

Analisi idrologica con Peakflow



Riccardo Rigon e Leonardo Perathoner

Peakflow è un modello idrologico afflussi-deflusssi semidistribuito integrato nei *JGrass tools*.

- utilizza l'approccio dell'Idrogramma Istantaneo Unitario Geomorfologico -GIUH-
- applica il GIUH utilizzando il modello della *funzione d'ampiezza*
- lavora a scala d'evento
- è stato pensato per il calcolo delle precipitazioni massime

Lavora in due modalità:

STATISTICA utilizza le precipitazioni massime per un dato tempo di ritorno dati i parametri a ed n

- considera la pioggia costante nell'intervallo di simulazione
- calcola la durata di pioggia che massimizza la portata alla chiusura
- calcola la portata massima per l'evento considerato

Lavora in due modalità:

STATISTICA utilizza le precipitazioni massime per un dato tempo di ritorno dati i parametri a ed n

- considera la pioggia costante nell'intervallo di simulazione
- calcola la durata di pioggia che massimizza la portata alla chiusura
- calcola la portata massima per l'evento considerato

REALE utilizza un evento di precipitazione reale fornito in input

$$p(t) \longmapsto \boxed{\text{IUH}} \longmapsto Q(t)$$

- suppone la distribuzione degli iogrammi rettangolare
- modella l'idrogramma alla chiusura del bacino

MODALITÀ REALE

Necessario in input un file rappresentante un evento di precipitazione.

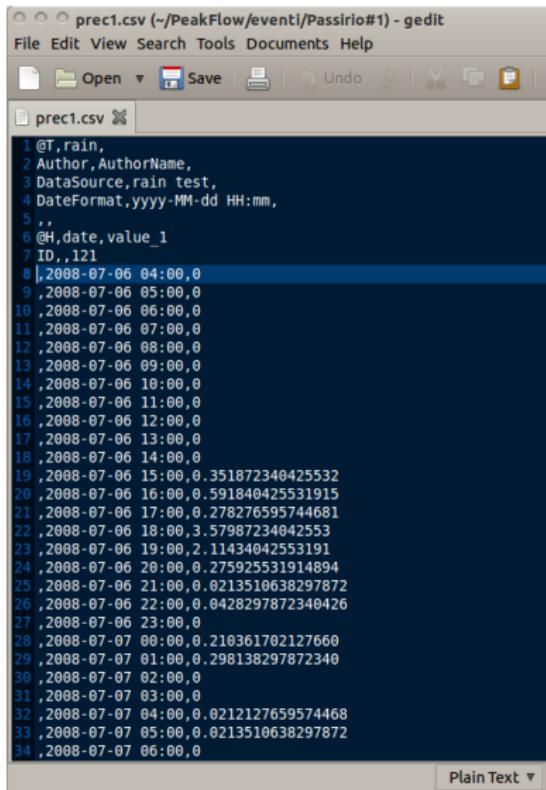
CONTENUTO

- marca temporale nel formato , YYYY-MM-DD HH:MM,
- valore di precipitazione non cumulata in mm/h

I record devono susseguirsi con intervallo temporale costane.

FORMATO

File di testo con estensione .csv con valori separati da virgola.



prec1.csv (~/PeakFlow/eventi/Passirlo#1) - gedit
File Edit View Search Tools Documents Help
Open Save Undo Plain Text

ID	Date	Value
1	2008-07-06 04:00	0
1	2008-07-06 05:00	0
1	2008-07-06 06:00	0
1	2008-07-06 07:00	0
1	2008-07-06 08:00	0
1	2008-07-06 09:00	0
1	2008-07-06 10:00	0
1	2008-07-06 11:00	0
1	2008-07-06 12:00	0
1	2008-07-06 13:00	0
1	2008-07-06 14:00	0
1	2008-07-06 15:00	0.351872340425532
1	2008-07-06 16:00	0.591840425531915
1	2008-07-06 17:00	0.278276595744681
1	2008-07-06 18:00	3.57987234042553
1	2008-07-06 19:00	2.11434042553191
1	2008-07-06 20:00	0.275925531914894
1	2008-07-06 21:00	0.0213510638297872
1	2008-07-06 22:00	0.0428297872340426
1	2008-07-06 23:00	0
1	2008-07-07 00:00	0.210361702127660
1	2008-07-07 01:00	0.298138297872340
1	2008-07-07 02:00	0
1	2008-07-07 03:00	0
1	2008-07-07 04:00	0.0212127659574468
1	2008-07-07 05:00	0.0213510638297872
1	2008-07-07 06:00	0

ANALISI PLUVIOMETRICA

- Parametri pluviometrici a e n
OPPURE
- Misurazioni di precipitazioni in mm/h

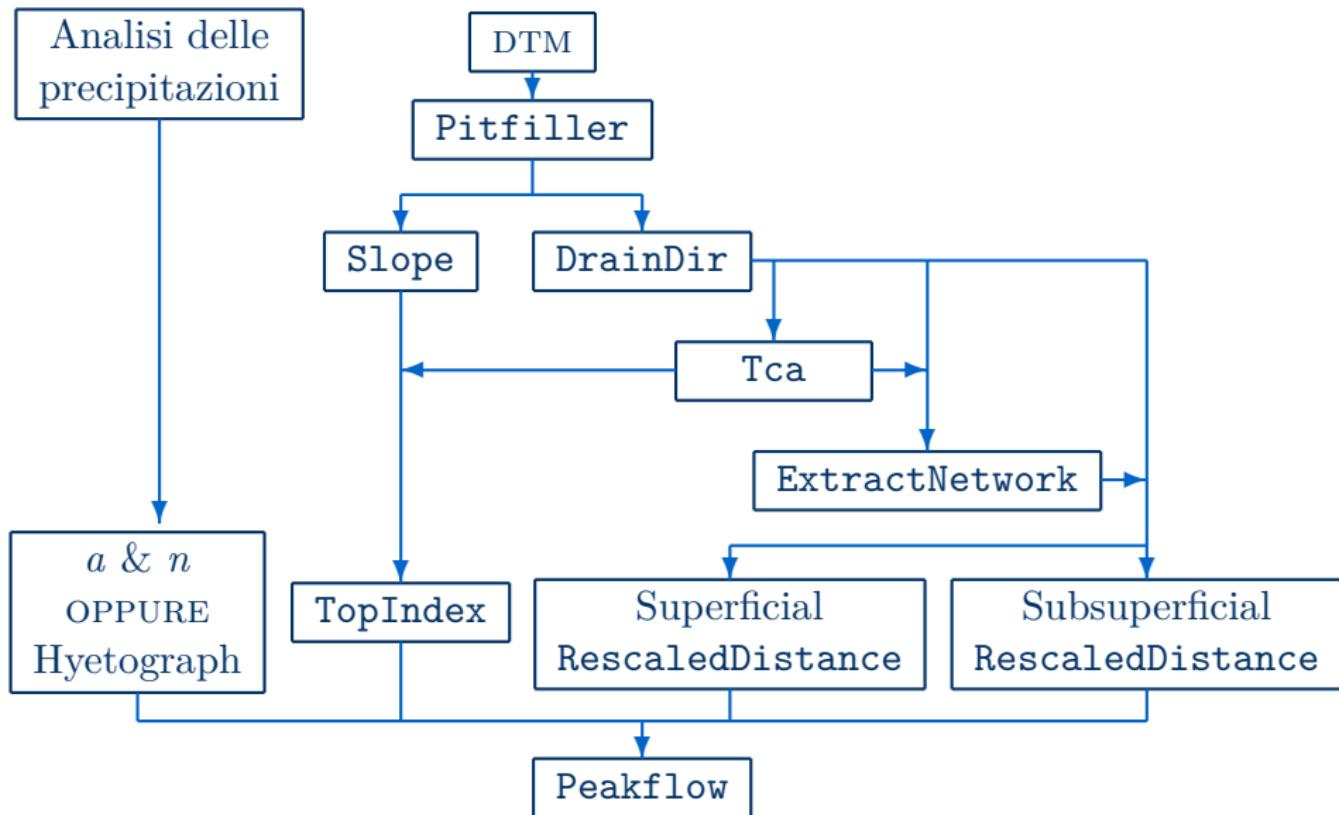
ANALISI IDRAULICA

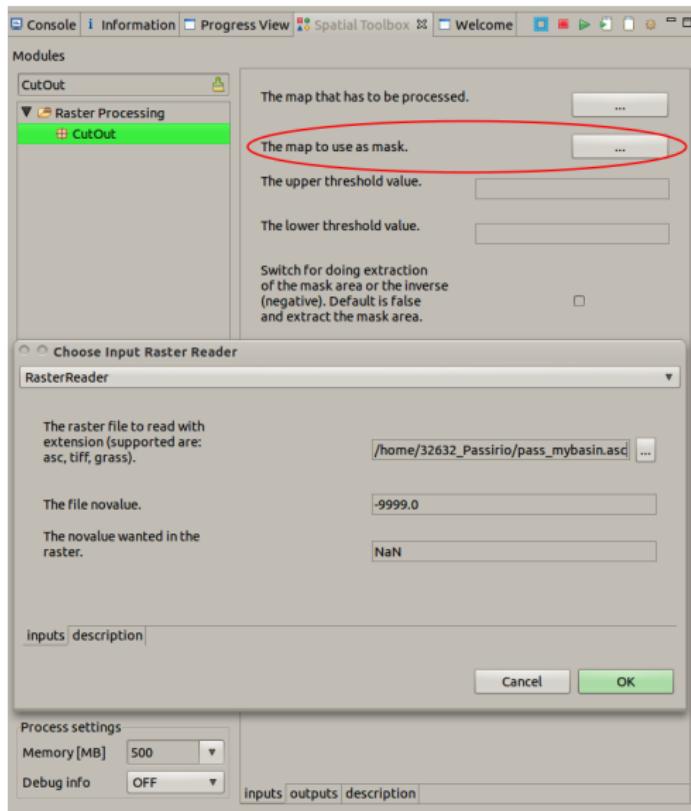
- Velocità nei canali
- Parametro di diffusione

