = 100
NumLowPassFilterOnDemForAll = 2
NumLowPassFilterOnDemForCurv = 20

! Energy budget settings
FlagSkyViewFactor = 1
LWinParameterization = 4
MoninObukhov = 1
CanopyStabCorrection = 1

```

## Appendice 2

### - Contenuto del DVD allegato -

Il DVD contiene liste di mappe di alcune grandezze generate come output dalla simulazione nr. 11 del progetto Idroclima. La parametrizzazione è quella indicata, per le variabili principali, nell'Appendice 1, con i valori tipici del suolo riassunti nelle Tabb. 2 e 3.

NB: non tutte le aggregazioni sono state calcolate. In particolare, sono allegate quelle da cui sono state estratte le figure contenute nella relazione. Le mappe degli oggetti "Rasterbrick" (Tensor, 3D) sono state realizzate solo per gli strati 2, 3 e 4. Le mappe degli oggetti "Rastelayer" (Map, 2D) sono riferite ad un dominio bidimensionale (cioè senza strati).

### **GEOtop**

geotop.inpts (parametri di input - riassunto contenuto in Appendice 1)  
relazione conclusiva.doc (la presente relazione)

### **liste R**

Contiene 3 sotto-cartelle (una per ogni variabile).

Nomi variabili e sotto-cartelle:

- SoilLiqContentTensor (contenuto idrico - 3D)
- SoilLiqWaterPressTensor (carico di pressione - 3D)
- EvapotranspirationFromSoilMap (evapotraspirazione dal suolo - 2D)

### **liste stagionali**

In ognuna sono contenuti gli oggetti "lista" di R dove ogni lista risulta dall'aggregazione su ogni singolo mese per la durata della simulazione. Ogni elemento della lista è un oggetto "Rasterlayer" (2D) o "Rasterbrick" (3D).

Formato nome lista:

lista\_map\_[aggreg I livello]\_[stagione].lst

dove "aggreg. I livello" può essere:

- mean (media sul mese)
- perc\_10 (10° percentile sul mese)
- min (minimo sul mese)

e "stagione"

- inv
- pri
- est
- aut

### **liste mensili aggregate**

Contiene le aggregazioni di secondo livello delle liste stagionali per tutti i 12 mesi dell'anno, su un periodo indicato nel nome del file. Ogni elemento della lista è un oggetto "Rasterlayer" (2D) o "Rasterbrick" (3D).

Formato nome lista:

lista\_map\_[aggregazione I livello]\_[aggregazione II livello].on.[periodo]\_12mesi.lst

dove "aggreg. II livello" può essere:

- mean (media sul mese)

- perc\_10 (10° percentile sul mese)
- min (minimo sul mese)

## **mappe**

Contiene 3 sotto-cartelle (una per ogni variabile).

Nomi variabili e sotto-cartelle:

- SoilLiqContentTensor (contenuto idrico - 3D)
- SoilLiqWaterPressTensor (carico di pressione - 3D)
- EvapotranspirationFromSoilMap (evapotraspirazione dal suolo - 2D)

Ognuna contiene le mappe mensili della rispettiva grandezza. Ogni mappa è riferita ad un mese specifico e, essendo 2D, se la variabile dà luogo ad un oggetto "Rasterbrick" (3D), anche allo strato di suolo cui si riferisce.

Formato nome mappa:

[nome variabile]\_[aggregazione I livello]\_[aggregazione II livello]\_[periodo]\_[elaborazione]\_month.[mese]\_lr.  
[strato].png

dove "elaborazione" può essere:

- [ ] per mappe senza ulteriori elaborazioni rispetto alle due aggregazioni riportate
- in-map\_anomalies (anomalie di ogni punto rispetto alla media entro la mappa)
- in-map\_ratios (rapporti di ogni punto rispetto alla media entro la mappa)
- perc\_satur (umidità espressa come percentuale rispetto all'acqua disponibile)