

Caratterizzazione fisiografica, climatica e del suolo del bacino del Sangone per applicazione di modelli idrologico distribuiti

Relazione di tirocinio



Elena Diamantini

Prof. Pierluigi Claps (tutor accademico)

Ing. Mariella Graziadei (tutor aziendale)



Giugno 2014

Sommario

DESCRIZIONE BACINO	2
1.1. Conformazione morfologica	2
1.2. Suoli.....	5
1.3. Vegetazione	12
1.4. Situazione monitoraggio	16
DATI	25
1.5. Suolo	25
1.6. Satellitari	27
1.7. Idrologici.....	31
1.8. Radar	36
MODELLO	36
1.9. <i>Elaborazione di eventi intensi</i>	40
ALLEGATI	52

DESCRIZIONE BACINO

Conformazione morfologica

Il sito in studio è il bacino del Sangone nel quale vi scorre l'omonimo Fiume Sangone il quale presenta una lunghezza complessiva dell'asta di 47 km e una pendenza media di 7,3%; questo è l'affluente di sinistra del Fiume Po e ha origine nelle Alpi Cozie nelle Rocce dei Mortai (Punta del' Ila) e incontra il Po nella zona a sud della città di Torino. È caratterizzato da due stazioni idrografiche: Moncalieri e Trana. La sua area è pari a 268 km², la massima altezza è di 2679 m s.l.m., l'altitudine media è di 869 m s.l.m e la minima è di 219 m s.l.m. Il bacino è orientato principalmente nella direzione ovest-est, è circondato a nord dalla bassa Val di Susa, a sud dalla Val Chisola e a ovest dalla Val Chisone. Il bacino presenta una conformazione a clessidra a causa della chiusura di Trana, corrispondente ad una incisione nella roccia; pertanto il bacino è principalmente montano a monte di Trana. A valle di Trana, invece, la morfologia della valle diventa tipica delle zone alluvionali. Idrogeologicamente è possibile individuare due tipi di falde acquifere, la prima più superficiale è spesso in contatto diretto con i corsi d'acqua mentre la seconda è più profonda e all'interno di un importante sistema acquifero sotterraneo in pressione.

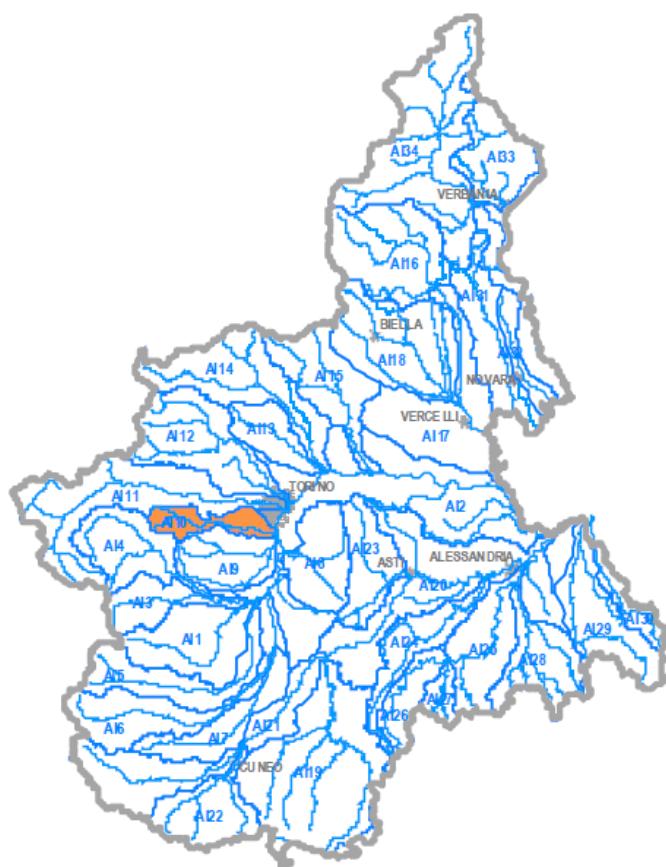


Figura 1: Localizzazione del bacino del Sangone nella regione Piemonte

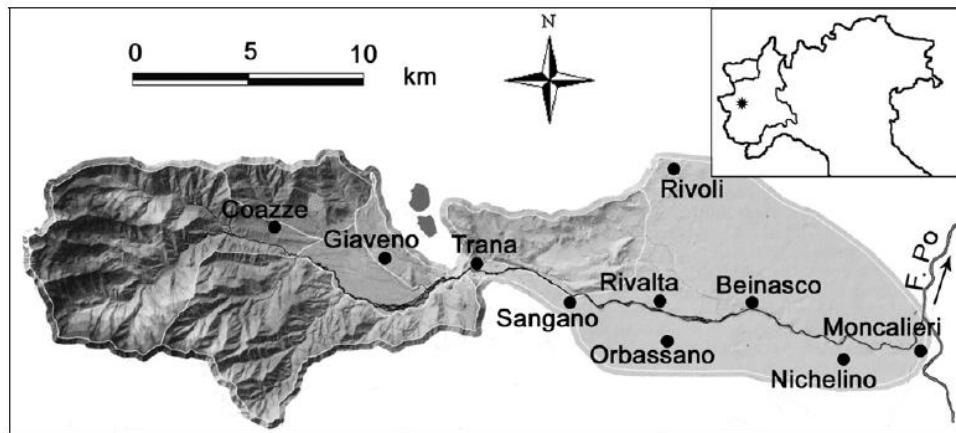


Figura 2: Bacino del Sangone, tributario del PO nella Provincia di Torino

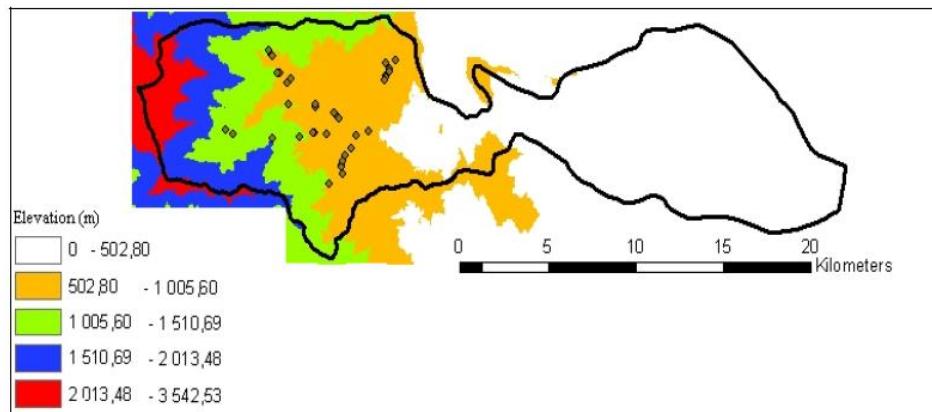


Figura 3: Localizzazione dei siti di campionamento nel torrente Sangone

Per quanto concerne l'andamento altimetrico del bacino si riporta a seguire un estratto del DTM del bacino in studio.

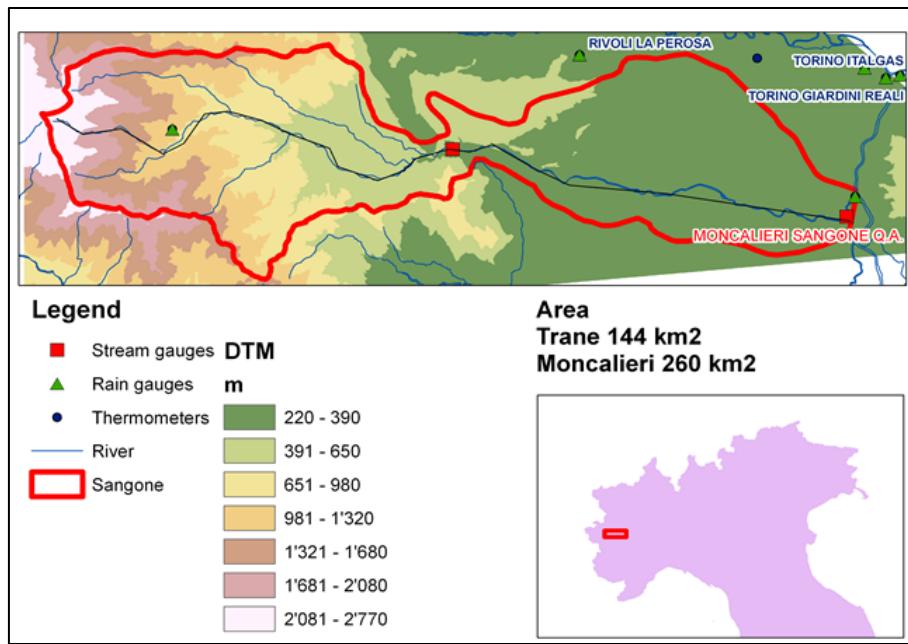


Figura 4: Caratterizzazione altimetrica del bacino (DTM)

Nella seguente Figura 5 si riportano i parametri del digital elevation model; più in particolare, si riassumono gli andamenti dell'indice di umidità del suolo e la concavità del suolo relativamente al bacino in studio.

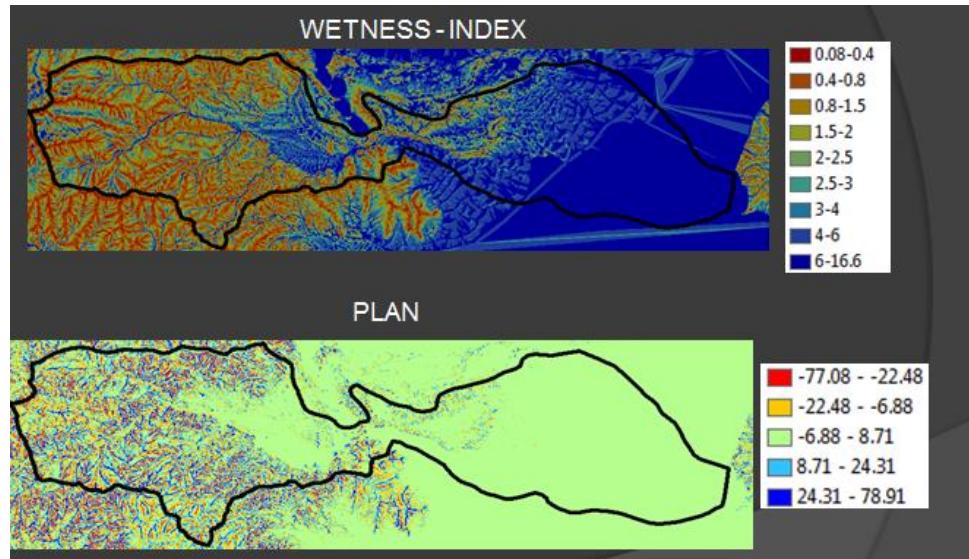


Figura 5: Indice di umidità del suolo e di concavità (Camaro,2000)

Suoli

Le attività effettuate comprendono:

- I campagna di rilievo pedologico (15-21 giugno 2009)

Campionamento di 20 profili di suolo nel Sistema Montuoso; una ventina di osservazioni speditive nello stesso sistema (Michela Iamarino, Antonella Agrillo, Claudio Romano)

- II campagna di rilievo pedologico (16-23 luglio 2009)

Campionamento di 29 profili di suolo nei Sistemi Pedemontano e di Pianura (apertura profili con mezzo meccanico); diverse osservazioni speditive negli stessi sistemi. (Michela Iamarino, Pierpaolo Moretti, Laura Del Vacchio, Fabio Terribile)

- III campagna di rilievo idro-pedologico (6-11 ottobre 2009)

Campionamento di 12 profili (pedologia + idrologia) + 10 per l'idrologia + 49 per variabilità spaziale (Michela Iamarino, Angelo Basile, Fabio Terribile, Laura Gargiulo, Nadia Orefice, Piero Manna, Antonello Bonfante, Pierpaolo Moretti, Antonella Agrillo, Adriano Stinca)