ANALISI GEOMORFOLOGICA

- Percentuale satura di bacino
- Funzione d'ampiezza
- Rapporto tra velocità nei canali e nei versanti

- depittare il file delle elevazioni
- definire le direzioni di drenaggio per ogni punto
- disegnare la rete di drenaggio
- stabilire la sezione di chiusura alla quale verrà calcolata la portata
- estrarre i limiti del bacino con tale chiusura





Utilizzando il comando **CutOut** ritagliare sul bacino estratto le seguenti mappe:

- pendenze
- TCA
- direzioni di drenaggio
- reticolo idrografico

La scelta di ritagliare le mappe sulla maschera del bacino estratto non è casuale. Le opzioni di lavoro sarebbero due:

- rifare i calcoli delle grandezze principali sul DTM del bacino estratto
- ritagliare le mappe sulla maschera del bacino

La scelta di ritagliare le mappe sulla maschera del bacino estratto non è casuale. Le opzioni di lavoro sarebbero due:

- rifare i calcoli delle grandezze principali sul DTM del bacino estratto
- ritagliare le mappe sulla maschera del bacino

La prima opzione prevede di ricalcolare la mappa delle elevazioni depittata e le direzioni di drenaggio. Questo può comportare incompatibilità con il dato di partenza.

① Definizione della percentuale di saturazione del bacino

- la percentuale di saturazione del bacino in occasione di un evento di piena è generalmente il 40 – 60%
- la percentuale di saturazione aumenta al diminuire delle dimensioni del bacino
- il massimo di saturazione si ha nelle zone concave del bacino
- sarebbero utili misure di portata o di umidità del suolo per tarare il modello

① Definizione della percentuale di saturazione del bacino

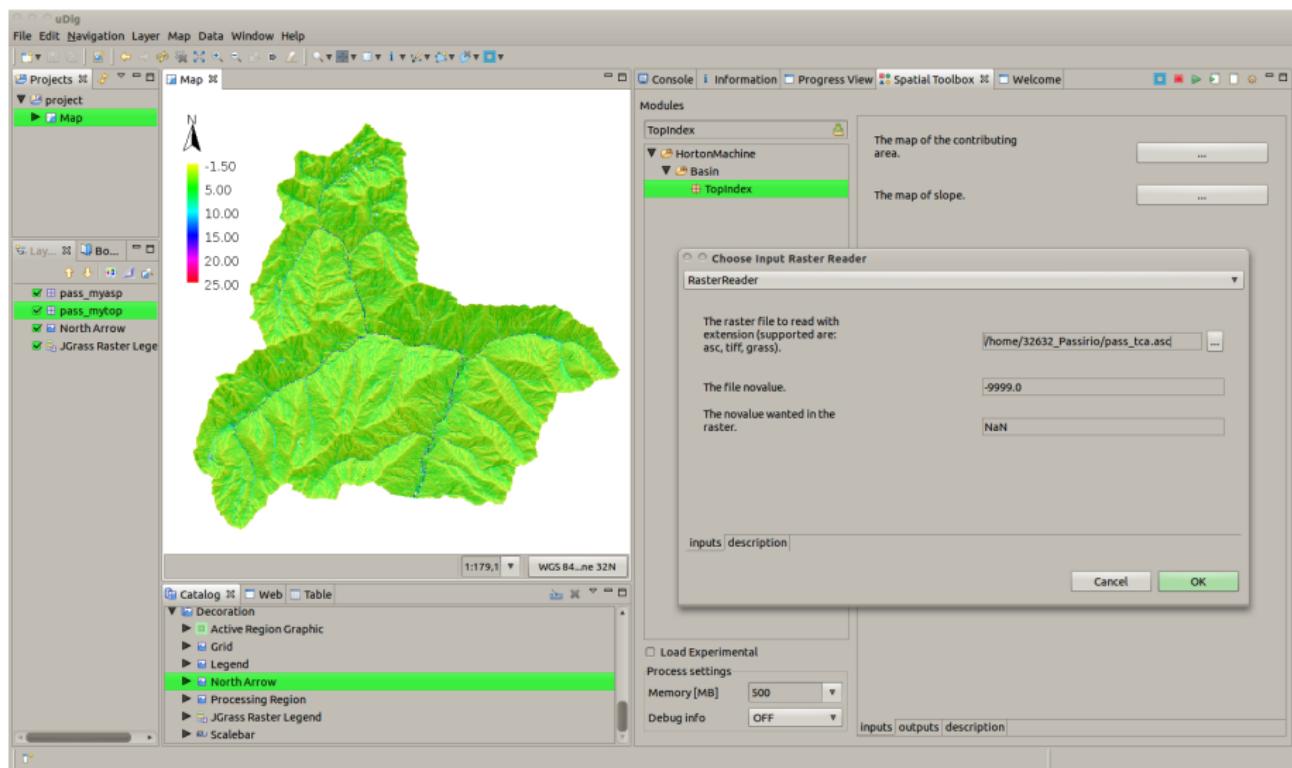
- la percentuale di saturazione del bacino in occasione di un evento di piena è generalmente il 40 – 60%
- la percentuale di saturazione aumenta al diminuire delle dimensioni del bacino
- il massimo di saturazione si ha nelle zone concave del bacino
- sarebbero utili misure di portata o di umidità del suolo per tarare il modello

② Si utilizza l'*indice topografico* per identificare le zone sature

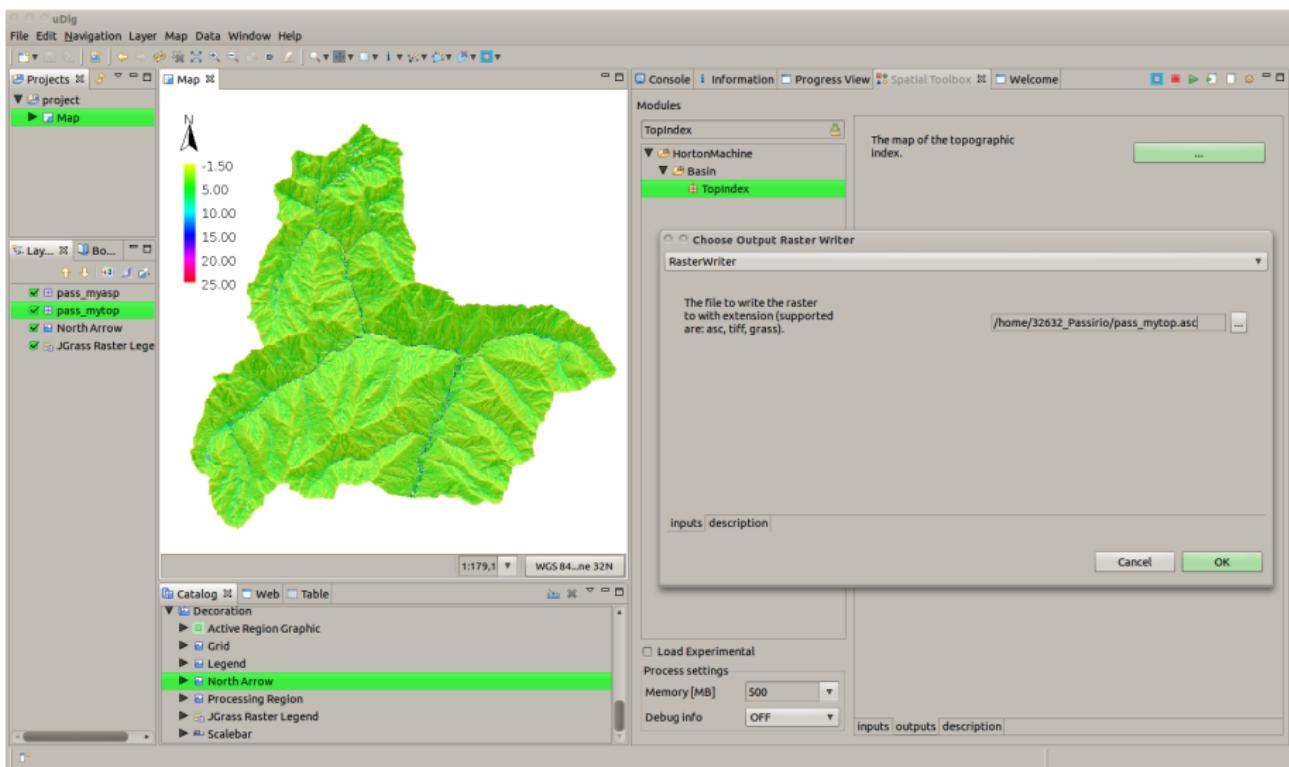
- zone sature in prossimità della rete
 - ➡ *meccanismo di saturazione dunniano*

