Politecnico di Torino

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture

Valutazione delle Curve di Durata delle Portate - Progetto RENERFOR

Manuale operativo

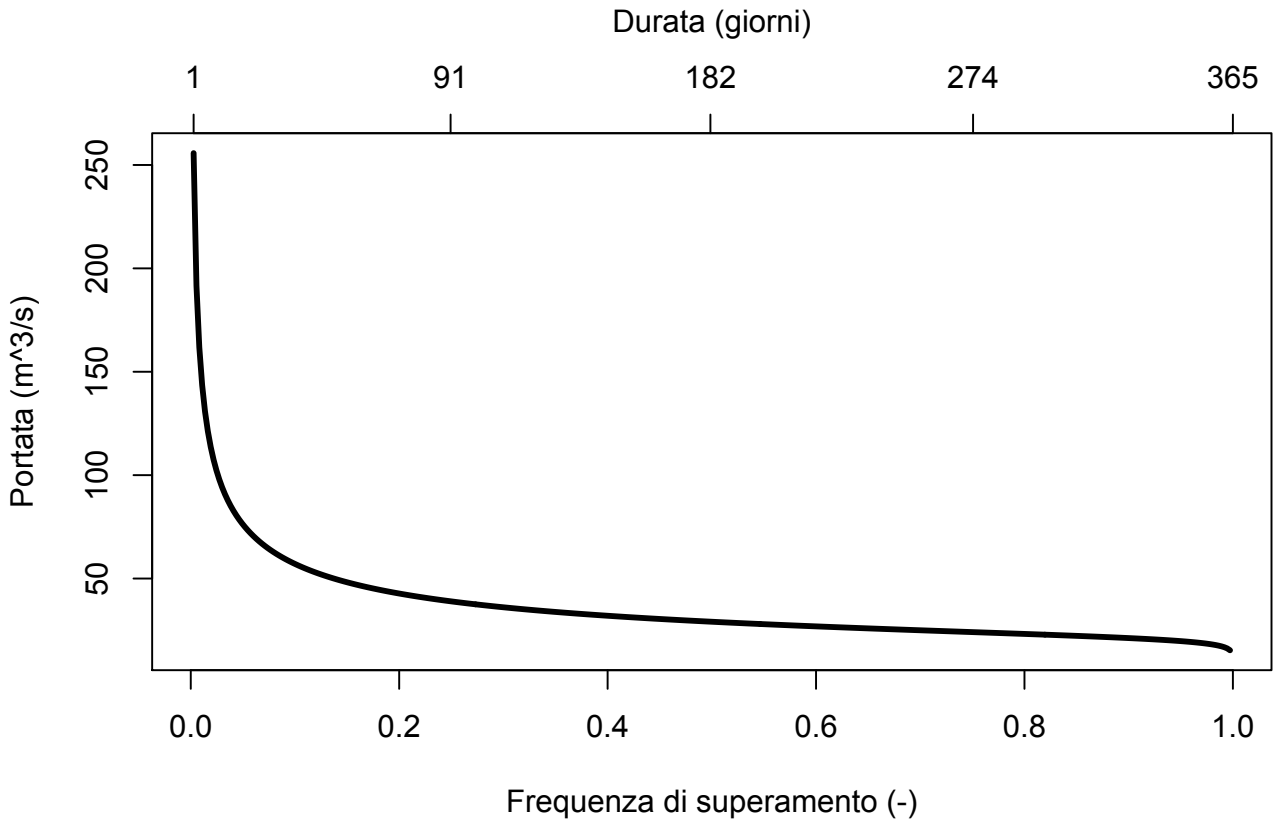
24 febbraio 2014

Obiettivi della procedura

La procedura sviluppata nel progetto RENERFOR permette di valutare la Curva di Durata delle Portate (CDP) nelle sezioni non strumentate del territorio piemontese utilizzando appropriate forme analitiche.
Consente inoltre di valutare in maniera semplificata, ma parsimoniosa, l'effetto sulle CDP dovuto ai prelievi in alveo.

Definizione della CDP

La durata[1] d corrisponde al numero di giorni per i quali si ha una portata maggiore o uguale a quella indicata dalla curva; la frequenza di superamento è $F_{SUP} = \frac{d}{366}$



[1] Il valore corrispondente a $d = 1$ è la portata massima e quello corrispondente a $d = 365$ la portata minima

Contenuti metodologici

- Valutazione della Curva di Durata delle Portate in bacini non strumentati
  - Sezioni presenti all'interno dei bacini campione Chisone e Stura di Demonte (Slide n. 5)
  - Sezioni presenti all'interno dell'*Atlante dei bacini imbriferi piemontesi* (Slide n. 13)
  - Generica sezione non catalogata (Slide n. 28)
- Valutazione semplificata degli effetti antropici (prelievi) sulla Curva di Durata delle Portate (Slide n. 34)

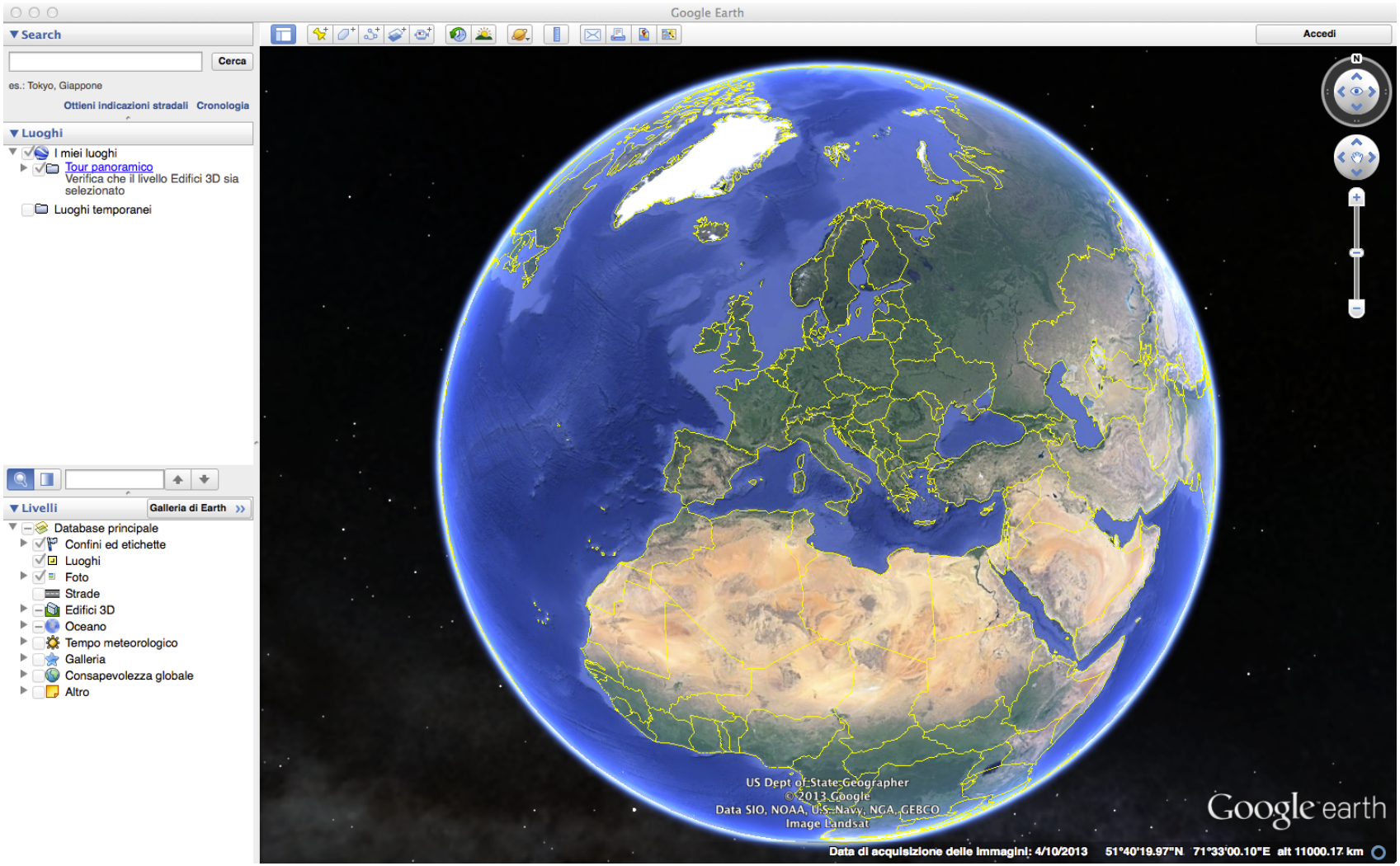
Sezioni presenti all'interno dei bacini campione