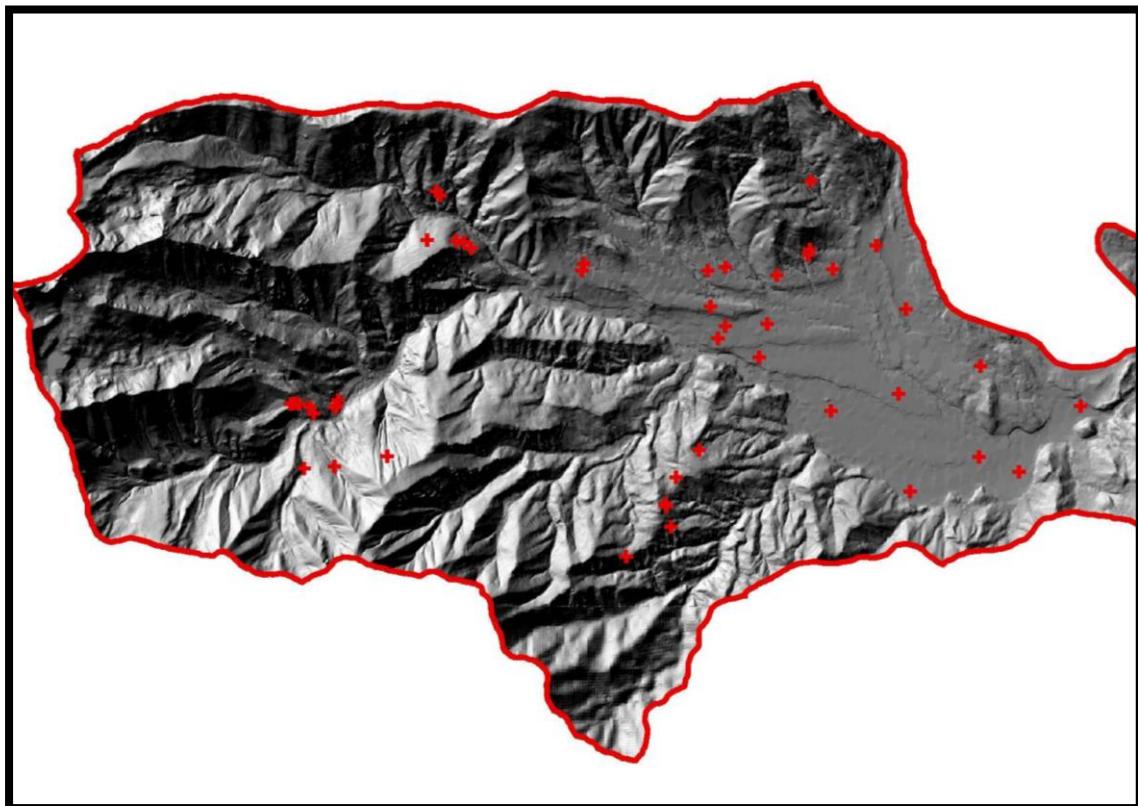


Figura 6: Punti di rilievo pedologico

- Analisi di laboratorio

Chimiche (Luciana Minieri, Pierpaolo Moretti)

Fisico-Idrologiche (Nadia Orefice, Roberto De Mascellis)

Di seguito si riportano alcuni profili effettuati nel bacino in esame:

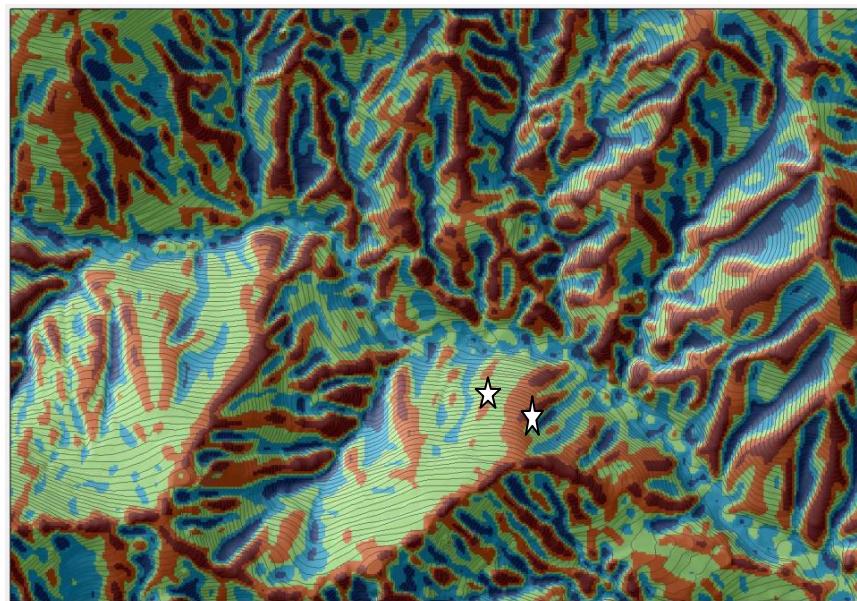
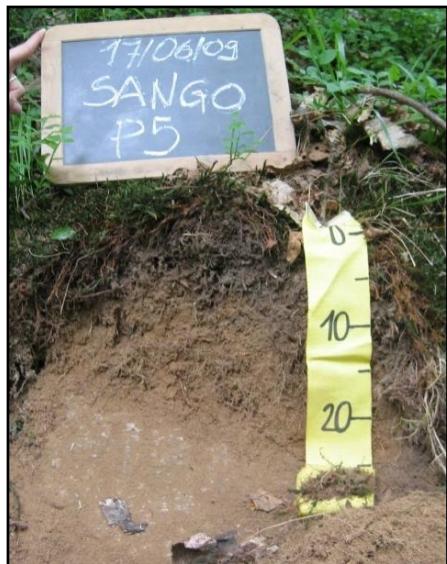


Figura 7: Collocazione planimetrica dei campioni "Sango 5" e "Sango 6"



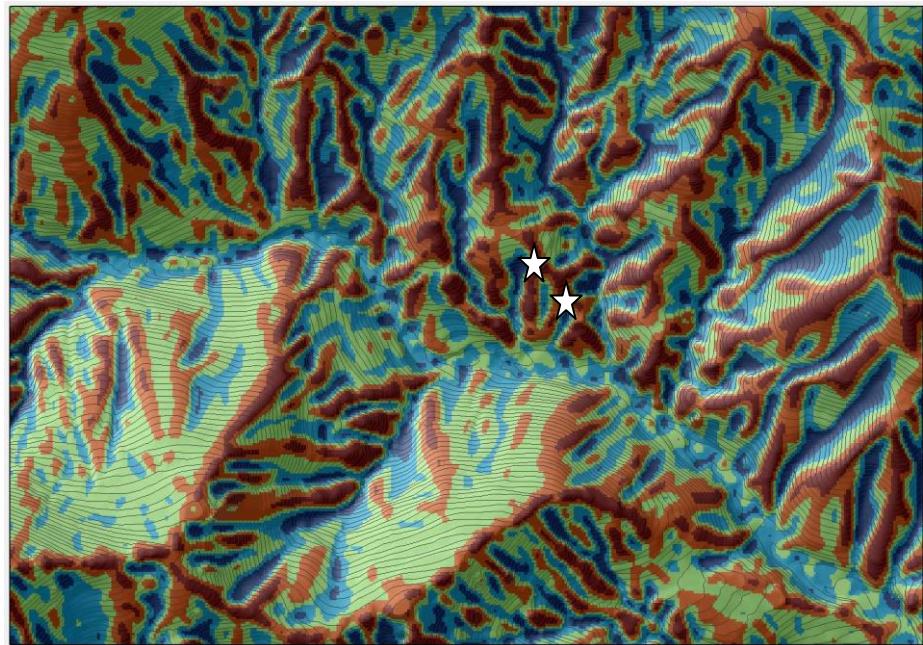


Figura 8: Collocazione planimetrica dei campioni a seguire



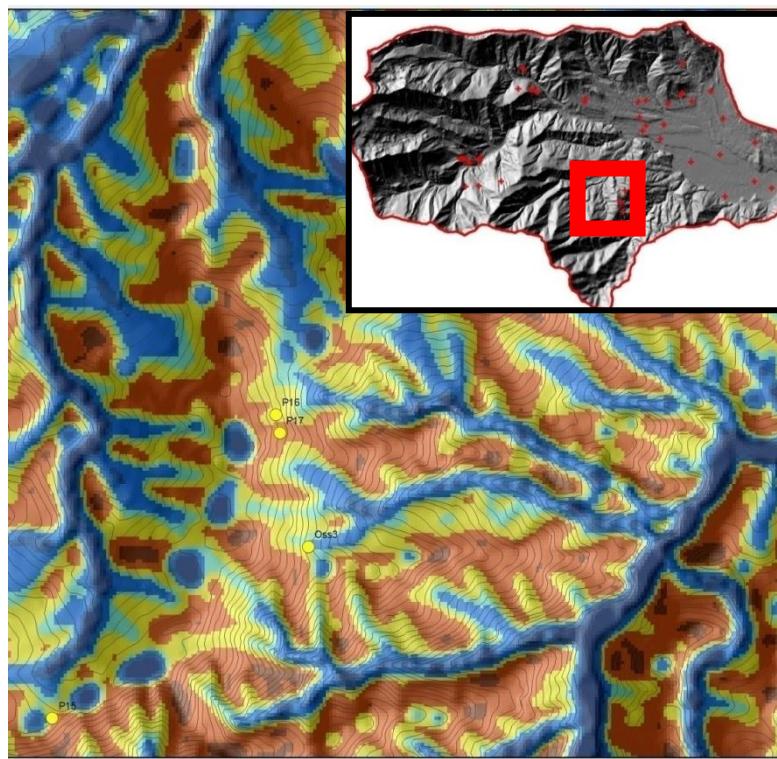


Figura 9: Collocazione planimetrica campioni "Sango 16" e "Sango 17"



Si riporta in dettaglio il profilo effettuato in località Coazze:

Profilo: P22 - Coazze

Periodo di rilevamento: luglio 2009

Località: Borgata Selvaggio Rio

Provincia e Regione: Torino - Piemonte

Coordinate: UTM WGS 84 - Fuso 32

Longitudine: 368090

Latitudine: 4990557

Quota: 658 m s.l.m.

Pendenza: 5°

Esposizione: SE

NDVI Agosto: 0,48

Morfologia: Conoide pedemotano

Uso del suolo: Prato

Litologia del substrato: Deposito detritico caotico di origine fluvio-glaciale

Descrizione orizzonti:

A 0-8

Umido; colore secco: 2.5Y 6/4, colore umido: 10YR 4/2; franco sabbioso; struttura granulare media, fortemente sviluppata; friabile; scheletro scarso e molto piccolo; effervesienza nulla; limite chiaro ondulato.

Bw 8-30

Umido; colore secco: 10YR 6/4, colore umido: 10YR 3/4, franco limoso; struttura poliedrica angolare grande, debolmente sviluppata, friabile, scheletro scarso e molto piccolo; effervesienza nulla; limite chiaro lineare.

2Bx1 30-50

Umido; colore secco: 10YR 6/6, colore umido: 10YR 4/6, franco limoso argilloso; struttura poliedrica angolare debolmente sviluppata; molto resistente; scheletro scarso e molto piccolo; effervesienza nulla; limite graduale lineare.

2Bx2 50-80

Umido; colore secco 10YR 6/6, colore umido: 10YR 4/6; franco limoso argilloso; struttura poliedrica angolare debolmente sviluppata; scheletro scarso grossolano; effervesienza nulla; limite graduale lineare.