- esprime la tendenza di un pixel a saturarsi
 - ➡ aree con valori elevati di indice topografico si saturano prima di aree a basso indice topografico
- dipende solo dalla morfologia
- discrimina i siti che danno deflusso superficiale da quelli che danno solo contributo subsuperficiale
- è proporzionale al rapporto tra area cumulata nel pixel e pendenza

Calcolo dell'indice topografico: TopIndex input



Calcolo dell'indice topografico: TopIndex output



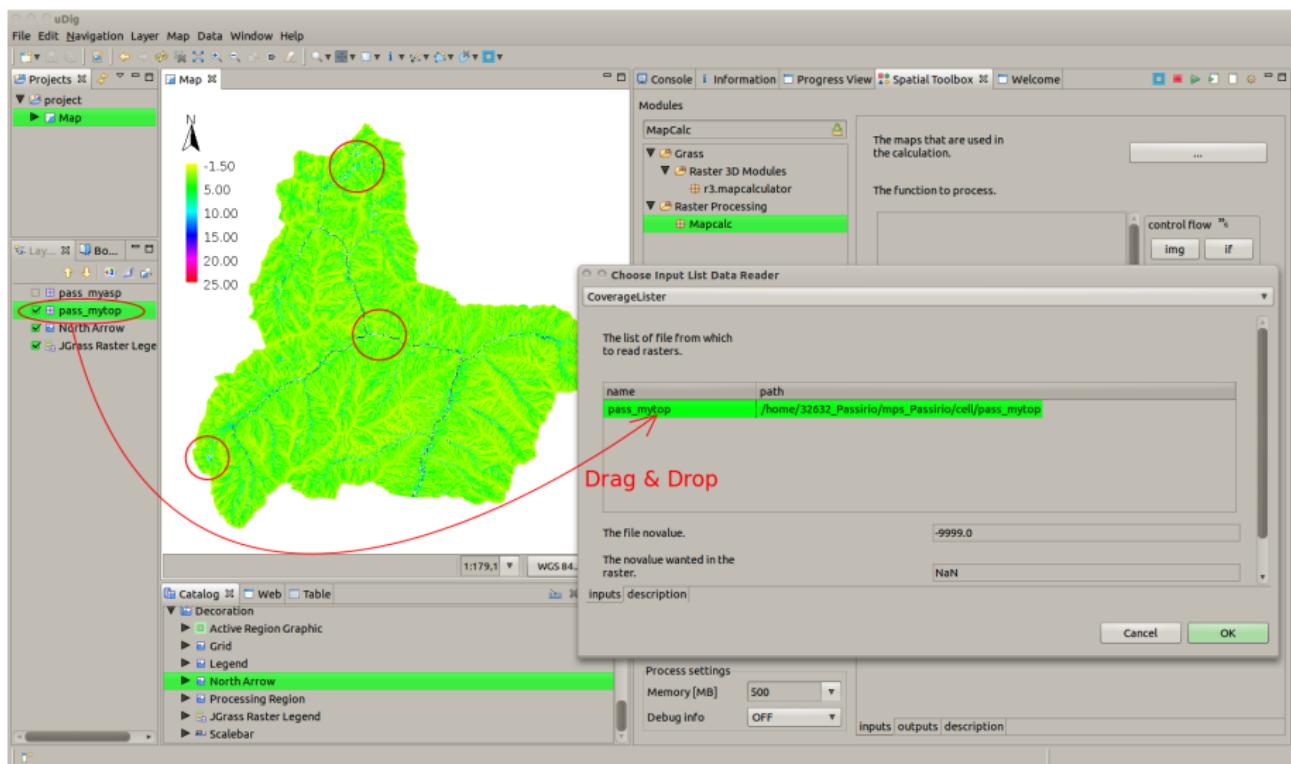
12

- Ci sono zone all'interno del bacino dove non è definito l'indice topografico
 - ➡ sono quelle con pendenza pari a zero per cui il rapporto area cumulata su pendenza tende ad infinito
- pixel con pendenza bassa hanno elevata propensione alla saturazione a parità di area cumulata
- si assegna ai pixel con valore nullo di indice topografico il valore massimo caratteristico della mappa utilizzando MapCalc:

- Ci sono zone all'interno del bacino dove non è definito l'indice topografico
 - ➡ sono quelle con pendenza pari a zero per cui il rapporto area cumulata su pendenza tende ad infinito
- pixel con pendenza bassa hanno elevata propensione alla saturazione a parità di area cumulata
- si assegna ai pixel con valore nullo di indice topografico il valore massimo caratteristico della mappa utilizzando MapCalc:

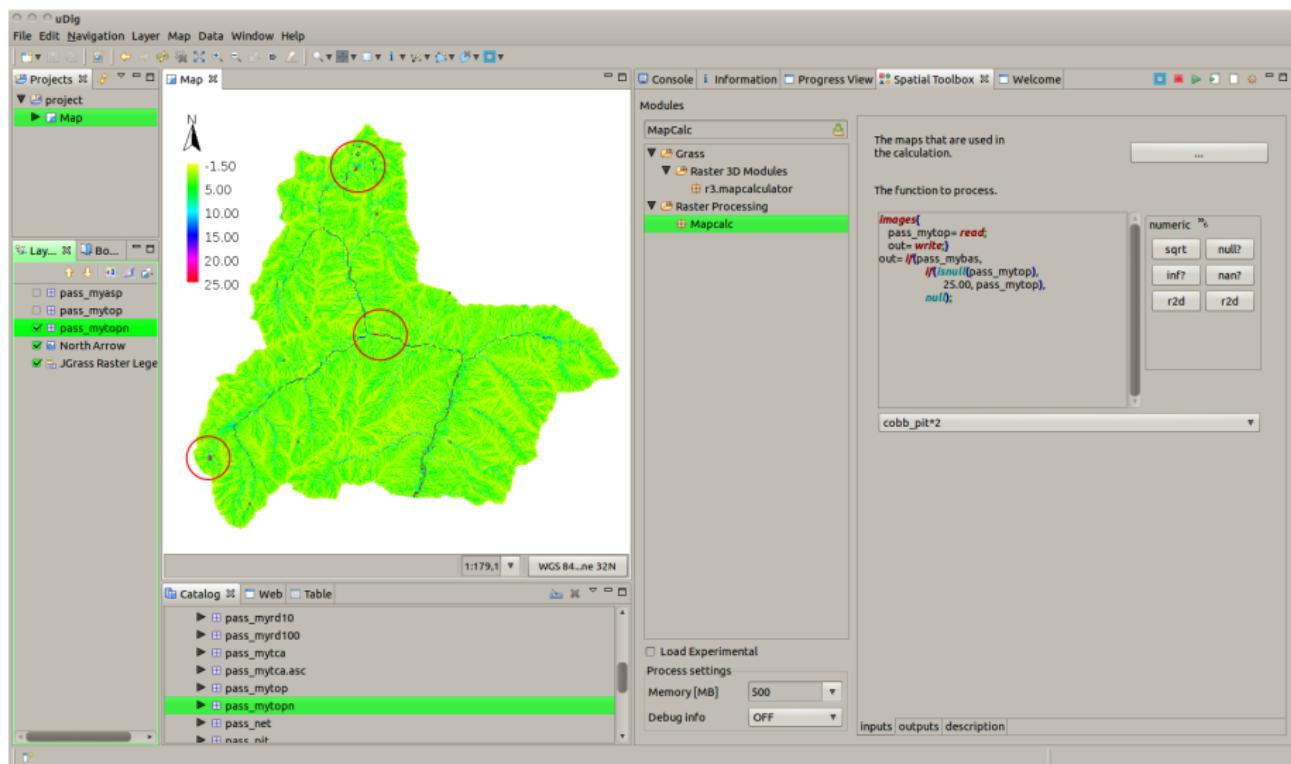
```
images{pass_mytop=read; out=write;}  
out=  
if(pass_mybas,if(isnull(pass_mytop),25.0,pass_mytop),null);
```

Calcolo dell'indice topografico: TopIndex



14

Calcolo dell'indice topografico: TopIndex



Utilizzando il criterio della massima pendenza ogni punto del bacino è collocato ad una nota distanza dalla sezione di chiusura.