Bacini caso studio

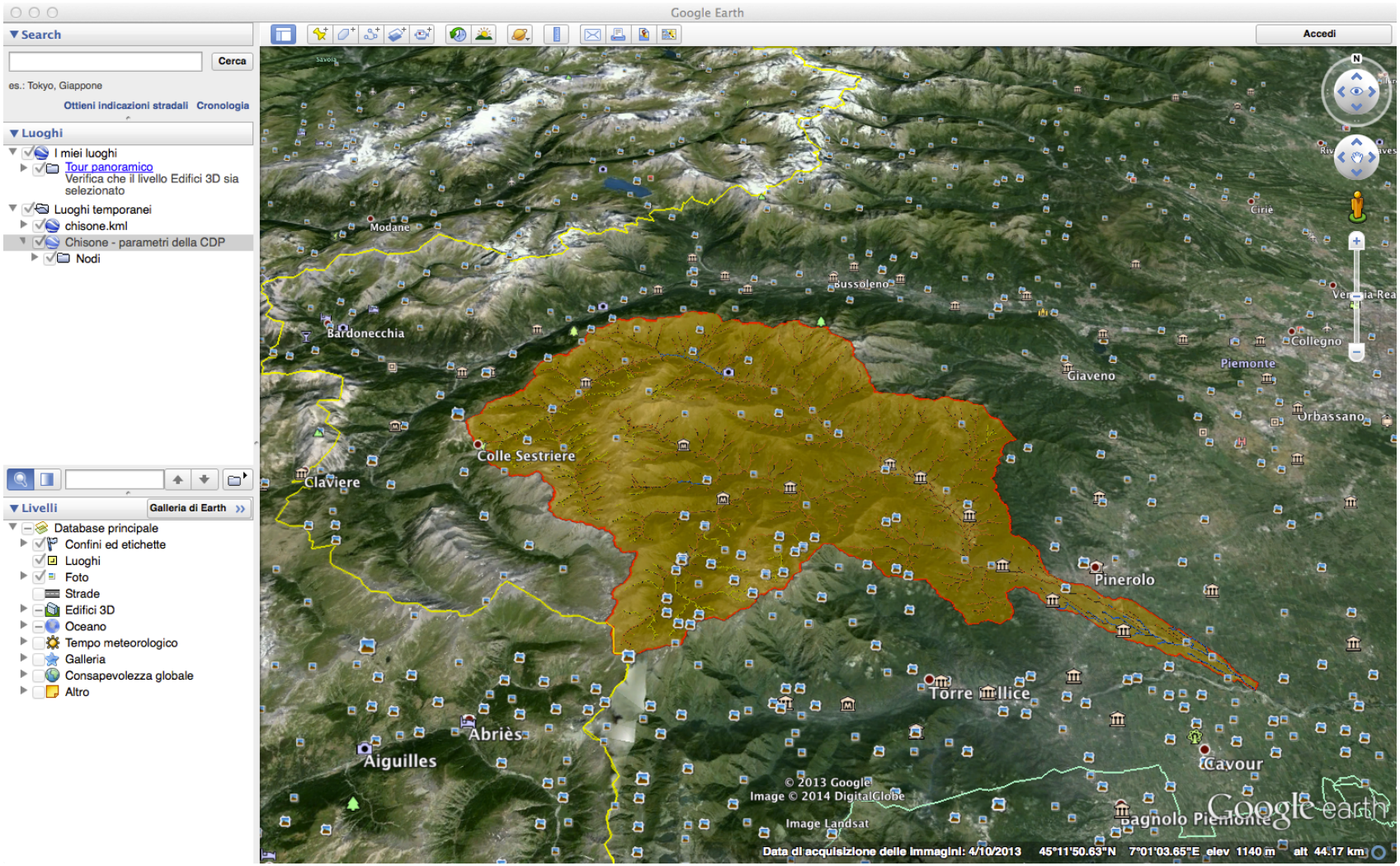
I bacini campione Chisone e Stura di Demonte sono stati analizzati nel dettaglio durante il progetto. L'intero reticolo idrografico è stato discretizzato con celle 50m $\times$ 50m. Ad ogni cella del reticolo sono associate le grandezze fondamentali per il calcolo del deflusso annuo e della curva di durata.

Queste informazioni sono consultabili in maniera interattiva utilizzando l'applicativo Google Earth dopo aver caricato i rispettivi file *.kmz*