R/Bx2 80-85+



Complessivamente sono stati ricavati:

375 Campioni di suolo sciolto per analisi chimico-fisiche (62 profili e 84 orizzonti superficiali)

42 Campioni (wind + stakmann) per caratterizzare tutte le unità pedologiche descritte

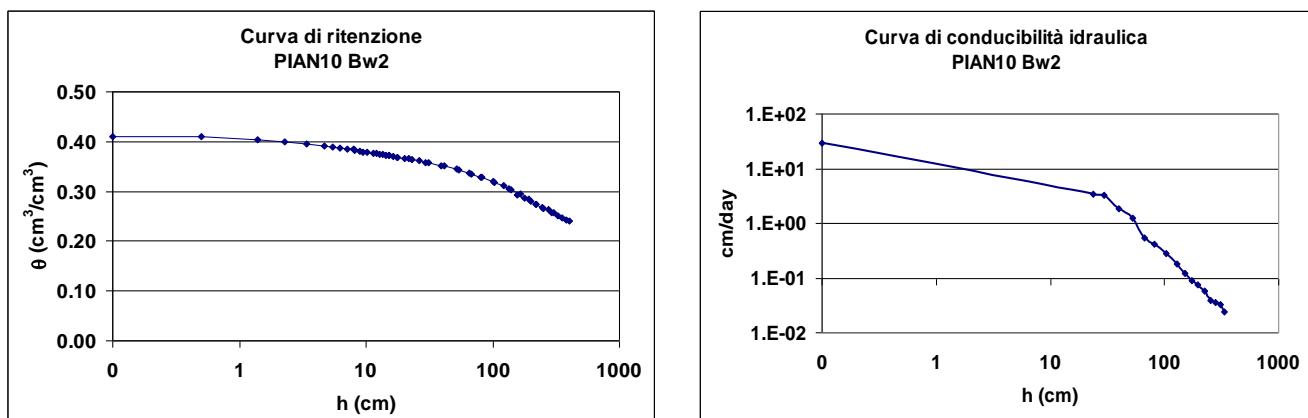
49 Campioni indisturbati (prove di infiltrometria a tensione in laboratorio) per studio di variabilità spaziale

E al 20/11/09 sono state effettuate:

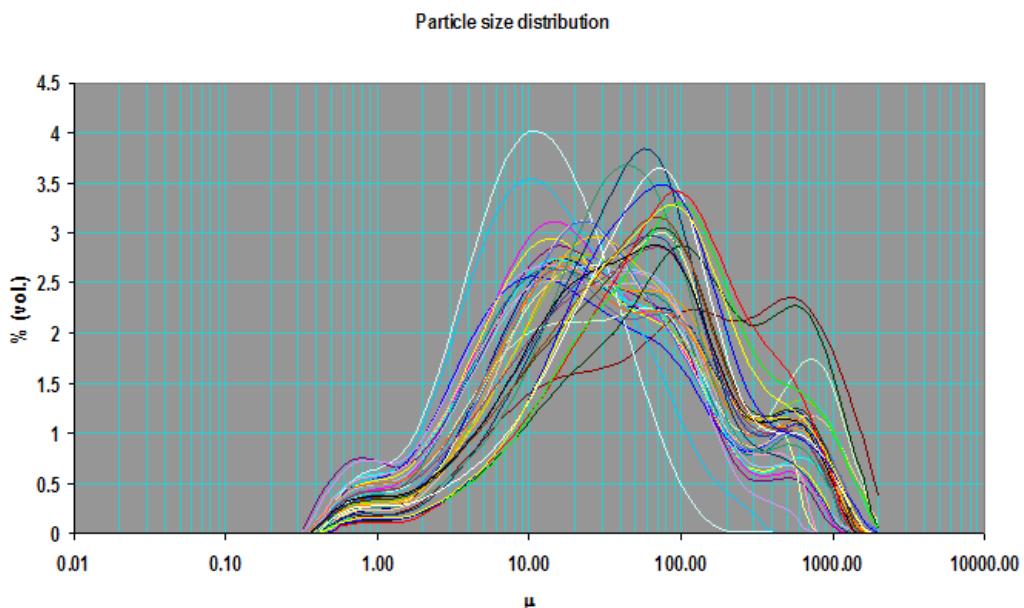
14 misure di conducibilità alla saturazione K_s (34% dei campioni)

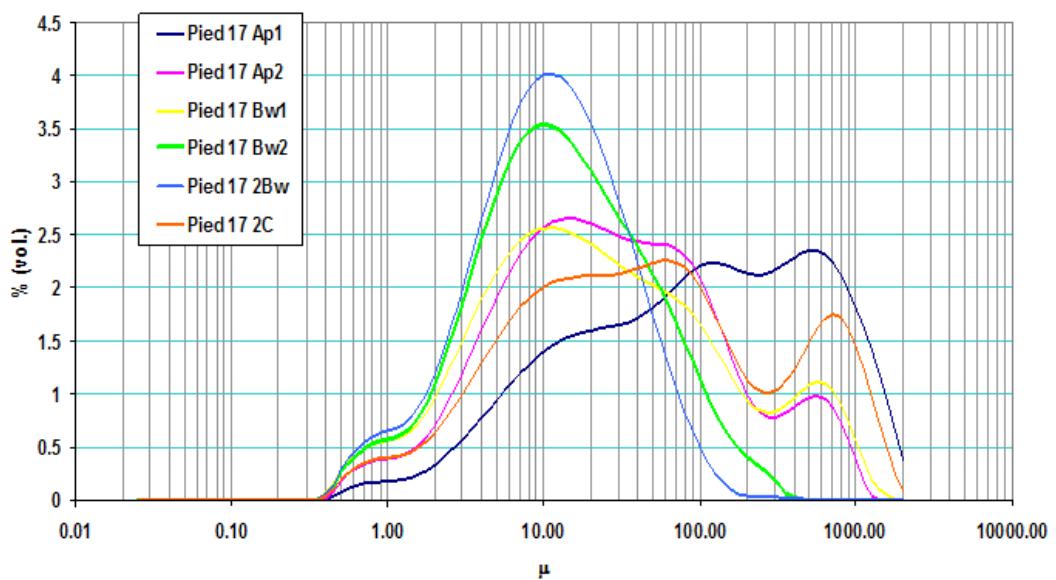
6 prove con metodo di Wind (31% dei campioni Wind)

Per quanto concerne le proprietà idrauliche, si sono ottenute le seguenti curve:



Per quanto concerne la granulometria, sono state individuate le seguenti curve granulometriche:





E la sostanza organica presente nei campioni è la seguente:

campione	C.O. (%)	S.O.
C 26	4.7	8.1
C 27	5.0	8.7
C 29	6.1	10.6
C 30	4.9	8.5
C 31	5.9	10.1
C 32	1.8	3.1
C 33	1.5	2.6
C 34	6.3	10.9
C 35	2.0	3.4
C 36	3.9	6.7
D 01	3.5	5.9
D 02	5.1	8.8
D 03	4.6	8.0
D 04	3.0	5.2
D 05	5.1	8.8
D 06	6.8	11.7
E 01	4.3	7.4
E 02	2.9	4.9
E 03	9.0	15.5
E 04	6.3	10.9
E 05	2.0	3.4
E 06	5.3	9.2
E 07	3.2	5.6
E 08	3.5	6.1
E 09	3.4	5.8
E 10	3.1	5.3
E 11	2.6	4.6
E 12	3.4	5.9
E 13	3.1	5.4
E 14	3.0	5.3
E 15	2.2	3.9
E 16	1.3	2.3

campione	C.O. (%)	S.O.
Pied 13 A1 0-5	2.8	4.9
Pied 13 A2 5-15	1.4	2.4
Pied 17 Ap1 0-5	4.6	7.9
Pied 17 Ap2 5-10	3.1	5.3
Pied 18 A 0-5	3.2	5.4
Pied 18 AB5-27	1.1	2.0
Sango P10 A1 0-5	6.8	11.7
Sango P10 A2 5-12	4.2	7.3
Sango P15 A 0-5	3.1	5.4
Sango P15 A2 5-35	1.6	2.8
Sango P15 A3 35-50	1.2	2.2
Sango P16 A 0-5	7.3	12.5
Sango P17 A 0-7	3.7	6.4
Sango P18 A1 0-10	2.7	4.6
Sango P18 A2 10-20	1.4	2.5
Sango P20 A 0-15	3.2	5.5
Sango P1 A 0-10	2.8	4.8
Sango P2 A 0-15	3.1	5.3
Sango P3 A 0-8	5.4	9.3
Sango P3 A/B	4.7	8.2

Vegetazione

Secondo la Carta forestale I.P.L.A (Istituto per le Piante da Legno e l'Ambiente), il bacino del Sangone è caratterizzato dalle seguenti categorie di vegetazione (Camaro):

CLASS NUMBER	COUNT	AREA (Km ²)	CLASS
29	1911	1.720	Acero-tiglio-frassineti
10	756	0.680	Acque
9	451	0.406	Alneti planiziali e montani
35	12102	10.892	Arbusteti subalpini
14	175	0.158	Aree estrattive
1	64032	57.629	Aree urbanizzate, infrastrutture
7	3152	2.837	Aree verdi urbane
11	2589	2.330	Boscaglie pioniere di invasione
33	39361	35.425	Castagneti
24	2281	2.053	Cespuglietti
27	1166	1.049	Cespuglietti pascolabili
4	360	0.324	Coltivi abbandonati
26	32877	29.589	Faggete
15	135	0.122	Formazioni legnose riparie
5	2332	2.099	Frutteti e vigneti
16	347	0.312	Greti
3	1390	1.251	Impianti per arboricoltura da legno
21	7293	6.564	Lariceti e cembrete
30	106	0.095	Pinete di Pino silvestre
19	7023	6.321	Praterie
23	5693	5.124	Praterie non utilizzate
22	5403	4.863	Praterie rupicole
17	38	0.034	Prati aridi di gretto
6	14245	12.821	Prati stabili di pianura
28	6082	5.474	Prato-pascoli
31	5223	4.701	Querceti di rovere
12	576	0.518	Querco-carpineti
13	1791	1.612	Rimboschimenti
2	665	0.599	Robinia
36	6723	6.051	Robinieti
20	13262	11.936	Rocce e macereti
8	54226	48.803	Seminativi
25	164	0.148	Unità mosaico

Tabella 1: IPLA Class Sangone Basin

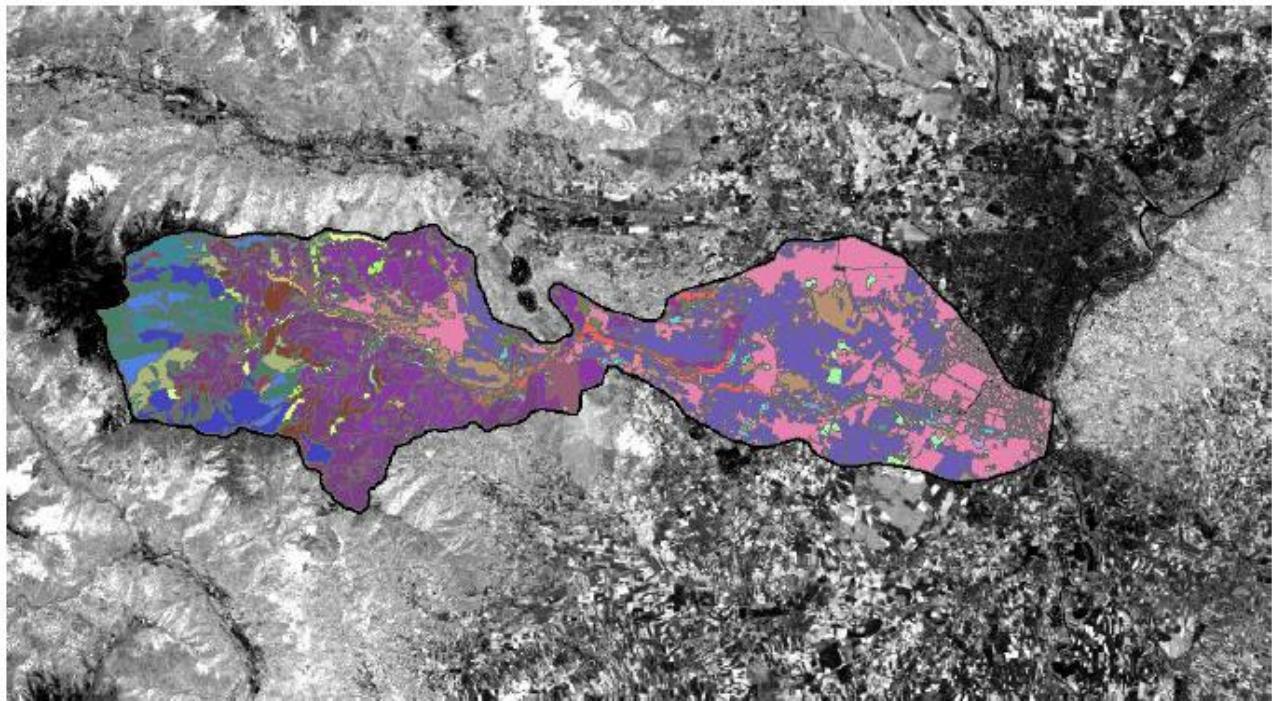


IMAGE 5 MARCH 2000 – LANDSAT 7

Figura 10: Bacino del Sangone, categorie IPLA

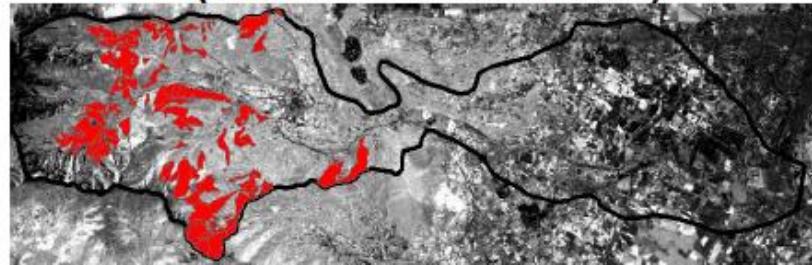
Le classi di vegetazione più diffuse sono riportate in giallo nella tabella seguente e a seguire sono riportate delle immagini in cui si evidenzia la loro dislocazione nel territorio (Camaro):