La funzione d'ampiezza rappresenta la distribuzione di tali distanze. Numericamente è costituita dal numero di pixel posti a distanza uguale dalla sezione di chiusura (misurata lungo le direzioni di drenaggio a partire dalla sezione di chiusura).

$$W(x) = \frac{1}{A_T} \mu\{a \mid d(a) = x\}$$

Utilizzando il criterio della massima pendenza ogni punto del bacino è collocato ad una nota distanza dalla sezione di chiusura.

La funzione d'ampiezza rappresenta la distribuzione di tali distanze. Numericamente è costituita dal numero di pixel posti a distanza uguale dalla sezione di chiusura (misurata lungo le direzioni di drenaggio a partire dalla sezione di chiusura).

$$W(x) = \frac{1}{A_T} \mu\{a \mid d(a) = x\}$$

La funzione d'ampiezza riscalata tiene conto della diversa velocità dell'acqua nella rete e nei versanti introducendo r come rapporto tra la velocità nei canali e nei versanti.

$$T_R = T_c + T_h = \frac{x_c}{u_c} + \frac{x_h}{u_h} = \frac{1}{u_c} \left(x_c + \frac{u_c}{u_h} x_h \right) = \frac{x'}{u_c}$$

$$x' = x_c + r \cdot x_h \quad \text{con } r = \frac{u_c}{u_h} \quad \Rightarrow W'(x')$$

- ① Per calcolare una mappa che contenga le informazioni della *funzione d'ampiezza riscalata* si utilizza il comando
RescaledDistance.

Tale comando calcola la distanza dalla sezione di chiusura considerando velocità diverse nei versanti e nella rete.

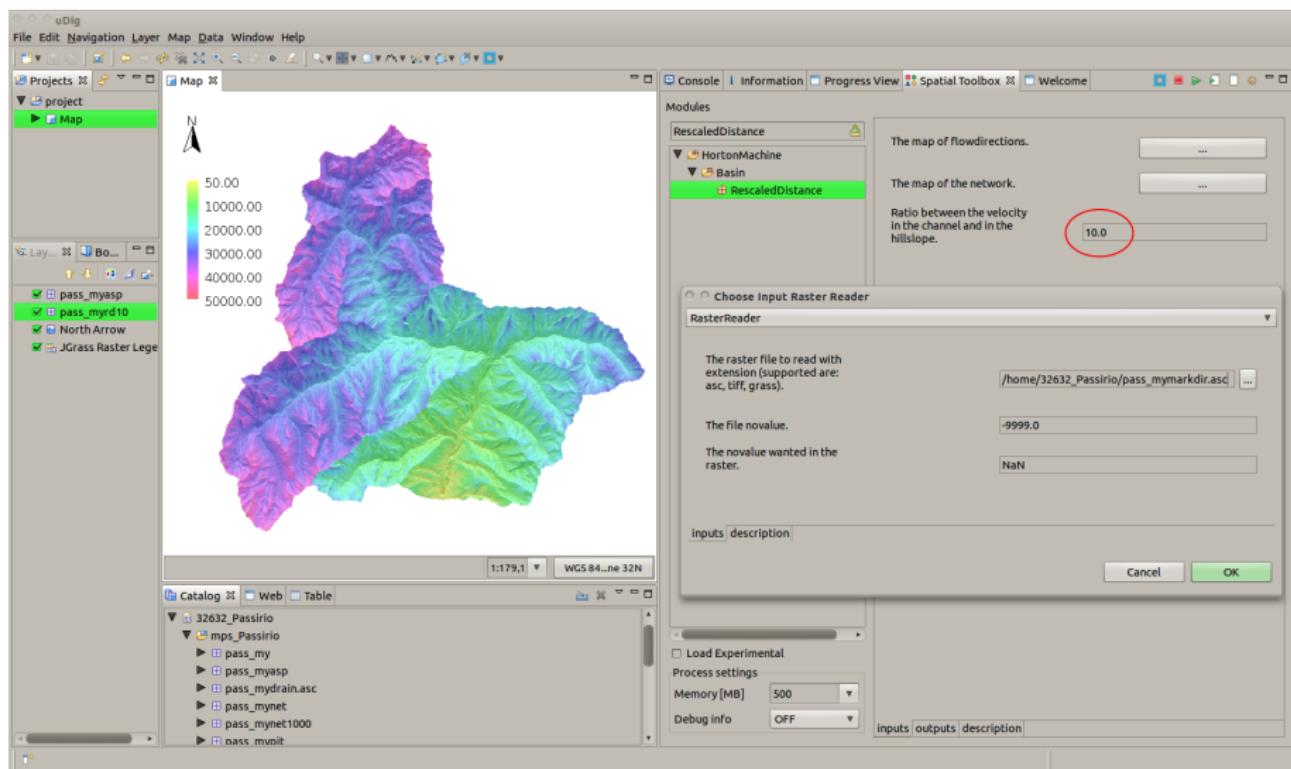
- ① Per calcolare una mappa che contenga le informazioni della *funzione d'ampiezza riscalata* si utilizza il comando
RescaledDistance.

Tale comando calcola la distanza dalla sezione di chiusura considerando velocità diverse nei versanti e nella rete.

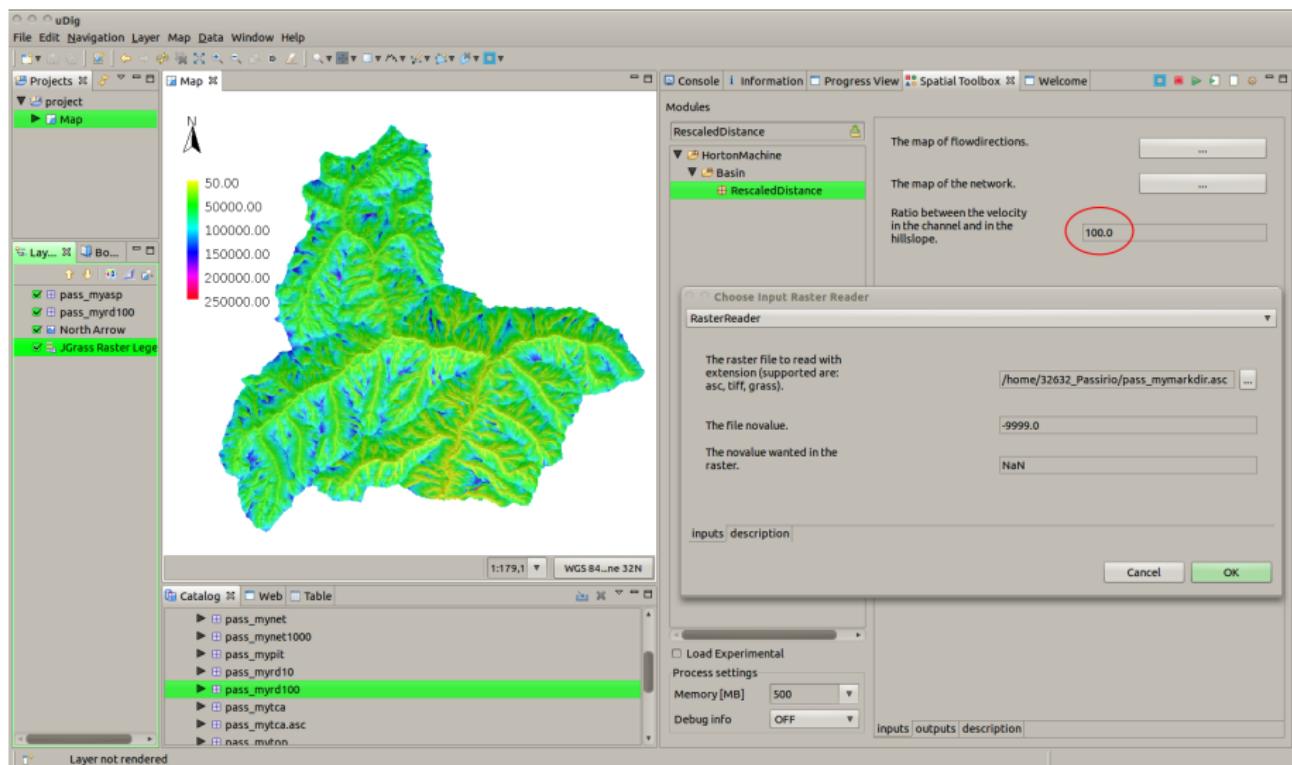
- ② Per applicare tale comando, se abbiamo ritagliato le mappe sul bacino estratto, è necessario usare il comando
Marko0tlet.

Questo serve per segnare l'uscita e velocizzare tutti gli algoritmi che si riferiscono ad essa.