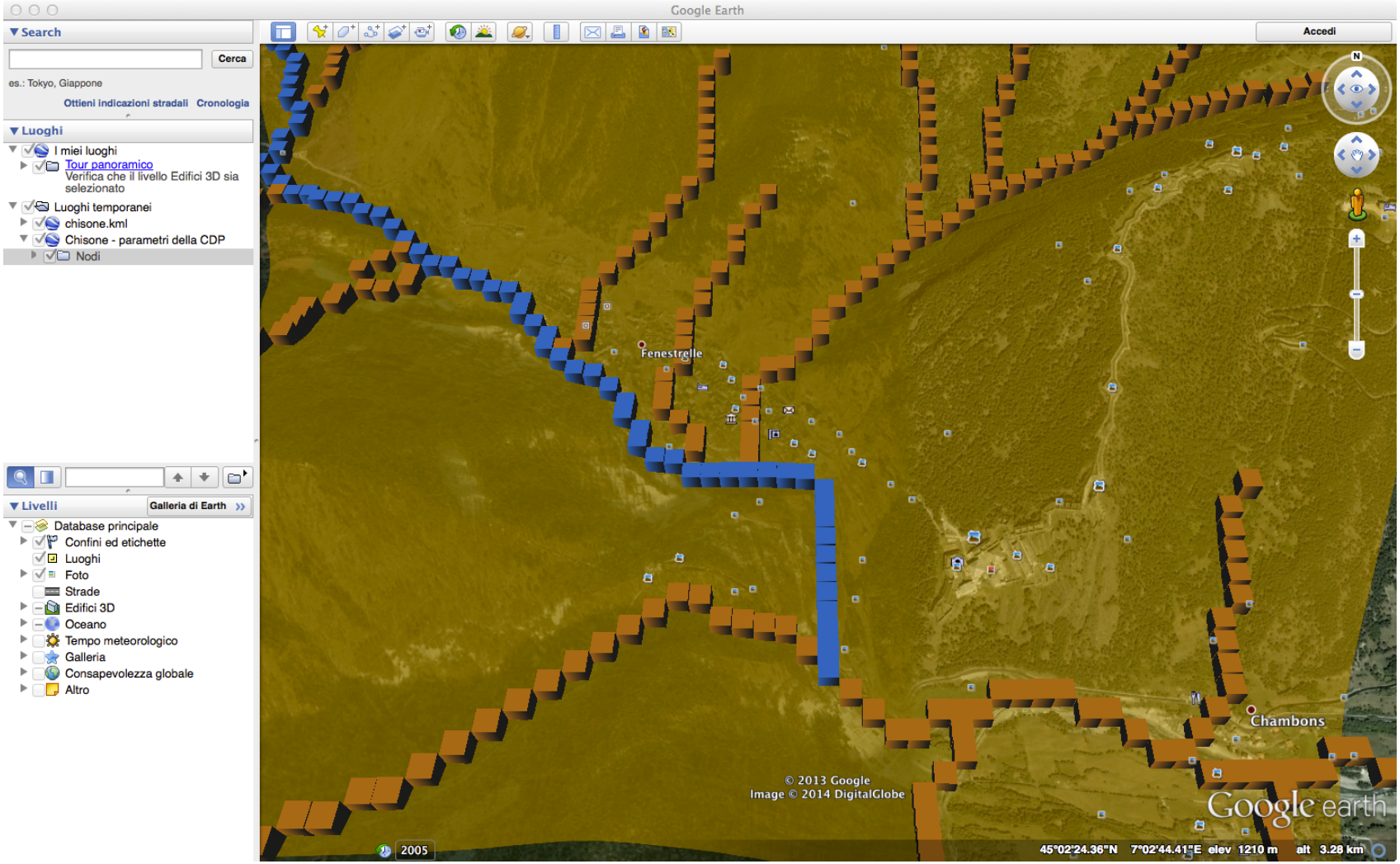
Applicazione Google Earth



Visualizzazione bacino e reticolo in Google Earth



Visualizzazione di dettaglio



Interrogazione delle singole celle

1494

CAT	1494
Descrizione	Parametri della CDP - bacino 1494
Lat WGS84	45.0355
Long WGS84	7.0541
Quota [m s.l.m.]	1171
Qmedia regionale [mc/s]	0.1977
Qmedia antropizzata [mc/s]	0.1977
Distribuzione	Burr
a	0.14030
b	1.15000
c	2.58800

1613

CAT	1613
Descrizione	Parametri della CDP - bacino 1613
Lat WGS84	45.0331
Long WGS84	7.0491
Quota regionale [m s.l.m.]	1128
Qmedia [mc/s]	3.6561
Qmedia antropizzata [mc/s]	0.9831
Distribuzione	Pareto
a	0.05382
c	-1.05792

Note sulle informazioni disponibili

I principali valori visualizzati sono:

- la tipologia di distribuzione da utilizzare per costruire la Curva di Durata delle Portate (Burr, Weibull o Pareto);
- i parametri della distribuzione indicata (2 o 3 parametri a seconda della distribuzione);
- la portata media annua stimata con il metodo regionale (valore "naturalizzato").

NB: il valore di portata media annua "antropizzata" è stato dedotto utilizzando la base dati dei prelievi ad uso idroelettrico disponibili al momento (database SIRI) dell'elaborazione e potrebbero non essere aggiornati.

Rappresentazione analitica della CDP

Per una fissata durata d in giorni, la CDP è definita come:

Burr

$$Q(d) = a\left(\frac{\left(\frac{d}{366}\right)^{-b} - 1}{b}\right)^{\frac{1}{c}}$$

Weibull

$$Q(d) = a_W\left(-\ln\left(\frac{d}{366}\right)\right)^{1/c_W}$$

Pareto

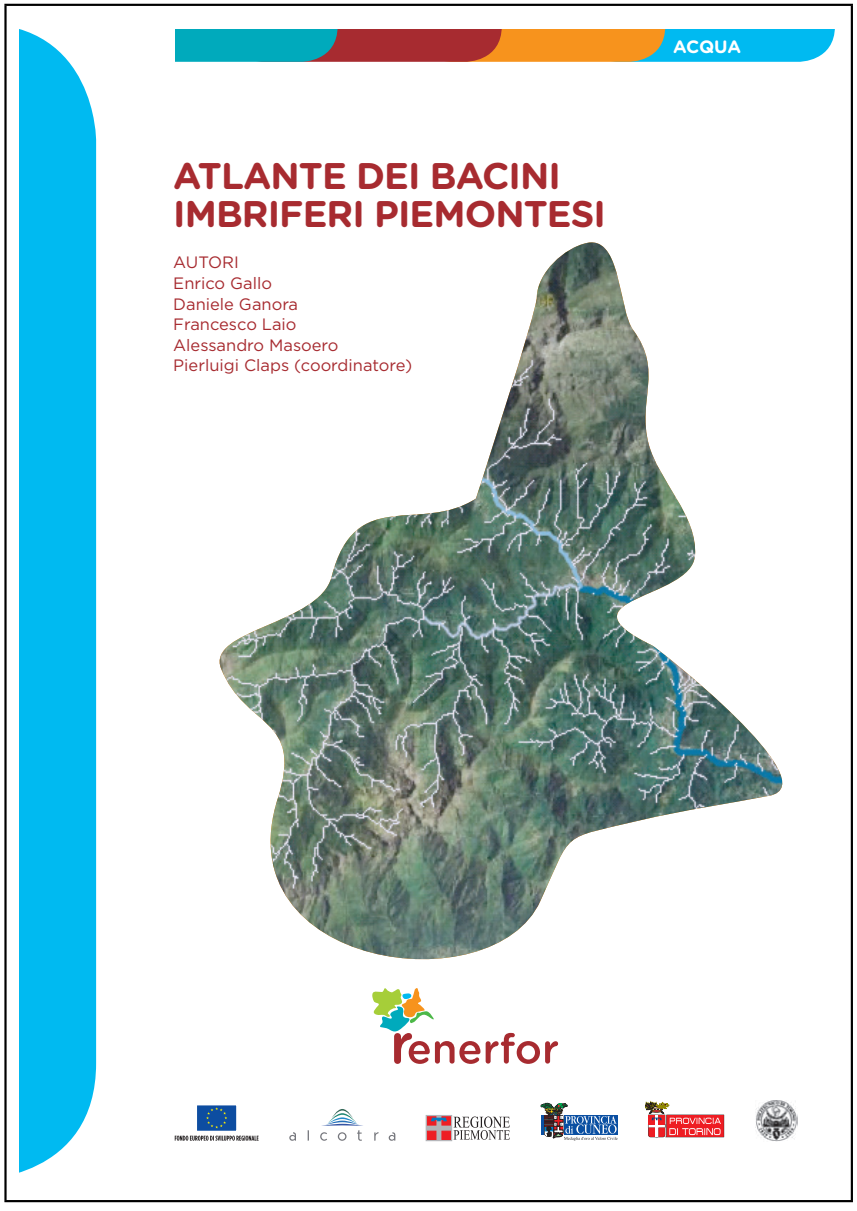
$$Q(d) = a_P\left(\frac{d}{366}\right)^{1/c_P}$$

I parametri sono estratti in maniera interattiva interrogando la mappa

Sezioni presenti all'interno dell' *Atlante dei bacini imbriferi piemontesi*

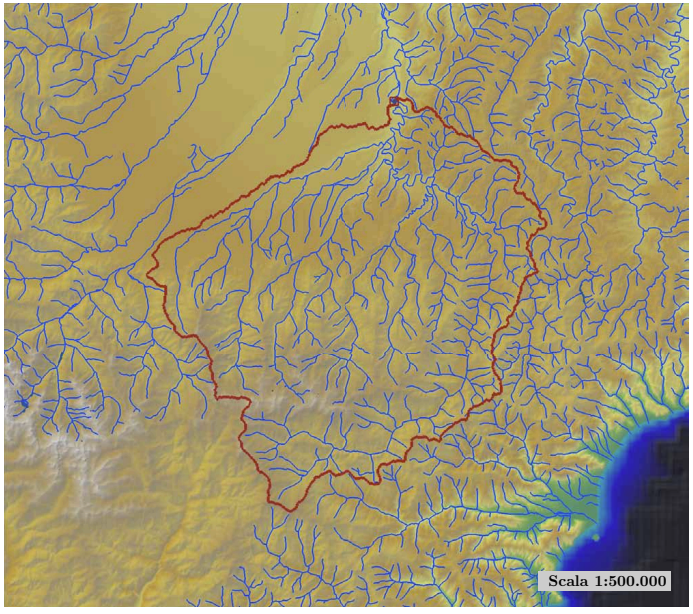
Utilizzo dell'*Atlante dei bacini imbriferi piemontesi*

L'*Atlante dei bacini imbriferi piemontesi* raccoglie le principali caratteristiche geomorfologiche, climatiche, di uso del suolo, ecc di circa 200 bacini idrografici del Piemonte e Valle d'Aosta. Tali caratteristiche vengono utilizzate all'interno del modello RENERFOR per la valutazione della curva di durata delle portate.