CLASS NUMBER	COUNT	AREA (Km ²)	CLASS
1	64032	57.629	Aree urbanizzate, infrastrutture
2	665	0.599	Robinia
3	1390	1.251	Impianti per arboricoltura da legno
4	360	0.324	Coltivi abbandonati
5	2332	2.099	Frutteti e vigneti
6	14245	12.821	Prati stabili di pianura
7	3152	2.837	Aree verdi urbane
8	54226	48.803	Seminativi
9	451	0.406	Alneti planiziali e montani
10	756	0.680	Acque
11	2589	2.330	Boscaglie pioniere di invasione
12	576	0.518	Querco-carpineti
13	1791	1.612	Rimboschimenti
14	175	0.158	Aree estrattive
15	135	0.122	Formazioni legnose riparie
16	347	0.312	Greti
17	38	0.034	Prati aridi di greto

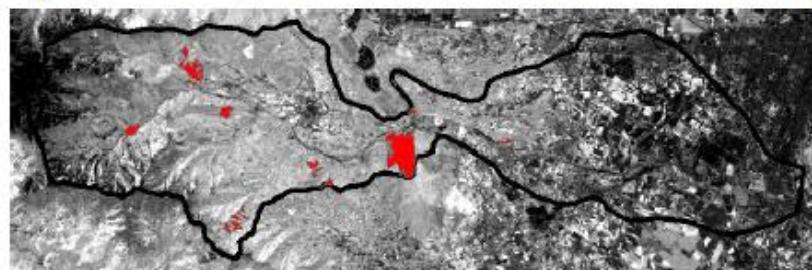
CLASS NUMBER	COUNT	AREA (Km ²)	CLASS
19	7023	6.321	Praterie
20	13262	11.936	Rocce e macereti
21	7293	6.564	Lariceti e cembrete
22	5403	4.863	Praterie rupicole
23	5693	5.124	Praterie non utilizzate
24	2281	2.053	Cespuglietti
25	164	0.148	Unità mosaico
26	32877	29.589	Faggete
27	1166	1.049	Cespuglietti pascolabili
28	6082	5.474	Prato-pascoli
29	1911	1.720	Acero-tiglio-frassineti
30	106	0.095	Pinete di Pino silvestre
31	5223	4.701	Querceti di rovere
33	39361	35.425	Castagneti
35	12102	10.892	Arbusteti subalpini
36	6723	6.051	Robinieti

TOTAL AREA= 264.537 Km²

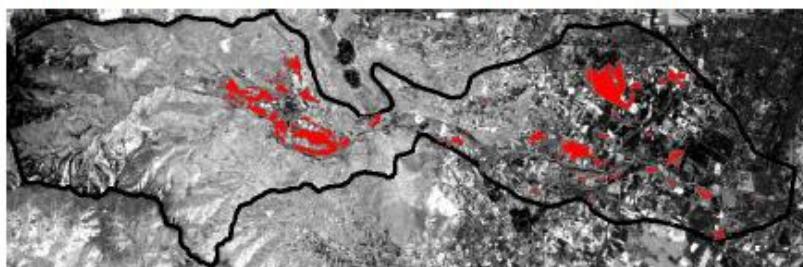
(FAGGETE 29.589 Km^2)



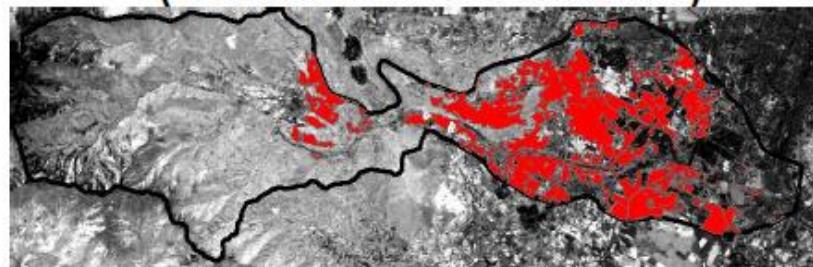
(QUERCETI DI ROVERE 4.701 Km^2)



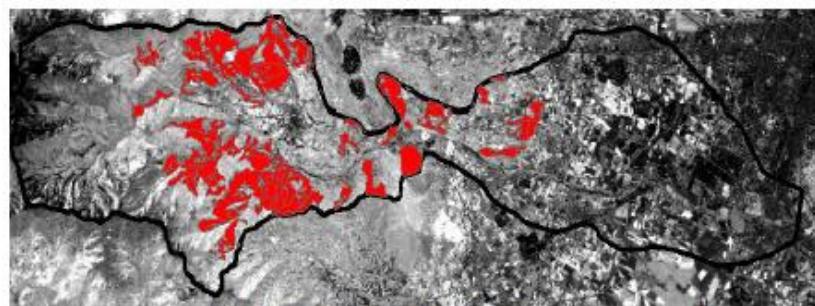
(PRATI STABILI DI PIANURA 12.821 Km^2)



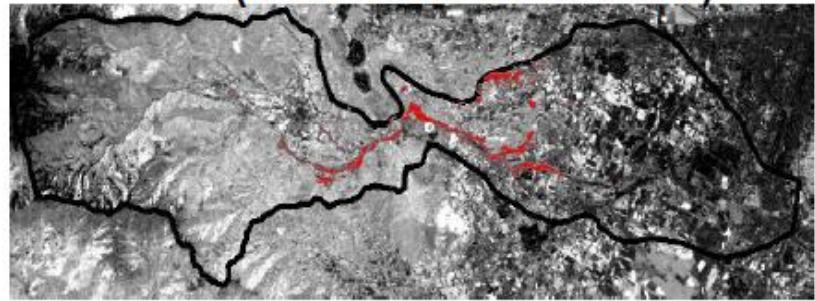
(SEMINATIVI 48.803 Km^2)



(CASTAGNETI 35.425 Km²)



(ROBINIETI 6.051 Km²)



Situazione monitoraggio

Le stazioni attualmente attive e in funzione sono riassunte nella seguente tabella:

Stazione				
Portata	Livello	Precipitazione	Temperatura	Vento
TRANA SANGONE	TRANA SANGONE	AVIGLIANA	AVIGLIANA	AVIGLIANA
MONCALIERI SANGONE	MONCALIERI SANGONE	BAUDUCCHI	BAUDUCCHI	BAUDUCCHI
		BORGONE-SUSA	BORGONE-SUSA	BORGONE-SUSA
		COAZZE	COAZZE	COAZZE
		CUMIANA	CUMIANA	CUMIANA
		RIVOLI LA PEROSA	RIVOLI LA PEROSA	RIVOLI LA PEROSA
		PINEROLO	PINEROLO	PINEROLO
		TORINO VALLERE	TORINO ALENIA	TORINO ALENIA
		TRANA	TORINO VALLERE	TORINO VALLERE
			TRANA	TRANA

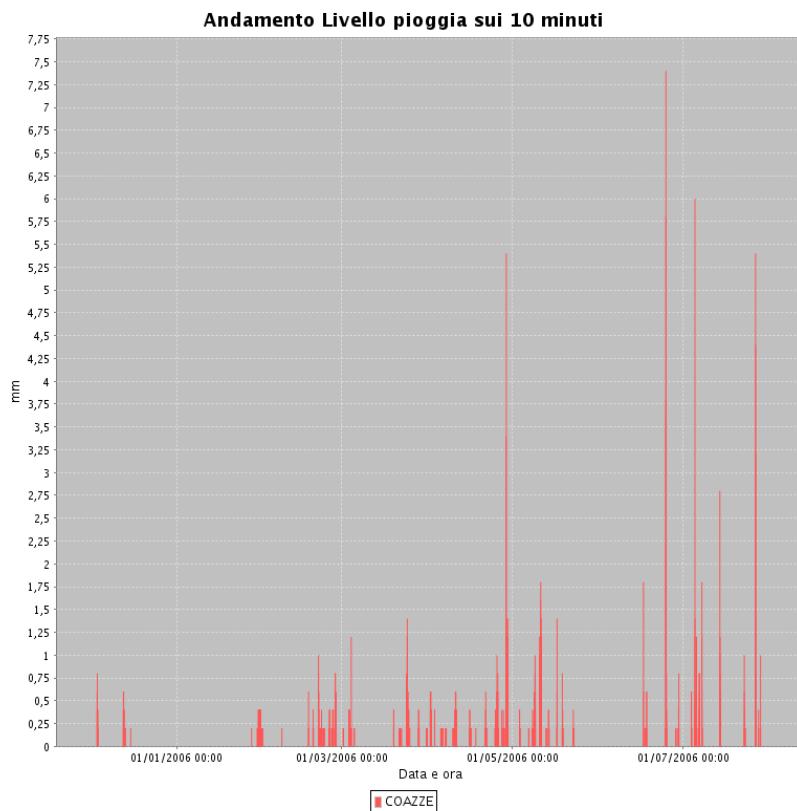
I dati attualmente a disposizione sul bacino del Sangone sono i seguenti:

- Portata
 - 1) Stazione: TRANA SANGONE; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 01/07/2002-31/12/2012
 - 2) Stazione: MONCALIERI SANGONE; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 15/03/2005 - 31/12/2012
 - 3) Stazione: TRANA SANGONE; i dati *con scala temporale di mezz'ora* sono disponibili per gli eventi di piena di 15/9/2006, 16/6/2010, 6/11/2011
 - 4) Stazione: MONCALIERI SANGONE; i dati *con scala temporale di mezz'ora* sono disponibili per gli eventi di piena di 30/5/2008, 2/4/2009, 17/6/2010, 6/11/2011
- Livello
 - 1) Stazione: TRANA SANGONE; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 01/07/2002-31/12/2012 con interruzione dal 15/8/2003 al 08/09/2003 (compresi) e dal 11/09/2003 al 30/09/2003 (compresi), dal 3/10/2003 al 31/10/2003 (compresi), dal 25/9/2004 al 1/10/2004 (compresi)

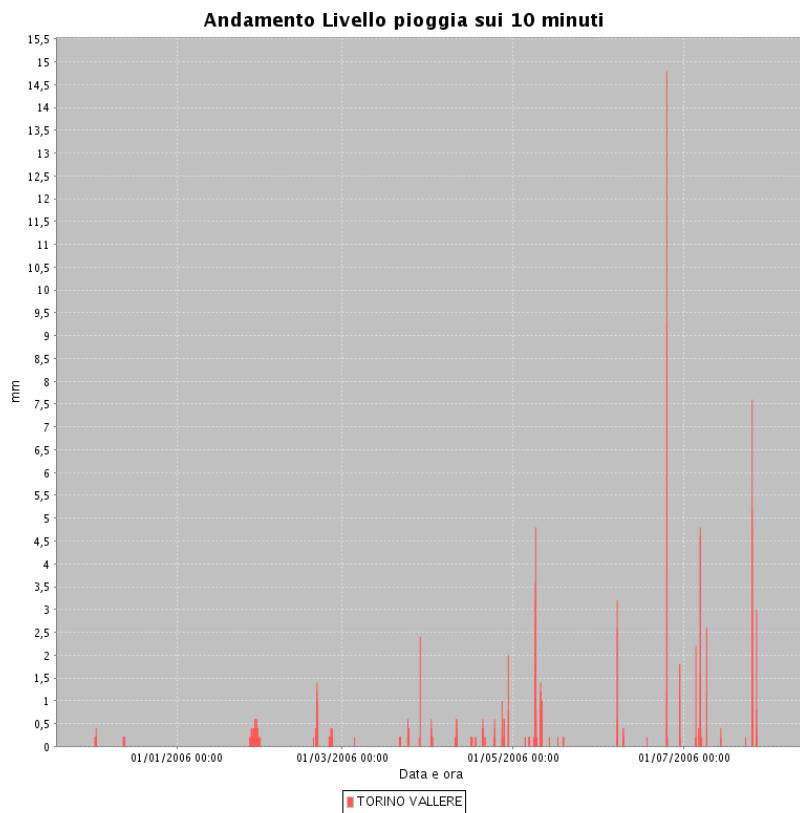
- 2) Stazione: MONCALIERI SANGONE; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 15/03/2005 - 31/12/2012 con interruzione dal 10/11/2006 al 05/12/2006 (compresi), dal 24/12/2010 al 28/12/2010 (compresi)
- 3) Stazione: TRANA SANGONE; i dati *con scala temporale di mezz'ora* sono disponibili per gli eventi di piena di 15/9/2006, 16/6/2010, 6/11/2011
- 4) Stazione: MONCALIERI SANGONE; i dati *con scala temporale di mezz'ora* sono disponibili per gli eventi di piena di 30/5/2008, 2/4/2009, 17/6/2010, 6/11/2011