Calcolo della funzione d'ampiezza: RescaledDistance



Calcolo della funzione d'ampiezza: RescaledDistance



19

- In Peakflow vengono considerati separatamente il deflusso superficiale e subsuperficiale.
- Si lavora nell'ipotesi di comportamento duniano
→ saturazione dal basso o per eccesso di saturazione quindi il deflusso superficiale si ha dove il suolo è già saturo.
- La porzione di bacino satura è in equilibrio tra deflusso superficiale e subsuperficiale, la porzione non satura del bacino concorre solo alla formazione del deflusso subsuperficiale.

Hyetograph

TopIndex

Superficial RescaledDistance

Subsuperficial RescaledDistance

Peakflow

Subsuperficial RescaledDistance

Superficial RescaledDistance

Subsuperficial WidthFunction

Superficial WidthFunction

Area non satura

Top Index

Area satura

Q Subsuperficial

Hyetograph

Q Superficial

Hydrograph

FUNZIONE D'AMPIEZZA SUPERFICIALE

- Riguarda solamente le zone sature del bacino
 - Si utilizzano mappe delle distanze riscalate con valori di r bassi $\{5 - 20\}$
- ↳ Si fornisce in input a Peakflow la mappa delle distanze riscalate superficiali sull'intero bacino

FUNZIONE D'AMPIEZZA SUPERFICIALE

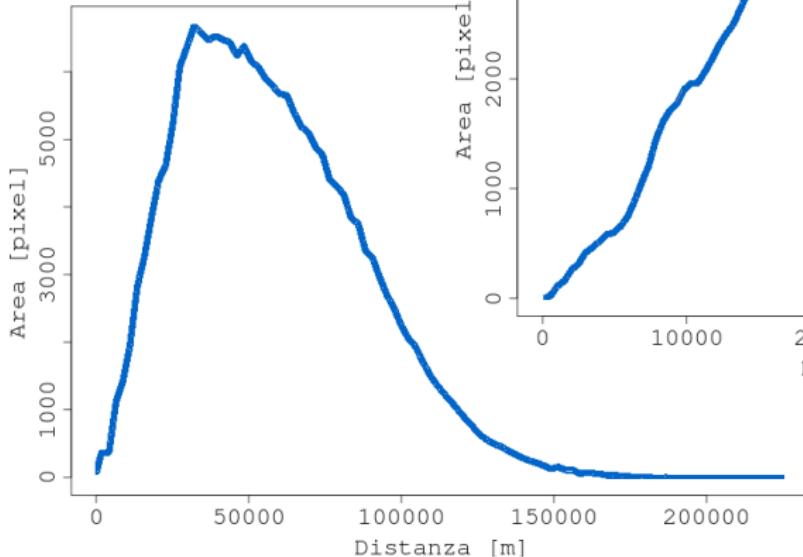
- Riguarda solamente le zone sature del bacino
 - Si utilizzano mappe delle distanze riscalate con valori di r bassi {5 – 20}
- ➡ Si fornisce in input a Peakflow la mappa delle distanze riscalate superficiali sull'intero bacino

FUNZIONE D'AMPIEZZA SUBSUPERFICIALE

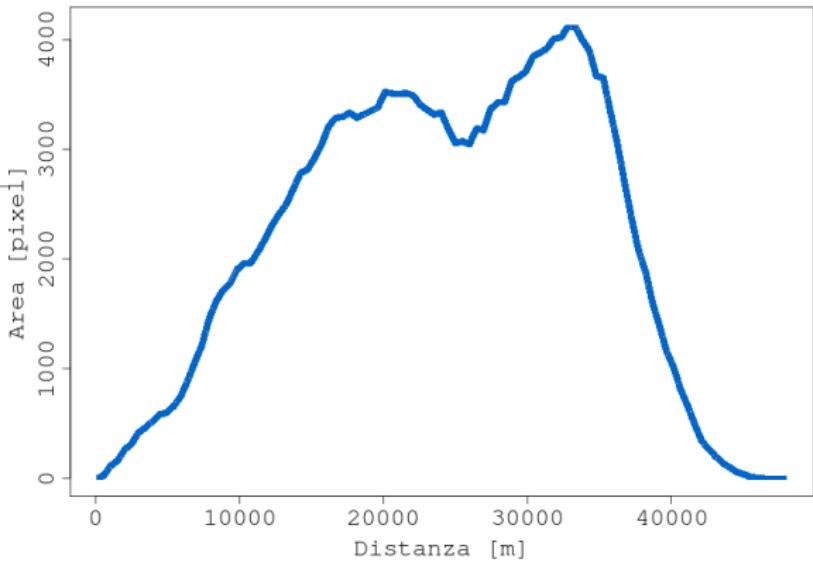
- Riguarda solamente le zone non sature del bacino
 - Si utilizzano mappe delle distanze riscalate con valori di r alti {50 – 200}
- ➡ Si fornisce in input a Peakflow la mappa delle distanze rascalate subsuperficiali sull'intero bacino

Costruite mediante un'analisi statistica delle mappe delle distanze riscalate.

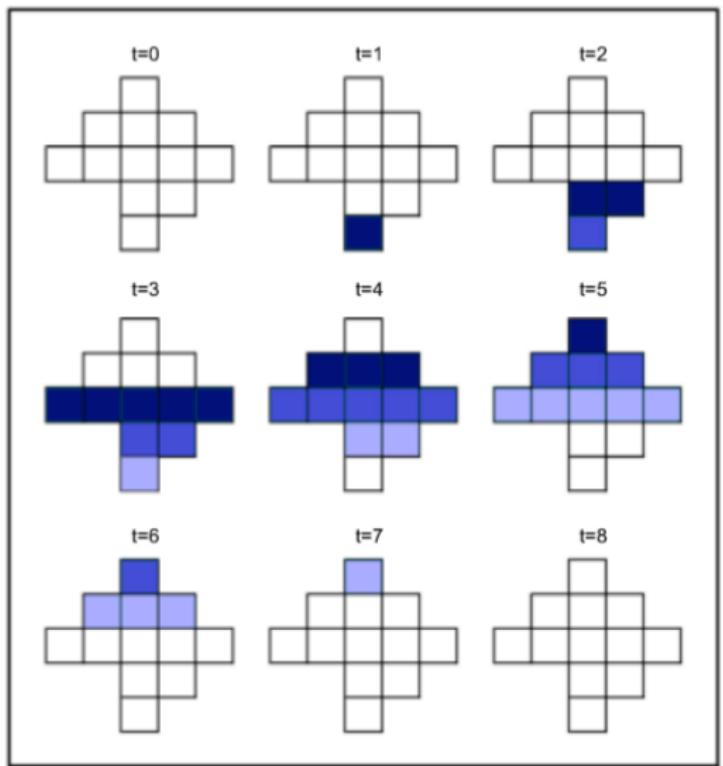
Subsuperficiale



Funzione d'ampiezza - Superficiale

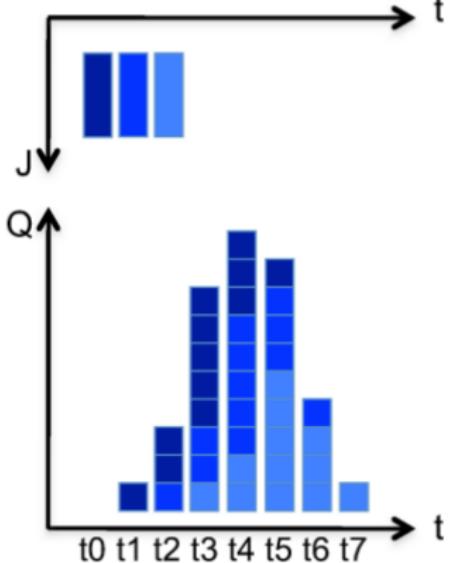


L'analisi si esegue con il comando **Cb** delle *Horton Machine*.



Risposta idrologica di un bacino con una pioggia della durata pari a 3 istanti.