Esempio di una scheda-bacino dell'atlante

Tanaro a Farigliano

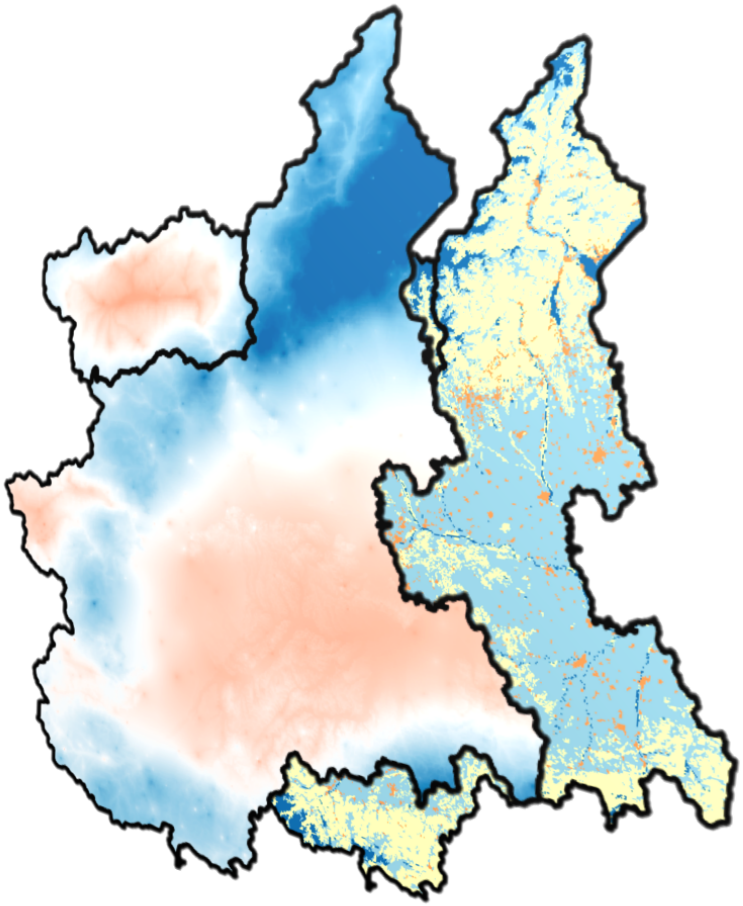


est (UTM32N WGS84)	412709	nord (UTM32N WGS84)	4929894
est DEM (UTM32N WGS84)	412701	nord DEM (UTM32N WGS84)	4929373
area bacino	1502.15	quota media	945
quota massima	2625	quota minima	237

quota massima	2625	quota minima	237
curva ipsografica 2,5%	2152	curva ipsografica 5%	2009
curva ipsografica 10%	1772	curva ipsografica 25%	1280
curva ipsografica 50%	769	curva ipsografica 75%	527
curva ipsografica 90%	417	curva ipsografica 95%	384
curva ipsografica 97,5%	347	distanza interquartile curva ipsografica	753
angolo di esposizione medio	19	lunghezza vettore orientamento	24.6
pendenza bacino	14.853	pendenza bacino quadrato equivalente	2.75
est baricentro (UTM32N WGS84)	407850	nord baricentro (UTM32N WGS84)	4905250
fattore di forma	0.14	rapporto di allungamento	0.422
media funzione di ampiezza	51617	varianza funzione di ampiezza	4.44×10^8
skewness funzione di ampiezza	0.513	kurtosis funzione di ampiezza	3.007
rapporto aree medie di due ordini adiacenti	5.136	rapporto di biforcazione	4.419
rapporto lunghezze medie di due ordini adiacenti	2.725	rapporto pendenze medie di due ordini adiacenti	2.348
densità di drenaggio	0.699	diametro topologico	76
lunghezza LDP	103.739	lunghezza asta principale	102.214
lunghezza totale reticolo idrografico	1049.6	lunghezza media versanti	653
pendenza media LDP	5	media dell'afflusso totale annuo	1144
deviazione standard dell'afflusso totale annuo	170	media coeff. pluviale orario CPP	24.324
dev. standard coeff. pluviale orario CPP	1.514	media esponente CPP	0.419
dev. standard esponente CPP	0.058	coeff. di intensità	0.021
media LCV piogge 1 ora	0.173	dev. standard LCV piogge 1 ora	0.016
media LCV piogge 3 ore	0.162	dev. standard LCV piogge 3 ore	0.013
media LCV piogge 6 ore	0.155	dev. standard LCV piogge 6 ore	0.012
media LCV piogge 12 ore	0.166	dev. standard LCV piogge 12 ore	0.017
media LCV piogge 24 ore	0.171	dev. standard LCV piogge 24 ore	0.016
media LCA piogge 1 ora	0.167	dev. standard LCA piogge 1 ora	0.07
media LCA piogge 3 ore	0.176	dev. standard LCA piogge 3 ore	0.051
media LCA piogge 6 ore	0.166	dev. standard LCA piogge 6 ore	0.057
media LCA piogge 12 ore	0.205	dev. standard LCA piogge 12 ore	0.066
media LCA piogge 24 ore	0.185	dev. standard LCA piogge 24 ore	0.046
media coeff. B1 regime pluviometrico	5.1	media coeff. C1 regime pluviometrico	-1.3
media coeff. B2 regime pluviometrico	0.4	media coeff. C2 regime pluviometrico	-37.8
dev. standard regime pluviometrico	31.1	coeff. variaz. regime pluviometrico	0.324
classe 1 corine land cover	2.34	classe 2 corine land cover	57.2
classe 3 corine land cover	37.46	classe 4 corine land cover	2.73
classe 5 corine land cover	0.27	media NDVI	0.553
dev. standard NDVI	0.084	media curve number 1	44.8
media curve number 2	64.1	media curve number 3	80.2
dev. standard curve number 1	9.5	dev. standard curve number 2	9.3
dev. standard curve number 3	7.4	media indice di permeabilità vapi	0.466
dev. standard indice di permeabilità vapi	0.177		

Caratteristiche dei bacini

Caratteristiche dei bacini ottenute da modello digitale del terreno e cartografie tematiche



- Quota Media del bacino
- Quota Massima del bacino
- Afflusso medio annuo
- Curva ipsografica (75%)
- Corine Land Cover classe 2
- Corine Land Cover classe 3
- Curva di possibilità pluviometrica
- Coefficiente Intensità
- Regime pluviometrico

Parametri Morfologici

Quota media del bacino

h_m [m s.l.m.], quota media del bacino calcolata sul modello digitale del terreno.

Quota Massima del bacino

quota_massima [m s.l.m.], quota massima del bacino calcolata sul modello digitale del terreno.

Curva Ipsografica (75%)

a75percento [m s.l.m.], quota oltre la quale si sviluppa il 75% dell'area del bacino (75-esimo percentile della curva ipsografica).

Parametri Climatici

Curva di possibilità pluviometrica

IDFa [mm/h], valore medio a scala di bacino del coefficiente pluviale orario della curva di possibilità pluviometrica nella forma $h = ad^n$.
IDFa_std [mm/h], deviazione standard a scala di bacino del coefficiente pluviale orario della curva di possibilità pluviometrica nella forma $h = ad^n$.