- Precipitazione

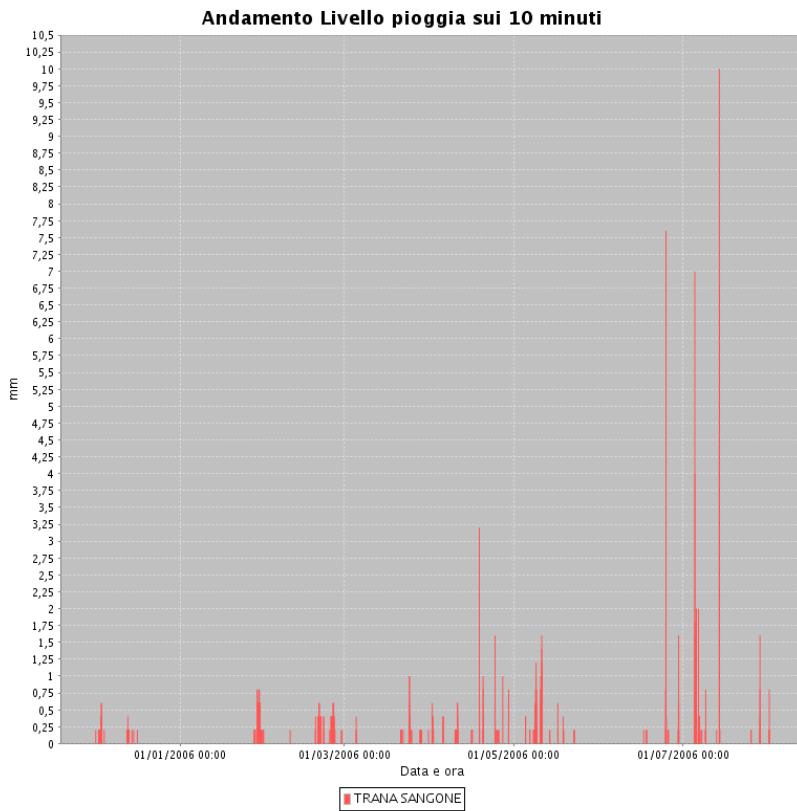
- 1) Stazione: Avigliana; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 09/01/1991 al 31/12/2013, *mensili ed eventi intensi* (scrosci per ogni anno)
- 2) Stazione: Bauducchi; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 16/06/1993 al 31/12/2013, *mensili ed eventi intensi* (scrosci per ogni anno)
- 3) Stazione: Borgone-Susa; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 10/01/1991 al 31/12/2013, *mensili ed eventi intensi* (scrosci per ogni anno)
- 4) Stazione: Coazze; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 15/07/1993 al 31/12/2013, *mensili ed eventi intensi* (scrosci per ogni anno); sono inoltre disponibili i valori di *pioggia ogni 10 minuti* dal 01/01/2003 al 31/12/2003 e dal 01/12/2005 al 31/07/2006



- 5) Stazione: Cumiana; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 27/01/1988 al 31/12/2013, *mensili ed eventi intensi* (scrosci per ogni anno)
- 6) Stazione: Rivoli la perosa; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 14/07/2004 31/12/2013, *mensili ed eventi intensi* (scrosci per ogni anno)
- 7) Stazione: Pinerolo; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 28/08/2003 al 31/12/2013, *mensili ed eventi intensi* (scrosci per ogni anno)
- 8) Stazione: Torino Vallere; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 18/05/2001 al 31/12/2013, *mensili ed eventi intensi* (scrosci per ogni anno); sono inoltre disponibili i valori di *pioggia ogni 10 minuti* dal 01/12/2005 al 31/07/2006



- 9) Stazione: Trana; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 13/12/2000 al 31/12/2013, *mensili ed eventi intensi* (scrosci per ogni anno); sono inoltre disponibili i valori di *pioggia ogni 10 minuti* dal 01/12/2005 al 31/07/2006



- Temperatura media, massima e minima

- 1) Stazione: Avigliana; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 09/01/1991 al 31/12/2013, *mensili*
- 2) Stazione: Bauducchi; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 16/06/1993 al 31/12/2013, *mensili*
- 3) Stazione: Borgone-Susa; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 10/01/1991 al 31/12/2013, *mensili*
- 4) Stazione: Coazze; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 15/07/1993 al 31/12/2013, *mensili*
- 5) Stazione: Cumiana; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 27/01/1988 al 31/12/2013, *mensili*
- 6) Stazione: Rivoli la perosa; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 14/07/2004 al 31/12/2013, *mensili*
- 7) Stazione: Pinerolo; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 28/08/2003 al 31/12/2013, *mensili*
- 8) Stazione: Torino Alenia; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 01/06/2005 al 31/12/2013, *mensili*
- 9) Stazione: Torino Vallere; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 18/05/2001 al 31/12/2013, *mensili*

10) Stazione: Trana; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 13/12/2000 al 31/12/2013,
mensili

Per ogni termometro sopra citato esistono dati di temperatura con *scala temporale di 30 minuti* dal 01/08/2002 al 03/09/2002

- Vento (velocità media, raffica, durata di calma, settore prevalente)

1) Stazione: Avigliana; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 09/01/1991 al 31/12/2013, *mensili*

2) Stazione: Bauducchi; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 16/06/1993 al 31/12/2013, *mensili*

3) Stazione: Borgone-Susa; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 10/01/1991 al 31/12/2013, *mensili*

4) Stazione: Coazze; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 15/07/1993 al 31/12/2013, *mensili*

5) Stazione: Cumiana; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 27/01/1988 al 31/12/2013, *mensili*

6) Stazione: Rivoli la perosa; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 14/07/2004 al 31/12/2013, *mensili*

7) Stazione: Pinerolo; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 28/08/2003 al 31/12/2013, *mensili*

8) Stazione: Torino Alenia; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 01/06/2005 al 31/12/2013, *mensili*

9) Stazione: Torino Vallere; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 18/05/2001 al 31/12/2013, *mensili*

10) Stazione: Trana; i dati *giornalieri* sono disponibili per il periodo: 13/12/2000 al 31/12/2013,
mensili

- Radiazione totale (stesse stazioni di vento)

I risultati dello stato ambientale dei corsi d'acqua nel biennio 2001-2002, secondo il PTA della Regione Piemonte del 2005, qualificano il bacino del Sangone sufficiente, mentre lo stato ambientale delle acque sotterranee è, in prossimità di Torino scadente, contrariamente alla zone di Trana dove gli acquiferi superficiali risultano buoni.

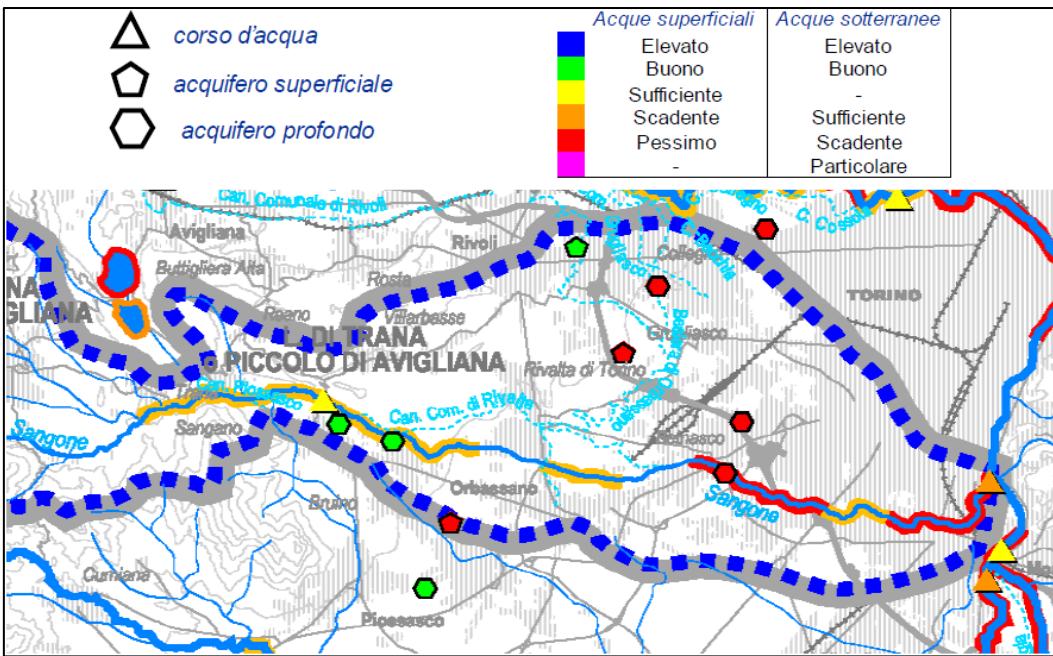


Figura 11: individuazione e classificazione dello stato ambientale del bacino del Sangone

Sempre nell'ambito del seguente piano ARPA ha effettuato una mosaicatura dell'uso del territorio sulla base di foto aree ricavando degli indici:

- Su tutti i corpi idrici con obiettivo di qualità
- Fino a 500 m di quota
- Su una fascia fluviale larga 300 m per ciascuna sponda

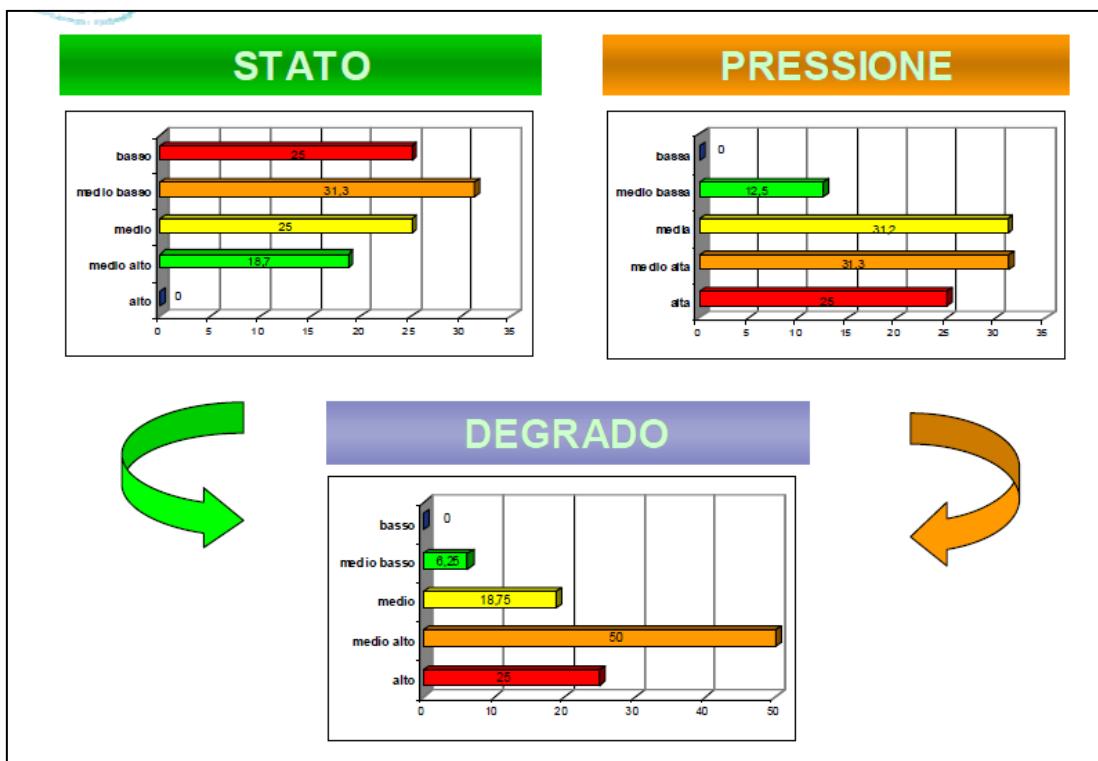


Figura 12: Individuazione degli indici di stato e di pressione per il Sangone; da essi discende l'indice di degrado

In particolare sul Sangone sono stati individuati 9 tratti critici di 2 km di lunghezza come riportato nella figura a seguire.