→ *Lineraità e invarianza t*



Intensità di precipitazione costante $p(\tau, t_p) = p \cdot H(\tau)H(t_p - \tau)$

Idrogramma Istantaneo Unitario $Q(t) = A_T \times \int_0^t \text{IUH}(t - \tau) \cdot p(\tau) d\tau$

Tempo di picco $\text{IUH}(t^*) = \text{IUH}(t^* - t_p)$

Portate istantanee $Q(t) = \begin{cases} A_T \cdot p A(t) & \text{se } 0 \leq t \leq t_p \\ A_T \cdot p (A(t) - A(t - t_p)) & \text{se } t > t_p \end{cases}$

Intensità di precipitazione costante $p(\tau, t_p) = p \cdot H(\tau)H(t_p - \tau)$

Idrogramma Istantaneo Unitario $Q(t) = A_T \times \int_0^t \text{IUH}(t - \tau) \cdot p(\tau) d\tau$

Tempo di picco $\text{IUH}(t^*) = \text{IUH}(t^* - t_p)$

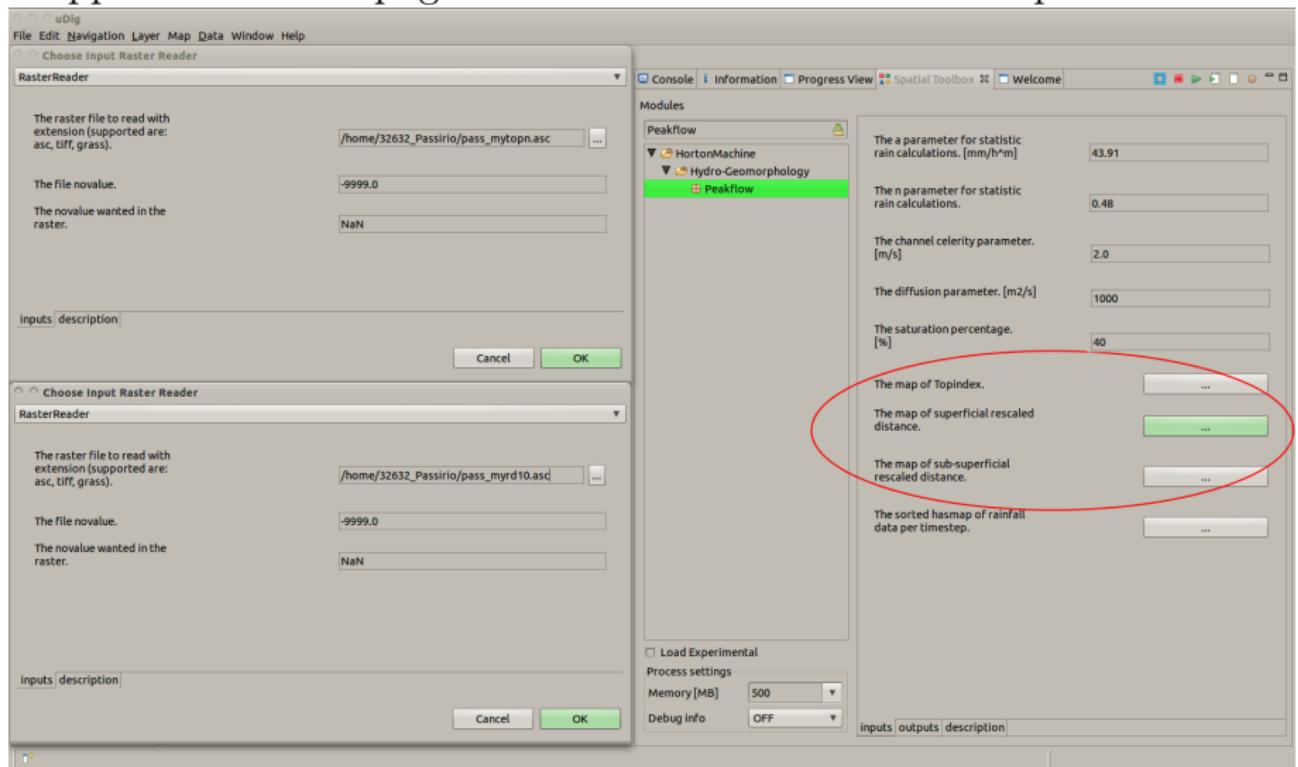
Portate istantanee $Q(t) = \begin{cases} A_T \cdot p A(t) & \text{se } 0 \leq t \leq t_p \\ A_T \cdot p (A(t) - A(t - t_p)) & \text{se } t > t_p \end{cases}$

Portata di picco $Q_p(t^*) = \begin{cases} A_T \cdot p (A(t^*) - A(t^* - t_p)) & \text{se } 0 \leq t_p \leq \tau_c \\ A_T \cdot p A(t^* = \tau_c) = A_T \cdot p & \text{se } t_p > \tau_c \end{cases}$

Curve di possibilità pluviometrica $p(t_p) = a(T_R) \cdot t_p^{-m}$

Tempo di precipitazione critico $m = A_T \frac{t_p \cdot \text{IUH}(t^*)}{A(t^*) - A(t^* - t_p)} \equiv g(t_p)$

Mappe dell'indice topografico e delle distanze riscalate superficiali e sub



Celerità nei canali, parametro di diffusività e percentuale di saturazione

The screenshot shows the uDig interface with two open dialog boxes and a main workspace.

Main Workspace (Modules Panel):

- Console:** Shows basic system information.
- Information:** Shows basic system information.
- Progress View:** Shows progress status.
- Spatial Toolbox:** Shows available spatial analysis tools.
- Welcome:** Shows welcome message.
- Modules:** A tree view of available modules:
 - HortonMachine
 - Hydro-Geomorphology
 - Peakflow** (highlighted in green)
- Parameter Inputs:**
 - The a parameter for statistic rain calculations. [mm/h/m]: 43.91
 - The n parameter for statistic rain calculations: 0.48
 - The channel celerity parameter. [m/s]: 2.0 (circled in red)
 - The diffusion parameter. [m²/s]: 1000 (circled in red)
 - The saturation percentage. [%]: 40 (circled in red)
- Output Options:**
 - The map of Topindex: ...
 - The map of superficial rescaled distance: ...
 - The map of sub-superficial rescaled distance: ...
 - The sorted hashmap of rainfall data per timestep: ...
- Process Settings:**
 - Load Experimental:
 - Memory [MB]: 500
 - Debug Info: OFF

Coefficienti delle curve di possibilità pluviometrica

uDig

File Edit Navigation Layer Map Data Window Help

Choose Input Raster Reader

RasterReader

The raster File to read with extension (supported are: asc, tiff, grass): /home/32632_Passirio/pass_mytopo.asc

The file novalue: -9999.0

The novalue wanted in the raster: NaN

inputs description

Cancel OK

Choose Input Raster Reader

RasterReader

The raster file to read with extension (supported are: asc, tiff, grass): /home/32632_Passirio/pass_myrd10.asc

The file novalue: -9999.0

The novalue wanted in the raster: NaN

inputs description

Cancel OK

Console Information Progress View Spatial Toolbox Welcome

Modules

Peakflow

HortonMachine

Hydro-Geomorphology

Peakflow

The a parameter for statistic rain calculations. [mm/h/m]: 43.91

The n parameter for statistic rain calculations: 0.48

The channel celerity parameter. [m/s]: -1.0

The diffusion parameter. [m²/s]: -1.0

The saturation percentage. [%]: -1.0

The map of Topindex: ...

The map of superficial rescaled distance: ...

The map of sub-superficial rescaled distance: ...

The sorted hashmap of rainfall data per timestep: ...