Afflusso medio annuo

MAP [mm], valore medio a scala di bacino dell'afflusso totale annuo.

Coefficiente di intensità

c_int [-], parametro climatico calcolato come il rapporto $c_{int} = \frac{IDF_a}{MAP}$

Variabilità climatica

Regime pluviometrico

***fourier*$_{B1}$** [-], valore medio del coefficiente B_1 della rappresentazione in serie di Fourier del regime pluviometrico $RP(t)$:

$$RP(t) = A_0 + B_1 \cdot X_1(t) + C_1 \cdot Y_1(t) + B_2 \cdot X_2(t) + C_2 \cdot Y_2(t).$$

dove X_1, X_2, Y_1 e Y_2 sono le basi armoniche.

Regime pluviometrico

cv_rp [-], coefficiente di variazione del regime pluviometrico medio sul bacino, considerando i 12 valori medi mensili.

Uso del Suolo

Classi di copertura del suolo dal progetto CORINE Land Cover (COoRdination of INformation on Environment, **EEA**)

Corine Land Cover classe 2

clc2 [%], percentuale, sull'area del bacino, di boschi (311, 312, 313), vegetazione arborea, vegetazione arbustiva, cespugliati (324, 323, 321, 322).

Corine Land Cover classe 3

clc3 [%], percentuale, sull'area del bacino, di zone con vegetazione erbacea, prato-pascolo, colture speciali, oliveti, vigneti, seminativi (231, 222, 223, 221, 211, 241, 243, 242, 142).

Calcolo del deflusso medio

Stima del deflusso medio annuo per unità di superficie:

$$Y = -7.3605 \cdot 10^2 + 1.2527 \cdot MAP + 3.2569 \cdot 10^{-1} \cdot h_m + 5.2674 \cdot fourier_{B1} - 6.7185 \cdot clc_2$$

Il deflusso Y è espresso in mm, la portata media annua $\overline{Q}$ è espressa in m^3/s e l'area A è in km^2:

$$\overline{Q} = \frac{Y \cdot A}{31536}$$

Il valore di deflusso medio così ottenuto si riferisce a condizioni non alterate dagli effetti antropici (regime "naturalizzato")

Calcolo degli L-momenti

Stima di L-CV:

$$L_{CV} = -2.896 \cdot 10^{-1} - 2.688 \cdot 10^{-3} clc3 + 9.643 \cdot 10^{-5} a75percento + \\ + 1.688 \cdot 10^{-4} MAP + 2.941 \cdot 10^{1} c_int$$

Stima di L-CA:

$$L_{CA} = 4.7551 \cdot quota_massima^{-0.2702} \cdot IDFa_std^{0.06869} \cdot cv_rp^{0.21055}$$

Il valore degli L-momenti così ottenuti si riferisce a condizioni non alterate dagli effetti antropici (regime "naturalizzato")

Scelta della forma analitica

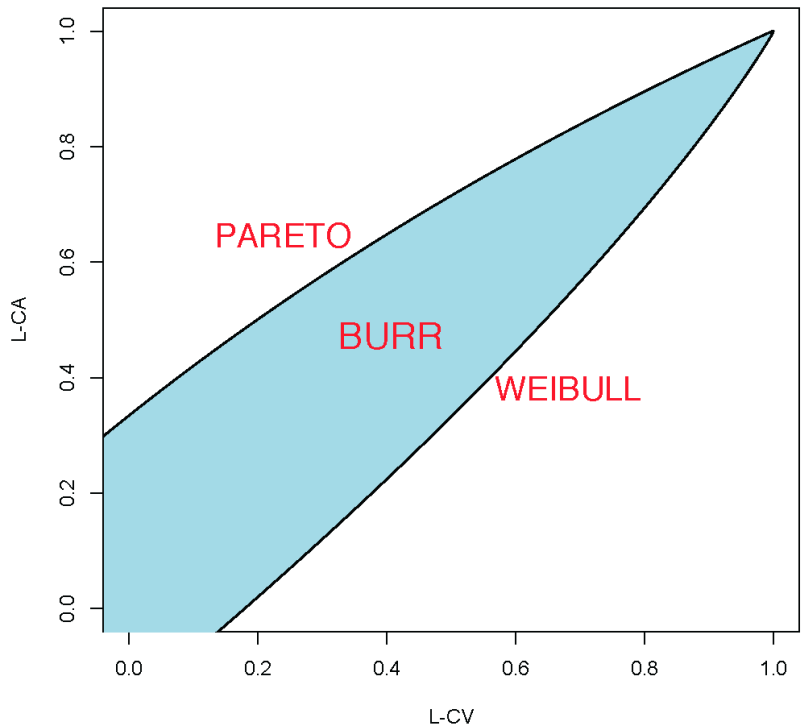
L-CV e L-CA determinano la forma analitica da utilizzare: Burr se si ricade nel dominio evidenziato; Pareto o Weibull se si ricade fuori dal dominio

Limite superiore (distribuzione di Pareto):

$$L_{CA}^{\lim} = \frac{1 + 3L_{CV}}{3 + L_{CV}}$$

Limite inferiore (distribuzione di Weibull):

$$L_{CA}^{\lim} = \frac{1}{L_{CV}} \left(-2 + 2 \cdot 3^{\frac{\ln(1-L_{CV})}{\ln(2)}} + 3L_{CV} \right)$$



Distribuzione di Burr

I parametri b e c non si possono stimare in forma chiusa, ma possono essere valutati tramite apposite griglie

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2				LCA													
3				-0.01	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12
4		LCV	0.02	0.8031	0.867	0.9325	1	1.07	1.141	1.216	1.293	1.373	1.457	1.545	1.637	1.733	1.835
5			0.03	0.7417	0.8038	0.8674	0.9328	1	1.069	1.141	1.215	1.292	1.372	1.456	1.543	1.635	1.731
6			0.04	0.6821	0.7426	0.8045	0.8679	0.933	1	1.069	1.141	1.214	1.291	1.371	1.455	1.542	1.633
7			0.05	0.6241	0.6832	0.7435	0.8051	0.8683	0.9332	1	1.069	1.14	1.214	1.29	1.37	1.453	1.54
8			0.06	0.5675	0.6253	0.6842	0.7443	0.8057	0.8687	0.9334	1	1.069	1.14	1.213	1.29	1.369	1.452
9			0.07	0.5121	0.5688	0.6264	0.6851	0.745	0.8063	0.8691	0.9336	1	1.069	1.139	1.213	1.289	1.368
10			0.08	0.4578	0.5136	0.5701	0.6275	0.686	0.7457	0.8068	0.8694	0.9338	1	1.068	1.139	1.212	1.288
11			0.09	0.4045	0.4593	0.5149	0.5712	0.6285	0.6868	0.7464	0.8073	0.8698	0.9339	1	1.068	1.139	1.212
12			0.1	0.3518	0.406	0.4607	0.5161	0.5723	0.6294	0.6876	0.747	0.8078	0.8701	0.9341	1	1.068	1.138
13			0.11	0.2998	0.3534	0.4074	0.462	0.5173	0.5733	0.6303	0.6883	0.7476	0.8082	0.8704	0.9342	1	1.068
14			0.12	0.2481	0.3014	0.3549	0.4088	0.4633	0.5184	0.5743	0.6311	0.689	0.7481	0.8086	0.8706	0.9344	1
15			0.13	0.1968	0.2498	0.3029	0.3563	0.4101	0.4644	0.5194	0.5752	0.6319	0.6896	0.7486	0.809	0.8709	0.9345
16			0.14	0.1456	0.1984	0.2512	0.3042	0.3575	0.4112	0.4655	0.5203	0.576	0.6326	0.6902	0.7491	0.8093	0.8711
17			0.15	0.09441	0.1472	0.1999	0.2526	0.3055	0.3587	0.4123	0.4664	0.5212	0.5767	0.6332	0.6907	0.7495	0.8096
18			0.16	0.04301	0.09587	0.1486	0.2012	0.2539	0.3067	0.3598	0.4133	0.4673	0.522	0.5774	0.6338	0.6912	0.7498
19			0.17	Weibull	0.04438	0.09719	0.1498	0.2024	0.255	0.3077	0.3607	0.4142	0.4681	0.5226	0.578	0.6343	0.6916
20			0.18	Weibull	Weibull	0.04559	0.09837	0.151	0.2035	0.256	0.3087	0.3616	0.4149	0.4688	0.5233	0.5785	0.6347
21			0.19	Weibull	Weibull	Weibull	0.04664	0.09939	0.1519	0.2044	0.2569	0.3095	0.3624	0.4156	0.4694	0.5238	0.579
22			0.2	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	0.04753	0.1003	0.1528	0.2052	0.2576	0.3102	**0.363**	0.4162	0.4699	0.5243
23			0.21	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	0.04826	0.101	0.1535	0.2059	0.2583	0.3108	0.3636	0.4167	0.4704
24			0.22	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	0.04883	0.1016	0.154	0.2064	0.2588	0.3113	0.364	0.4171
25			0.23	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	0.04922	0.102	0.1545	0.2068	0.2592	0.3116	0.3643
26			0.24	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	0.04946	0.1022	0.1547	0.2071	0.2594	0.3119
27			0.25	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	0.04952	0.1023	0.1549	0.2072	0.2596
28			0.26	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	0.04941	0.1023	0.1548	0.2072
29			0.27	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	0.04912	0.102	0.1546
30			0.28	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	0.04865	0.1016
31			0.29	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	0.048
32			0.3	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull

Distribuzione di Burr

Il parametro a si calcola come:

$$a = \frac{\overline{Q}}{b^{-1/c}} \frac{\Gamma\left[\frac{1}{b}\right]}{\Gamma\left[\frac{1}{b} - \frac{1}{c}\right]\Gamma\left[1 + \frac{1}{c}\right]}$$

dove Γ è la funzione Gamma.

Per una fissata durata d in giorni, la Curva di Durata delle Portate è definita come:

$$Q(d) = a\left(\frac{\left(\frac{d}{366}\right)^{-b} - 1}{b}\right)^{\frac{1}{c}}$$

NB: in Excel[2] la funzione $\Gamma(x)$ si implementa con:

```
= EXP( LN.GAMMA(x) )
```

[2] Il comando può variare a seconda della versione di Excel

Distribuzioni limite: Weibull

Si calcolano i parametri c_W e a_W della distribuzione di Weibull:

$$c_W = -\frac{\ln(2)}{\ln(1 - L_{CV})} \qquad a_W = \frac{\overline{Q} \cdot c_W}{\Gamma\left[\frac{1}{c_W}\right]}$$

Per una fissata durata d in giorni, la Curva di Durata delle Portate è definita come:

$$Q(d) = a_W \left(-\ln\left(\frac{d}{366}\right)\right)^{1/c_W}$$

Distribuzioni limite: Pareto

Si calcolano i parametri c_P e a_P della distribuzione di Pareto:

$$c_P = -\frac{L_{CV} + 1}{2L_{CV}} \qquad a_P = \overline{Q}\frac{1 + c_P}{c_P}$$

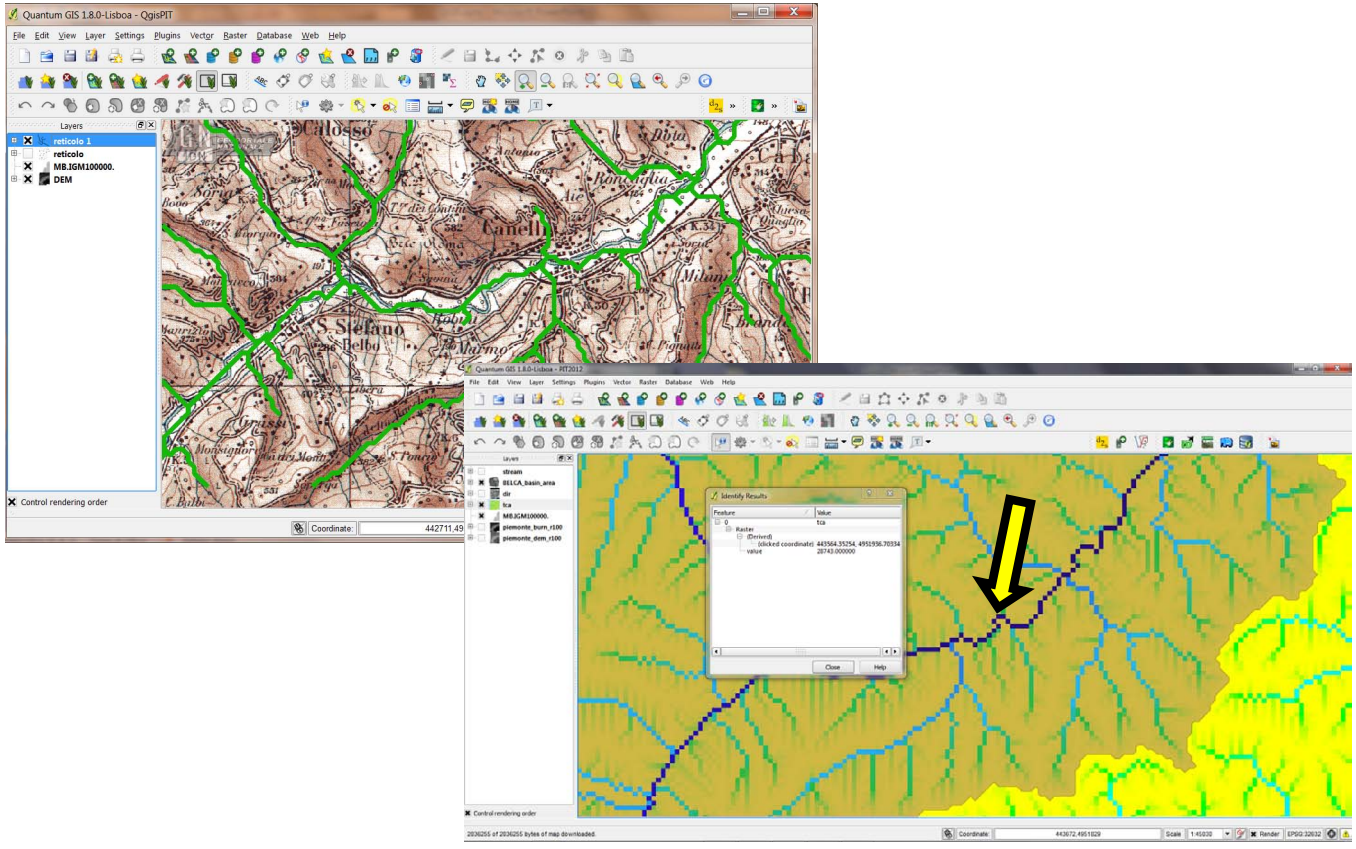
Per una fissata durata d in giorni, la Curva di Durata delle Portate è definita come:

$$Q(d) = a_P \left(\frac{d}{366}\right)^{1/c_P}$$

Sezioni generiche non catalogate

Sezione non catalogata

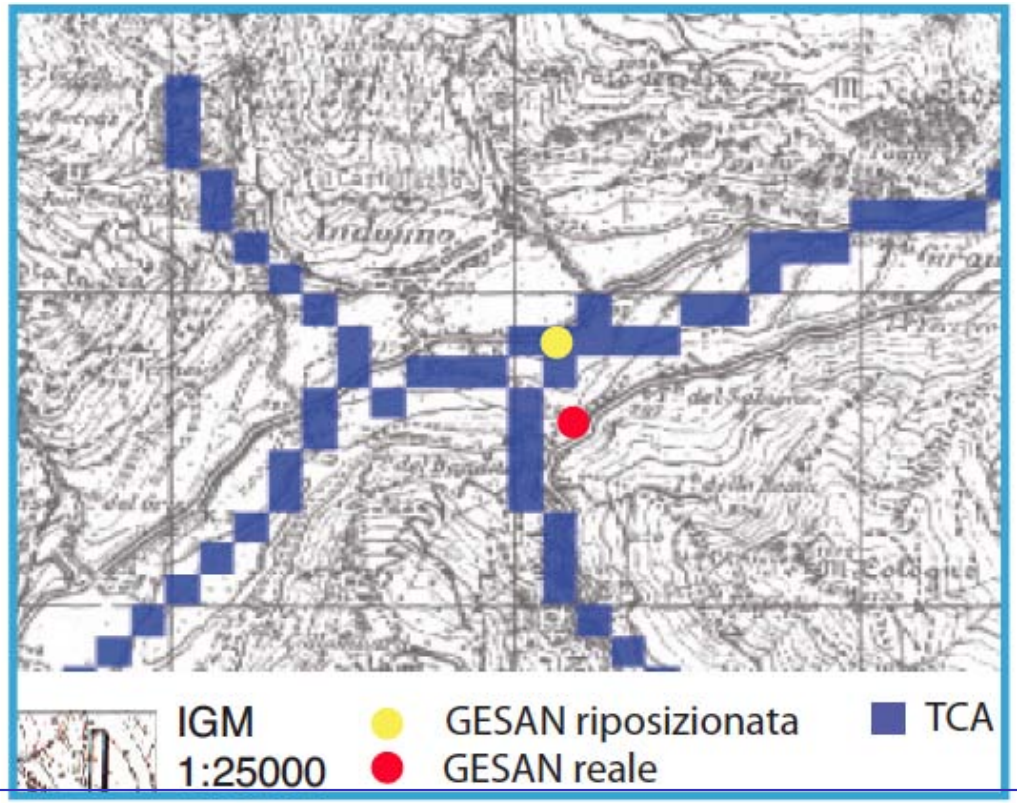
Se il bacino non è stato precedentemente delimitato, occorre farlo ed estrarre le caratteristiche necessarie mdiante analisi GIS del DEM e di alcune cartografie tematiche.



Delimitazione automatica?

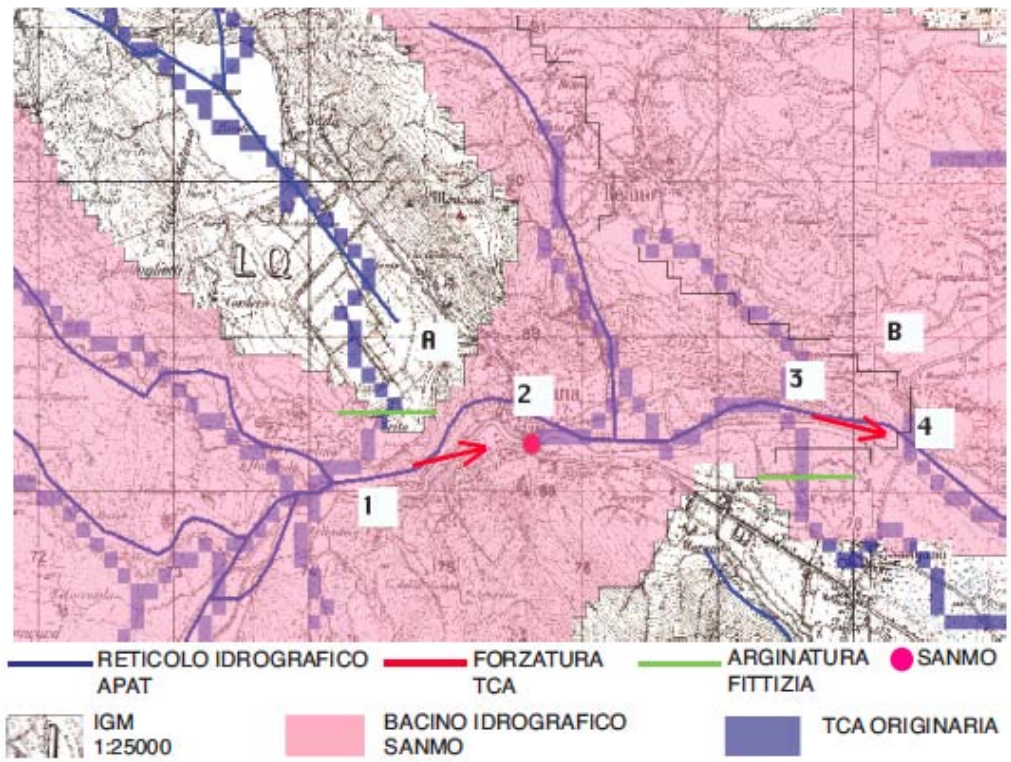
La delimitazione automatica è possibile, ma richiede alcune attenzioni:

- la sezione di chiusura deve essere identificata su un reticolo congruente con quello ottenuto analizzando le direzioni di drenaggio del DEM. Ciò può richiedere un riposizionamento della sezione rispetto a quella reale.



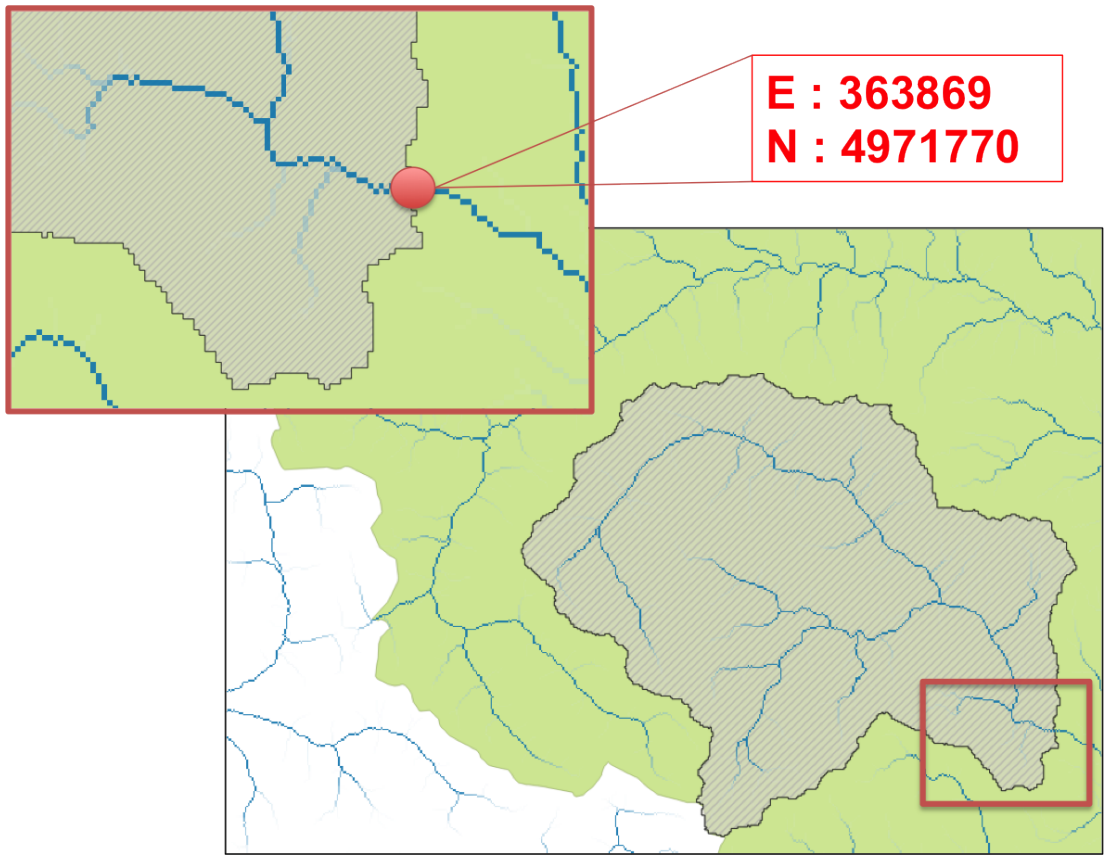
Delimitazione automatica?