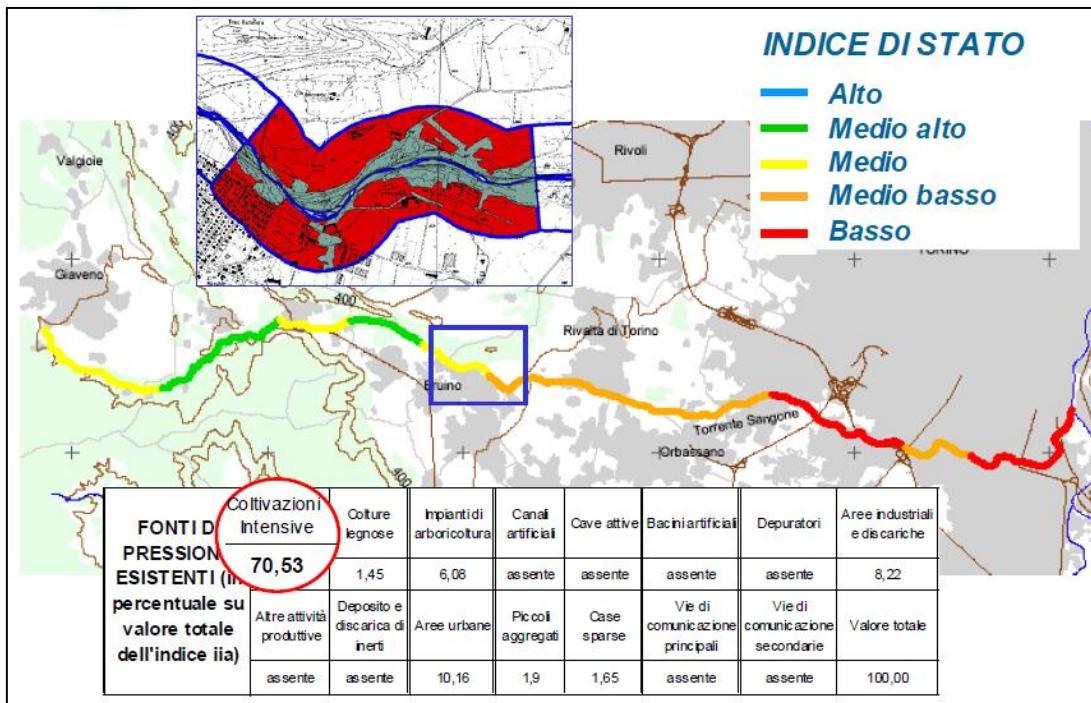
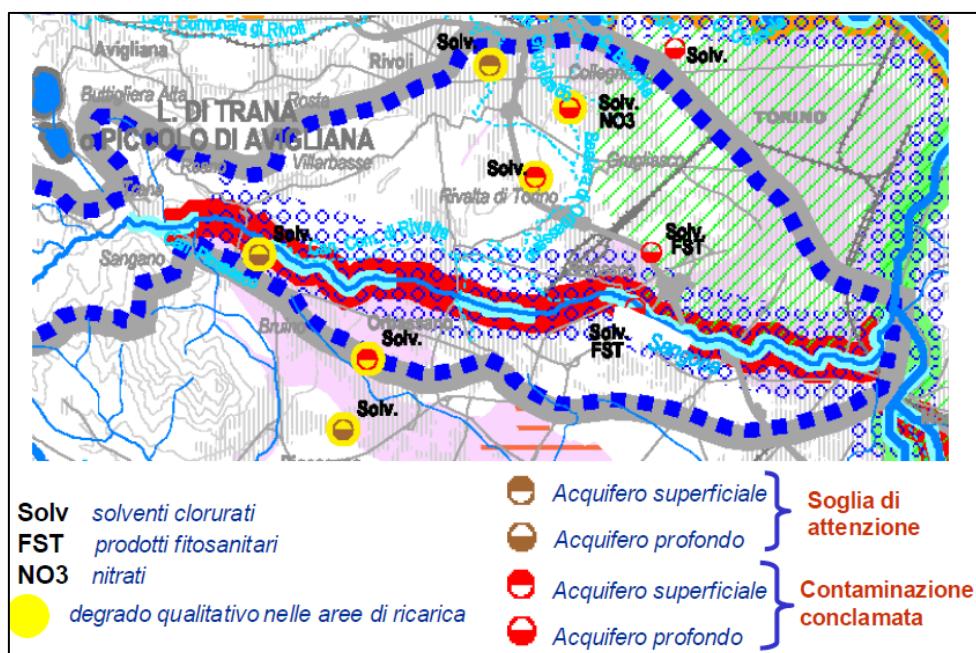


Figura 13: Risultato dello studio di Arpa sui 9 tratti del Sangone

Inoltre è stata monitorata la fauna ittica del bacino in studio nell'estate – autunno 2004, andando ad individuare come zona ittica reale i ciprinidi e zona ittica potenziale i salmonidi.

Riassumendo, il bacino del Sangone presenta una forte criticità di tipo chimico – fisico e biologico e presenta un forte impatto dei prelievi con portate in alveo inferiori al DMV per più di 100 giorni l'anno; di seguito si riporta la figura esplicativa di ciò.



Pertanto l'obiettivo prefisso risulta essere:

insufficiente	sufficiente/buono					ottimo				
C	C +	C ++	B ..	B -	B	B +	B ++	A ..	A -	A
STATI-BERSAGLIO					STATO INIZIALE 2001 - 2002	OBIETTIVO 2016				
<i>qualità acque superficiali</i>					C ++	B				
<i>qualità acque sotterranee</i>					C	B --				
<i>regime idrologico</i>					C	B				
<i>ecosistema, paesaggio fruizione sociale</i>					C	B --				
<i>usi sostenibili della risorsa</i>					C	B				
<i>cultura, organizzazione</i>					C ++	B				

E sarà raggiunto grazie ad una serie di azioni previste:

- Applicazione DMV di base
- Revisione concessioni in base agli effettivi fabbisogni irrigui
- Miglioramento dell'assetto ecologico e interventi di recupero della naturalità della fascia ripariale
- Risanamento delle discariche e scarichi industriali

DATI

Suolo

E' stata condotta una campagna di campionamento nella parte forestata del bacino del Sangone e sono stati ricavati 36 profili. Inoltre è stato determinato il SOC a 30 cm per verificare se i diversi modelli possono fornire una buona previsione.

Il data set è stato suddiviso in relazione alla vegetazione e alla topografia: 25 campioni sono stati ricavati sotto le latifoglie, 10 sotto la vegetazione mista e 1 sotto una distesa erbosa. Mentre per le classi di topografia, sono stati individuati 18 campioni sotto la convessità , 9 sotto la concavità, 5 sotto una curvatura di profili piana e 4 sotto superfici piatte.

Il SOC ha fornito risultati soddisfacenti del modello sono nel caso di superfici piatte.

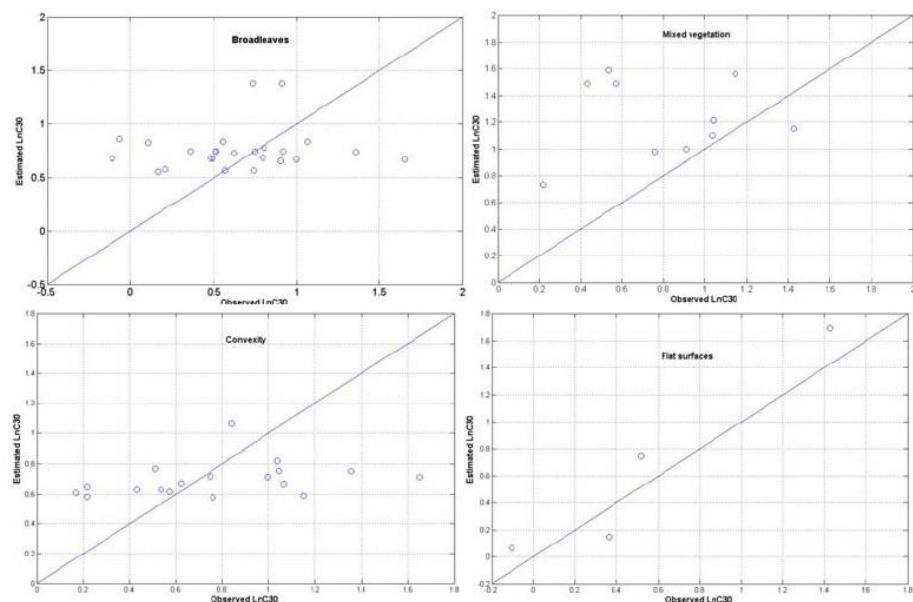


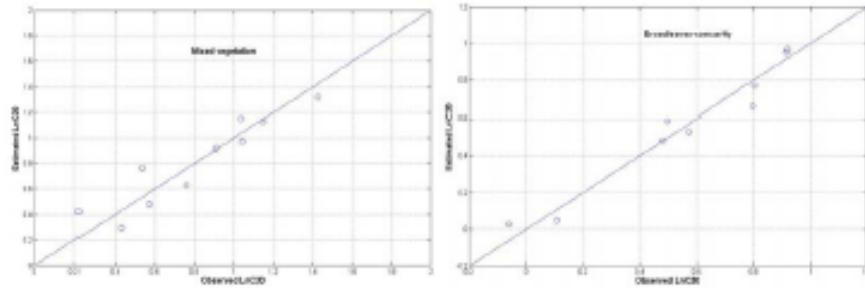
Figura 14: Trasportabilità dei modelli di regressione ottenuti alla vegetazione selezionata e alle classi topografiche individuate nel bacino del Sangone

Un'altra alternativa per provare il modello è effettuare una regressione multipla con le stesse variabili di ogni modello. L'applicazione è statisticamente significante solo sotto la vegetazione mista e le classi di concavità.

Mixed vegetation: A2, MeanNDVI, Elev, Kh (N= 10)		Concavity: A1, MaxNDVI, MeanNDVI, SPI, WI (N= 9)
Adj R ²	0.4	0.8
RMSE	0.27	0.14
MAE	0.16	0.13

Tuttavia, si è provato a cercare nuovi modelli per diverse classi; questi sono risultati buoni solo con vegetazione mista, latifoglie-concavità e latifoglie- convessità con R² variabile tra 0,73 e 0,91.

	Mixed vegetation: F1, A2, MinNDVI, SL (N= 10)	Broadleaves-Concavity: A1, SL, CTI (N= 9)	Broadleaves-Convexity: F2, Elev, Ks, P (N= 9)
Adj R ²	0.73	0.91	0.77
RMSE	0.27	0.13	0.29
MAE	0.23	0.11	0.24



Una conclusione al seguente studio è che i modelli non si adattano specialmente laddove vi siano aree vaste nelle quali le capacità predittive siano limitate in quanto la relazione tra le proprietà del suolo e gli attributi del paesaggio sono in rapporto non lineare tra di loro e/o empirico.

Si consigliano pertanto ulteriori campionamenti, modellazioni e validazioni in situ con l'obiettivo di stabilire un modello di trasportabilità.