Load Experimental

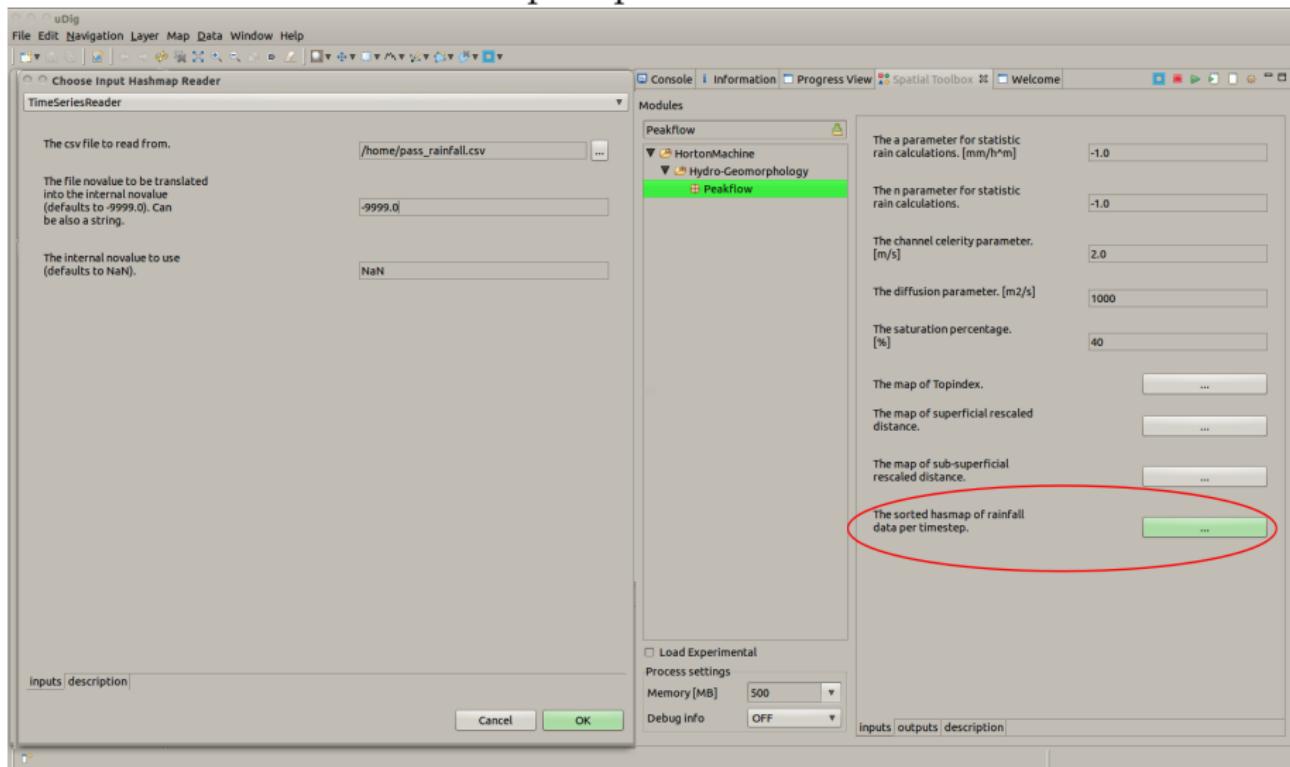
Process settings

Memory [MB]: 500

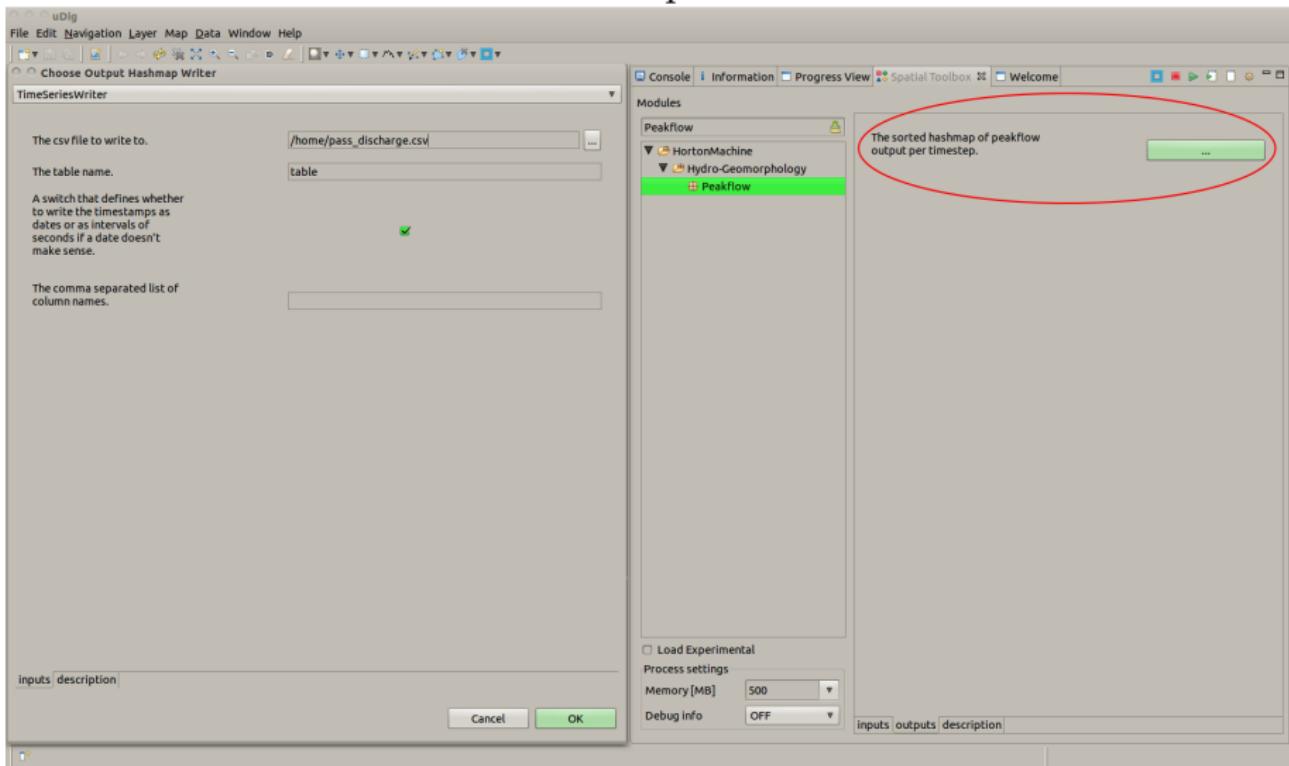
Debug info: OFF

inputs outputs description

Lettura del file di precipitazioni di un evento reale



Scrittura del file di output della simulazione



MODALITÀ STATISTICA

Finita l'elaborazione restituisce:

- il tempo di precipitazione critico
- la portata di picco

```
Statistic Jeff...
0 calculation...
Calculating Jeff...
Calculating discharge for t < tcorr...
0%...
20%...
40%...
60%...
80%...
100%...
Finished.
Calculating discharge for t > tcorr...
0%...
20%...
40%...
60%...
80%...
100%...
Finished.
Maximum rainfall duration: 20281.0
Maximum discharge value: 916.9656122769006
```

Process finished: 2011-11-06 17:17:26

MODALITÀ STATISTICA

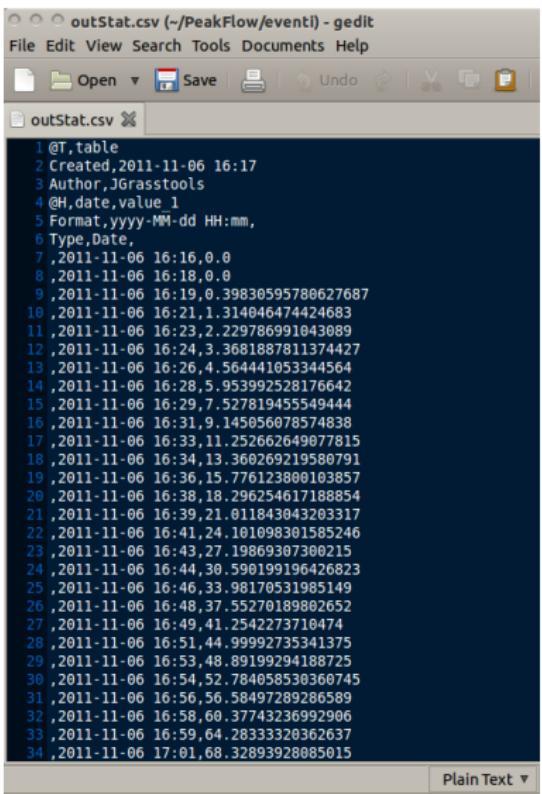
Finita l'elaborazione restituisce:

- il tempo di precipitazione critico
- la portata di picco

```
Statistic Jeff...
0 calculation...
Calculating Jeff...
Calculating discharge for t < tc当地...
0%...
20%...
40%...
60%...
80%...
100%...
Finished.
Calculating discharge for t > tc当地...
0%...
20%...
40%...
60%...
80%...
100%...
Finished.
Maximum rainfall duration: 20281.0
Maximum discharge value: 916.9656122769006

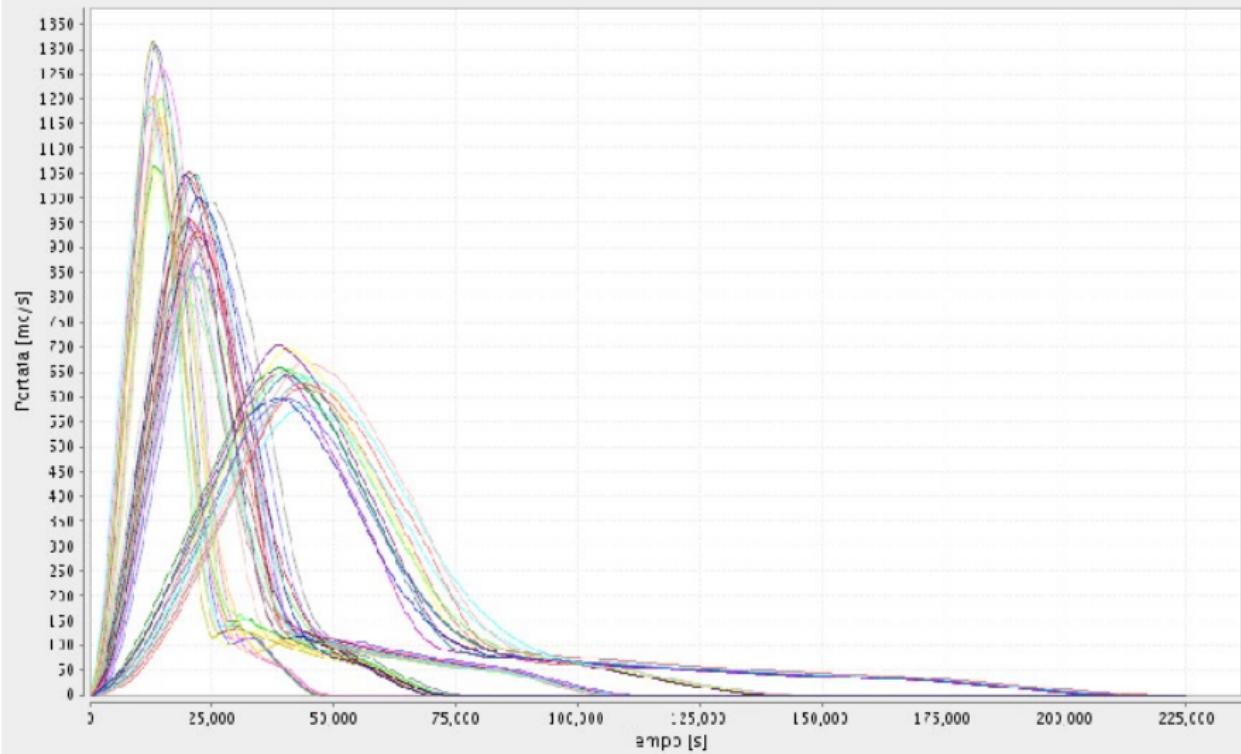
Process finished: 2011-11-06 17:17:26
```