- la delimitazione automatica non è affidabile quando le pendenze del DEM non sono tali da identificare chiaramente lo spartiacque. Occorre sempre verificare la congruenza del perimetro delimitato ed eventualmente modificarlo manualmente. Questa problematica insorge tipicamente nelle zone di pianura.



Esempio applicazione: delimitazione bacino

Identificazione delle coordinate E e N della sezione di chiusura; esse devono ricadere sul reticolo idrografico ottenuto dal DEM



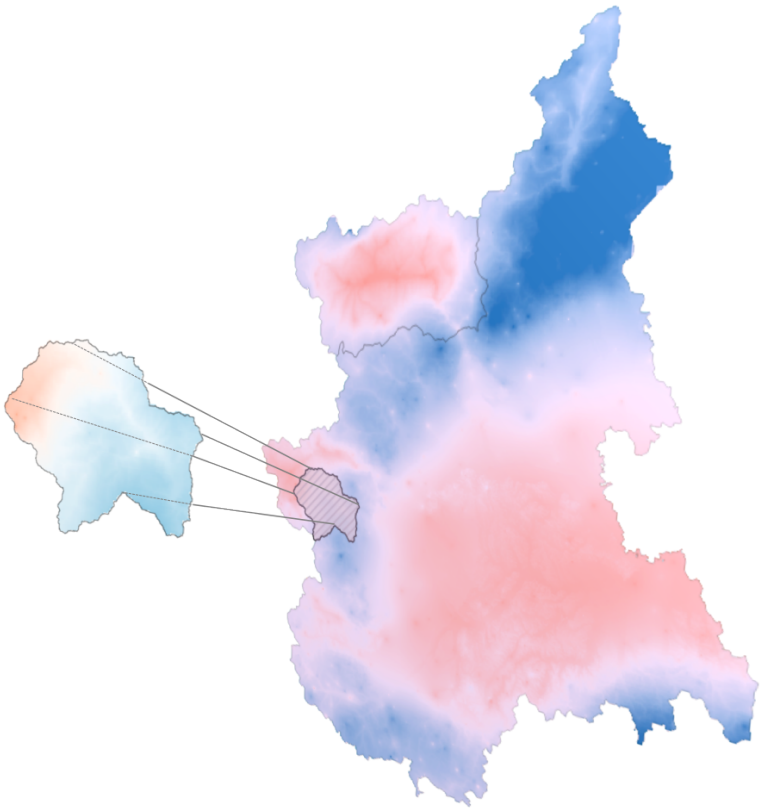
Script GRASS per creare lo shapefile *CHSSM.shp*

```
bash estrai_bacino_rp.sh CHSSM 363869 4971770
```

Esempio applicazione: calcolo descrittori

Estrazione delle caratteristiche di bacino. Script GRASS per lo shapefile *CHSSM.shp*:

```
bash calcola_descr.sh CHSSM
```



- area_km= 580
- quota_media=1739
- quota_massima=3234
- curva_ipso_75percento=1276
- MAP=1048
- IDFa=17.4
- IDFa_std=3.371
- fourier_B1=-13.7
- cv_rp=0.368
- clc2=0.5786 → 57.9 %
- clc3=0.2493 → 24.9 %

Restituisce la tabella : *CHSSM_input_descrittori.txt*

Proseguire con la procedura descritta per i bacini già catalogati dalla slide 21

Effetti antropici

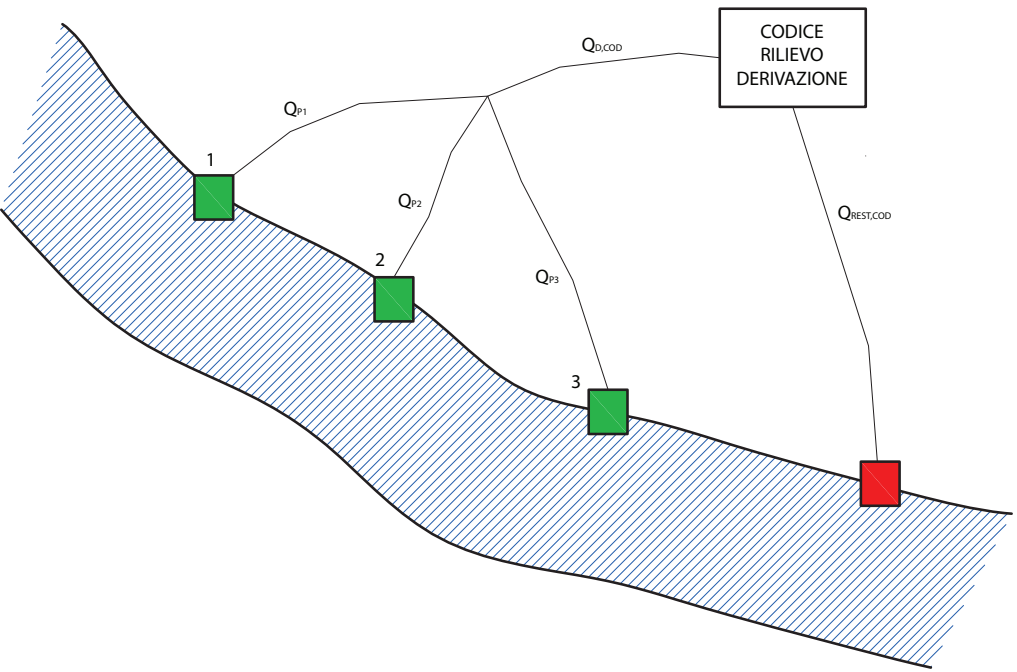
Antropizzazione

I valori ottenuti dall'analisi regionale sono "naturalizzati", ovvero sono stime che non tengono in conto dei prelievi esistenti.
Qualora esistano dei prelievi all'interno del bacino che vengono restituiti a valle della sezione di chiusura (o in un altro corso d'acqua), è possibile valutare la CDP "antropizzata" correggendo $\bar{Q}$, L-CV e L-CA e ricalcolando la curva sugli L-momenti corretti. Il metodo è parsimonioso in quanto non è richiesta la serie storica delle portate, ma soltanto lo scompenso complessivo sul bacino.

Effetto delle derivazioni

Occorre calcolare il parametro di squilibrio

$$z = \frac{\Delta Q}{\bar{Q}}$$



- ΔQ = somma delle portate massime derivabili di ogni presa "scompensata"
- $\bar{Q}$ = portata media annua ottenuta dal modello regionale

Si considerano "scompensate" le prese che non restituiscono prima del punto di calcolo

Fattori di correzione

Correzione Portata Media:

$$Q_{\text{Antro}} = \bar{Q} \cdot e^{-z}$$

Correzione LCV:

$$LCV_{\text{Antro}} = 2 \cdot LCV \cdot L2[z]$$

Correzione LCA:

$$LCA_{\text{Antro}} = 3 \cdot LCA \cdot \frac{L3[z]}{L2[z]}$$

dove:

$$L2[z] = 1 - 1/2 \cdot e^{-z}$$

$$L3[z] = 1/6 \cdot \left(4 - 9e^{z} + 6e^{2z}\right)$$

I valori di portata media, L-CV e L-CA corretti per gli effetti antropici (pedice "Antro") vengono utilizzati al posto dei valori originali nel calcolo dei parametri della distribuzione