Ai fini della caratterizzazione dei suoli del presente bacino sono inoltre presenti le seguenti cartografie digitali:

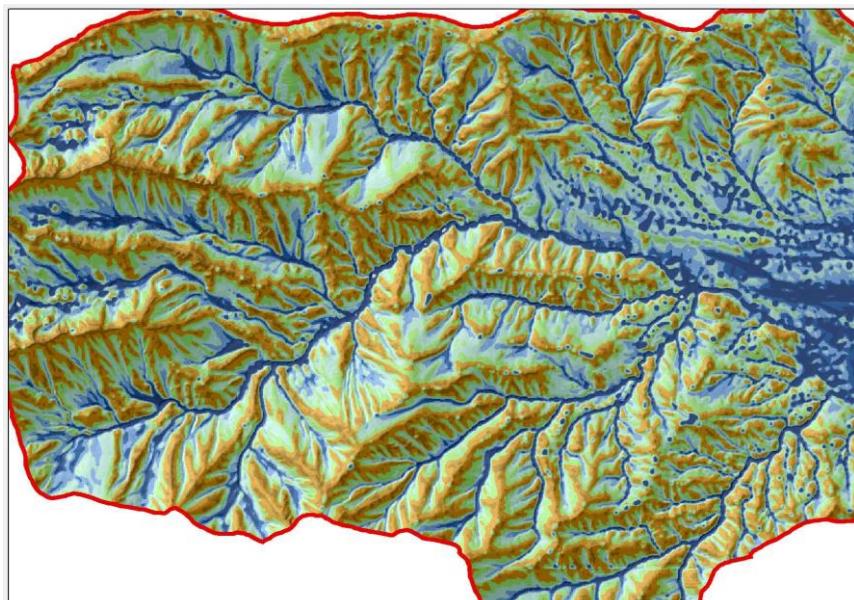


Figura 15: Wetness index topografico



Figura 16: Plan Curvature

Satellitari

I dati satellitari sono utili per cercare di caratterizzare la vegetazione del bacino; in particolare è possibile cercare di capire la risposta di NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) per diversi tipi di vegetazione per trovare le connessioni con i tipi di suolo sul quale la vegetazione cresce.

Il punto di partenza per l'acquisizione delle immagini è rappresentato dalla carta forestale I.P.L.A (Istituto per la piante da legno e l'ambiente) del bacino del Sangone.

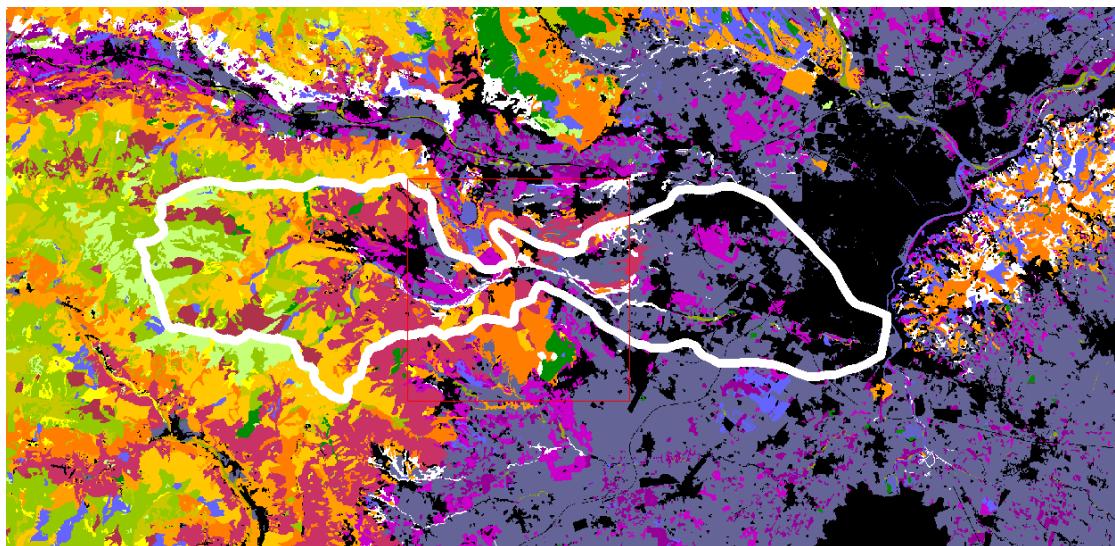


Figura 17: IPLA basin area

Si crea un supporto cognitivo a scala regionale, con le seguenti caratteristiche:

- geometriche
 - Vector Data.
 - Primitive Presents: Polygons.
 - Space Pattern: Partition the regions into adjacent areas.
- Scala 1:10000
- Test date: 1993
- Last Preparation: 09/12/1997.
- Reference System:
 - LOCATION: Coordinate UTM.
 - DATUM: ED50.
 - ELLIPSOID: INTERNATIONAL909.
 - PROJECTION: UTM.

Le immagini sono state acquisite anche tramite MODIS e LANDSAT 7 SLC-ON. In particolare, le immagini LANDSAT 7 SLC-ON scaricate e controllate sono riassunte nella tabella seguente:

LANDSAT 7 SLC ON			
NO.	DATE		
	DAY	MONTH	YEAR
1	5	MAR	2000
2	22	APR	2000
3	25	JUN	2000
4	28	AUG	2000
5	3	JAN	2001

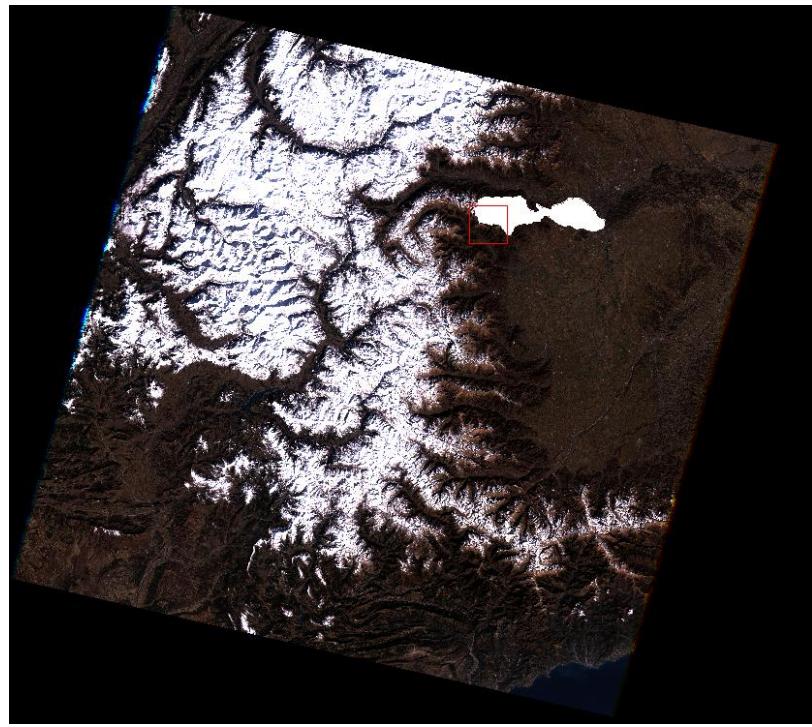


Figura 18: LADSAT downloaded images (5 Marzo 2000)

Si è fatto ricorso delle immagini MODIS in quanto caratterizzate da una apprezzabile risoluzione temporale: infatti le immagini dell'area sono state rilevate ogni giorno con l'aggiunta di immagini con NDVI calcolato. Per quanto riguarda le immagini scaricate delle collezione MODIS (con variazione spaziale), si riporta di seguito una tabella riassuntiva (Camaro):

SURFACE REFLECTANCE DAILY L2G GLOBAL 250m			
NO.	DATE		
	DAY	MONTH	YEAR
1	5	MAR	2000
2	22	APR	2000
3	25	JUN	2000
4	28	AUG	2000
5	3	JAN	2001

È quindi seguita una procedura di inter calibrazione e re-sampling e validazione:

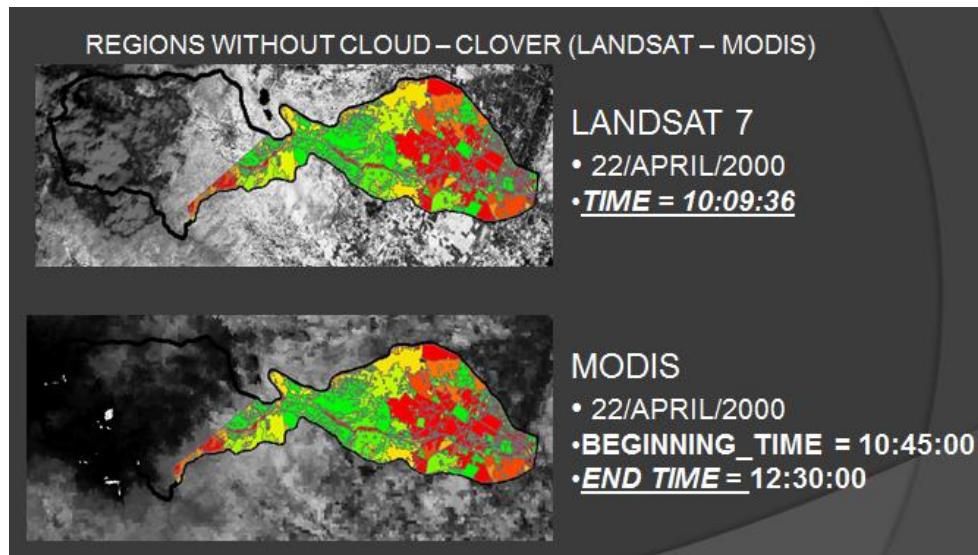


Figura 19: fase di verifica delle immagini acquisite

Le conclusioni del presente studio sono le seguenti:

- I parametri del suolo ottenuti attraverso il DEM, in particolare l'indice di umidità, hanno una relazione con l' NDVI.
- Grazie alla procedura di inter-calibrazione è importante sottolineare che i risultati sono interessanti ma è consigliato effettuare ulteriori indagini.

Idrologici

Sono presenti dati giornalieri di **portata** per le seguenti stazioni e per il seguente intervallo di tempo:

Stazione	TRANA SANGONE	MONCALIERI SANGONE
Anno	2002	-
	2003	-
	2004	-
	2005	-
	2006	2006
	2007	2007
	2008	2008
	2009	2009
	2010	2010
	2011	2011
2012		-

Si sono classificati inoltre i seguenti eventi di piena:

Stazione	TRANA SANGONE	MONCALIERI SANGONE
Anno	15/09/2006	
		30/05/2008
		02/04/2009
	16/06/2010	17/06/2010
	06/11/2011	06/11/2011

In allegato si riportano i corrispondenti idrogrammi.

Sono presenti dati giornalieri di ***livello*** per le seguenti stazioni e per il seguente intervallo di tempo:

Stazione	TRANA SANGONE	MONCALIERI SANGONE
Anno	2002	-
	2003	-
	2004	-
	2005	2005
	2006	2006
	2007	2007
	2008	2008
	2009	2009
	2010	2010
	2011	2011
	2012	2012

Sono presenti dati giornalieri di ***precipitazione*** per le seguenti stazioni e per il seguente intervallo di tempo:

Stazione	AVIGLIANA	BAUDUCCHI	BORGONE-SUSA	COAZZE	CUMIANA	RIVOLI LA PEROSA	PINEROLO	TORINO VALLERE	TRANA
Anno	-	-	-	-	1988	-	-	-	-
	-	-	-	-	1989	-	-	-	-
	-	-	-	-	1990	-	-	-	-
	1991	-	1991	-	1991	-	-	-	-
	1992	-	1992	-	1992	-	-	-	-
	1993	1993	1993	1993	1993	-	-	-	-
	1994	1994	1994	1994	1994	-	-	-	-
	1995	1995	1995	1995	1995	-	-	-	-
	1996	1996	1996	1996	1996	-	-	-	-
	1997	1997	1997	1997	1997	-	-	-	-
	1998	1998	1998	1998	1998	-	-	-	-
	1999	1999	1999	1999	1999	-	-	-	-
	2000	2000	2000	2000	2000	-	-	-	2000
	2001	2001	2001	2001	2001	-	-	2001	2001
	2002	2002	2002	2002	2002	-	-	2002	2002
	2003	2003	2003	2003	2003	-	2003	2003	2003
	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004
	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005

	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006
	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007
	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008
	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009
	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010
	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011
	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012
	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013