Inoltre scrive il file delle portate ad ogni secondo per poter plottare l'idrogramma di piena.



```
outStat.csv (~/PeakFlow/eventi) - gedit
File Edit View Search Tools Documents Help
Open Save Undo
outStat.csv
1 @T,table
2 Created,2011-11-06 16:17
3 Author,JGrasstools
4 @H,date,value
5 Format,yyyy-MM-dd HH:mm,
6 Type,Date,
7 ,2011-11-06 16:16:0.0
8 ,2011-11-06 16:18:0.0
9 ,2011-11-06 16:19:0.39830595780627687
10 ,2011-11-06 16:21.1.314046474424683
11 ,2011-11-06 16:23.2.229786991043089
12 ,2011-11-06 16:24.3.3681887811374427
13 ,2011-11-06 16:26.4.564441053344564
14 ,2011-11-06 16:28.5.953992528176642
15 ,2011-11-06 16:29.7.527819455549444
16 ,2011-11-06 16:31.9.145056078574838
17 ,2011-11-06 16:33.11.252662649077815
18 ,2011-11-06 16:34.13.360269219580791
19 ,2011-11-06 16:36.15.776123800103857
20 ,2011-11-06 16:38.18.296254617188854
21 ,2011-11-06 16:39.21.011843043203317
22 ,2011-11-06 16:41.24.101098301585246
23 ,2011-11-06 16:43.27.19869307300215
24 ,2011-11-06 16:44.30.590199196426823
25 ,2011-11-06 16:46.33.98170531985149
26 ,2011-11-06 16:48.37.55270189802652
27 ,2011-11-06 16:49.41.254273710474
28 ,2011-11-06 16:51.44.99992735341375
29 ,2011-11-06 16:53.48.89199294188725
30 ,2011-11-06 16:54.52.784058530360745
31 ,2011-11-06 16:56.56.58497289286589
32 ,2011-11-06 16:58.60.37743236992906
33 ,2011-11-06 16:59.64.28333320362637
34 ,2011-11-06 17:01.68.32893928085015
```

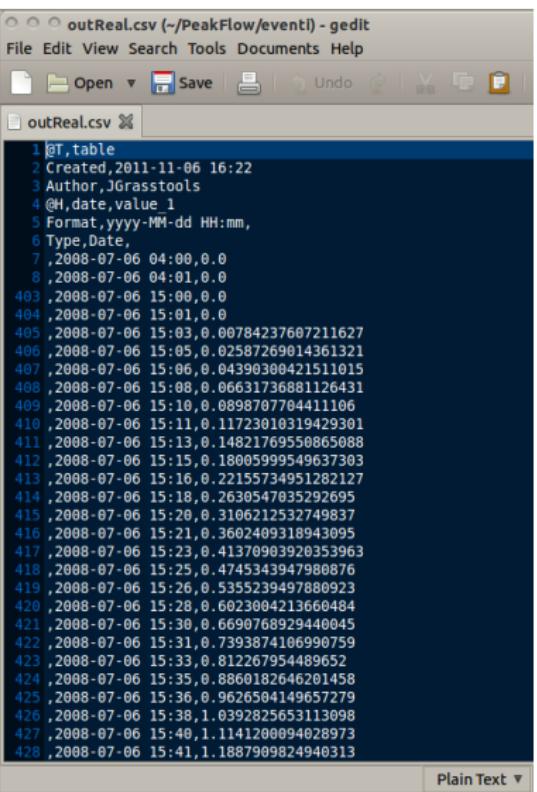
Idrogrammi di piena per precipitazioni statistiche variando i parametri



MODALITÀ REALE

Finita l'elaborazione scrive il file .csv contenente le portate alla chiusura modellate ogni secondo.

- le portate sono espresse in m³/s
- ad ogni valore è associata la rispettiva marca temporale
- grazie a questo file è possibile plottare con un software esterno l'idrogramma modellato per l'evento analizzato.



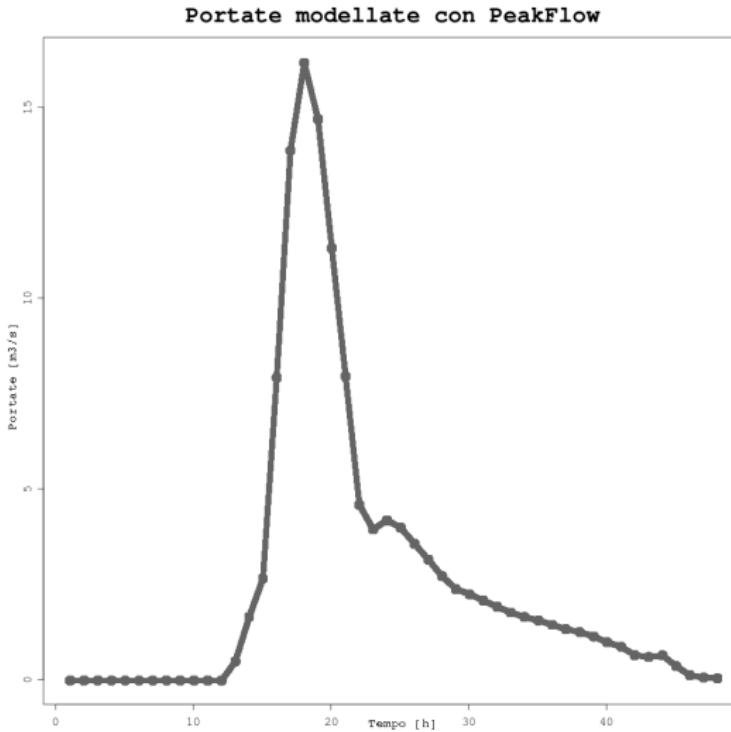
The screenshot shows a Gedit text editor window with the file 'outReal.csv' open. The file contains a header and 428 data rows. The header includes fields for ID, date, value, and type. The data rows show a series of measurements starting from 2008-07-06 at 04:00:0.0 and ending at 15:41:0.0. The data is presented in plain text format.

ID	Date	Type	Value
1	Created	2011-11-06 16:22	
2	Author	JGrasstools	
3	@H,date,value_1		
4	Format,yyyy-MM-dd HH:mm,		
5	Type,Date,		
6	7,2008-07-06 04:00,0.0		
7	8,2008-07-06 04:01,0.0		
8	403,2008-07-06 15:00,0.0		
9	404,2008-07-06 15:01,0.0		
10	405,2008-07-06 15:03,0.00784237607211627		
11	406,2008-07-06 15:05,0.02587269014361321		
12	407,2008-07-06 15:06,0.04390300421511015		
13	408,2008-07-06 15:08,0.06631736881126431		
14	409,2008-07-06 15:10,0.0898707704411106		
15	410,2008-07-06 15:11,0.11723010319429301		
16	411,2008-07-06 15:13,0.14821769550865088		
17	412,2008-07-06 15:15,0.18005999549637303		
18	413,2008-07-06 15:16,0.22155734951282127		
19	414,2008-07-06 15:18,0.2630547035292695		
20	415,2008-07-06 15:20,0.3106212532749837		
21	416,2008-07-06 15:21,0.3602409318943095		
22	417,2008-07-06 15:23,0.41370903920353963		
23	418,2008-07-06 15:25,0.47453439479880876		
24	419,2008-07-06 15:26,0.5355239497880923		
25	420,2008-07-06 15:28,0.6023004213660484		
26	421,2008-07-06 15:30,0.6690768929440045		
27	422,2008-07-06 15:31,0.7393874106990759		
28	423,2008-07-06 15:33,0.812267954489652		
29	424,2008-07-06 15:35,0.8860182646201458		
30	425,2008-07-06 15:36,0.9626504149657279		
31	426,2008-07-06 15:38,1.0392825653113098		
32	427,2008-07-06 15:40,1.1141200094028973		
33	428,2008-07-06 15:41,1.1887909824940313		

Plain Text ▾

33

Idrogramma simulato per un evento reale



Grazie dell'attenzione

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Rigon, R., P. D'Odorico e G. Bertoldi (2011). "The geomorphic structure of the runoff peak". In: *Hydrology and Earth System Sciences* 15.6, pp. 1853–1863. URL:
<http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/15/1853/2011/>.