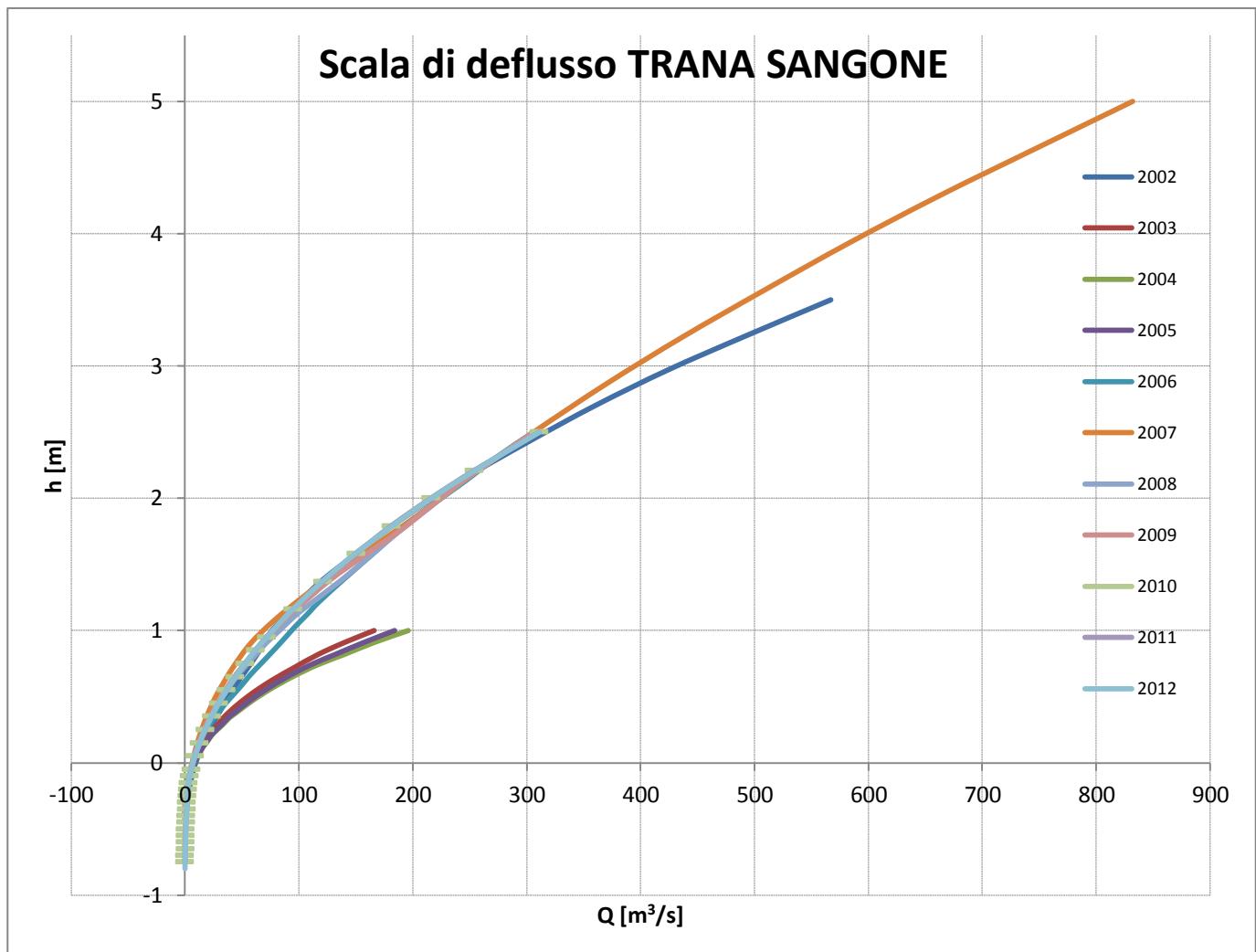
Sono presenti dati giornalieri di **temperatura** per le seguenti stazioni e per il seguente intervallo di tempo:

Stazione	AVIGLIANA	BAUDUCCHI	BORGONE-SUSA	COAZZE	CUMIANA	RIVOLI LA PEROSA	PINEROLO	TORINO ALENIA	TORINO VALLERE	TRANA
Anno	-	-	-	-	1988	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	1989	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	1990	-	-	-	-	-
	1991	-	1991	-	1991	-	-	-	-	-
	1992	-	1992	-	1992	-	-	-	-	-
	1993	1993	1993	1993	1993	-	-	-	-	-
	1994	1994	1994	1994	1994	-	-	-	-	-
	1995	1995	1995	1995	1995	-	-	-	-	-
	1996	1996	1996	1996	1996	-	-	-	-	-
	1997	1997	1997	1997	1997	-	-	-	-	-
	1998	1998	1998	1998	1998	-	-	-	-	-
	1999	1999	1999	1999	1999	-	-	-	-	-
	2000	2000	2000	2000	2000	-	-	-	-	2000
	2001	2001	2001	2001	2001	-	-	-	2001	2001
	2002	2002	2002	2002	2002	-	-	-	2002	2002
	2003	2003	2003	2003	2003	-	2003	-	2003	2003
	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	-	2004	2004
	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005
	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006
	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007
	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008
	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009
	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010
	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011
	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012
	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013

Sono presenti dati giornalieri di **vento** per le seguenti stazioni e per il seguente intervallo di tempo:

Stazione	AVIGLIANA	BAUDUCCHI	BORGONE-SUSA	COAZZE	CUMIANA	RIVOLI LA PEROSA	PINEROLO	TORINO ALENIA	TORINO VALLERE	TRANA
Anno	-	-	-	-	1988	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	1989	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	1990	-	-	-	-	-
	1991	-	1991	-	1991	-	-	-	-	-
	1992	-	1992	-	1992	-	-	-	-	-
	1993	1993	1993	1993	1993	-	-	-	-	-
	1994	1994	1994	1994	1994	-	-	-	-	-
	1995	1995	1995	1995	1995	-	-	-	-	-
	1996	1996	1996	1996	1996	-	-	-	-	-
	1997	1997	1997	1997	1997	-	-	-	-	-
	1998	1998	1998	1998	1998	-	-	-	-	-
	1999	1999	1999	1999	1999	-	-	-	-	-
	2000	2000	2000	2000	2000	-	-	-	-	2000
	2001	2001	2001	2001	2001	-	-	-	2001	2001
	2002	2002	2002	2002	2002	-	-	-	2002	2002
	2003	2003	2003	2003	2003	-	2003	-	2003	2003
	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	-	2004	2004
	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005
	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006
	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007
	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008
	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009
	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010
	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011
	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012
	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013

Sono inoltre disponibili le **scale di deflusso** per gli anni 2002-2012 solo per la stazione Trana a Sangone. Di seguito si riporta un grafico riassuntivo di tutti gli anni; in allegato è possibile trovare la scala di deflusso per ogni anno come presente dal sito ARPA Piemonte.



Radar

Si riportano di seguito i dati radar a disposizione per gli eventi più significativi del bacino del Sangone.

<i>Eventi Stratiformi</i>	<i>Eventi Convettivi</i>
31/10 - 01/11 2003	27/07/2003
01/12 - 04/12 2003	
25/10 - 02/11 2004	
15/04 - 17/04 2005	02/08/2005
06/09 - 12/09 2005	20/08/2005
14/09 - 15/09 2006	06/07/2006
01/05 - 04/05 2007	15/06/2007
25/05 - 28/05 2007	08/08/2007
05/06 - 07/06 2007	30/08/2007
28/10 - 06/11 2008	29/05/2008
16/12 - 17/12 2008	

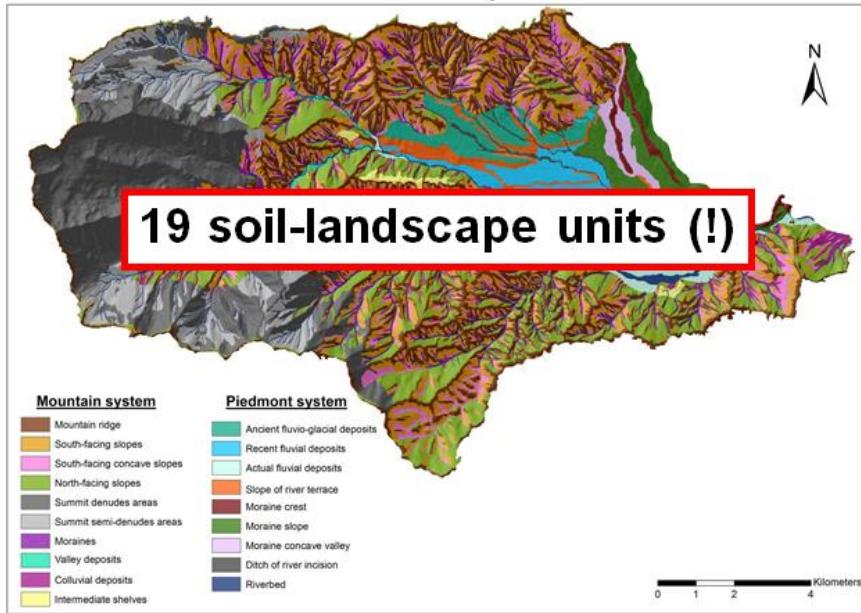
Confrontando i suddetti dati con quelli idrologici a disposizione (quelli di piena), si nota una corrispondenza per gli eventi del **14-15/9/2006** e **29-30/5/2008**.

MODELLO

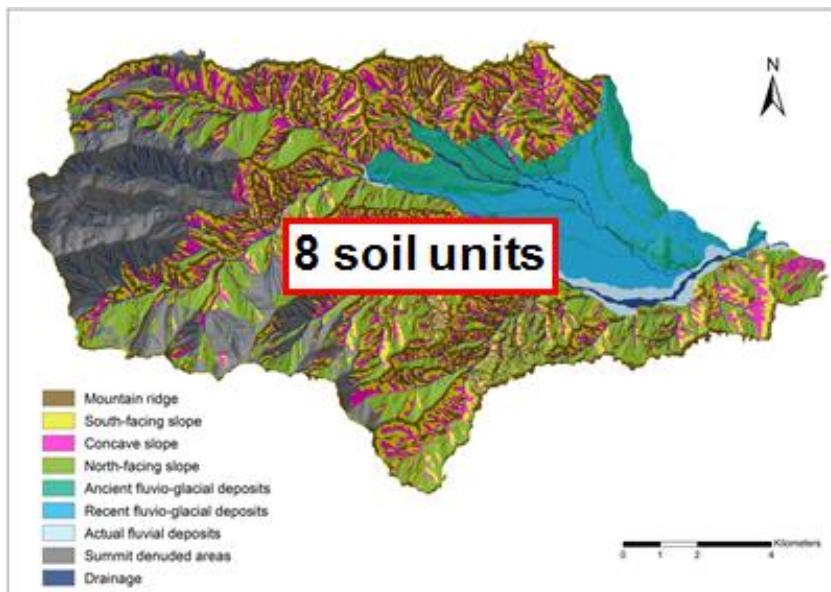
Nell'ambito del presente studio è stata effettuata una larga campagna di indagine del suolo e conseguente classificazione delle unità individuate; è stato applicato il modello TOPKAPI e con successivo confronto tra la portata simulata e quella osservata. Inoltre è stata effettuata una simulazione dell'umidità del suolo (eq. di Richards) e conseguente confronto tra il contenuto d'acqua del suolo simulato dei due modelli.

Nell'ambito della campagna di indagine del suolo sono stati individuati:

- 50 profili del suolo
- 87 campioni indisturbati di terreno per misurare la capacità di ritenzione del suolo di acqua e per individuare le curve di conducibilità idraulica
- I descrittori del sito in esame (copertura del suolo, aspetto, pendenza....)
- I descrittori del profilo (radici, strutture...)



Per la definizione del modello Topkapi è stato necessario individuare le classi di suolo presenti e le loro caratteristiche tra cui si ricordano lo spessore dello strato di terreno (L), la conducibilità idraulica a saturazione (k_s), il contenuto di acqua residuo (θ_r), il contenuto di acqua a saturazione (θ_s).



Soil systems	Depth (cm)	θ_0	θ_r	h_b (cm)	λ	alpha	Ks (cm/d)
Ridge	25 - 45	0.520	0.0	21.1	0.189	2.566	7.7
North slope	140 - 180	0.586	0.0	3.7	0.150	2.449	284.0
Concave landform	250 - 500	0.550	0.0	12.3	0.268	2.803	62.4
South slope	25 - 50	0.586	0.0	3.6	0.203	2.609	515.1
Ancient slope-fan	60 - 80	0.540	0.0	43.5	0.226	2.679	183.0
Recent slope-fan	> 500	0.430	0.0	9.8	0.149	2.446	31.9
Actual slope-fan	> 200	0.448	0.0	28.4	0.188	2.565	24.7

Figura 20: Parametri del suolo

Introducendoli all'interno del modello si sono ottenuti i seguenti risultati:

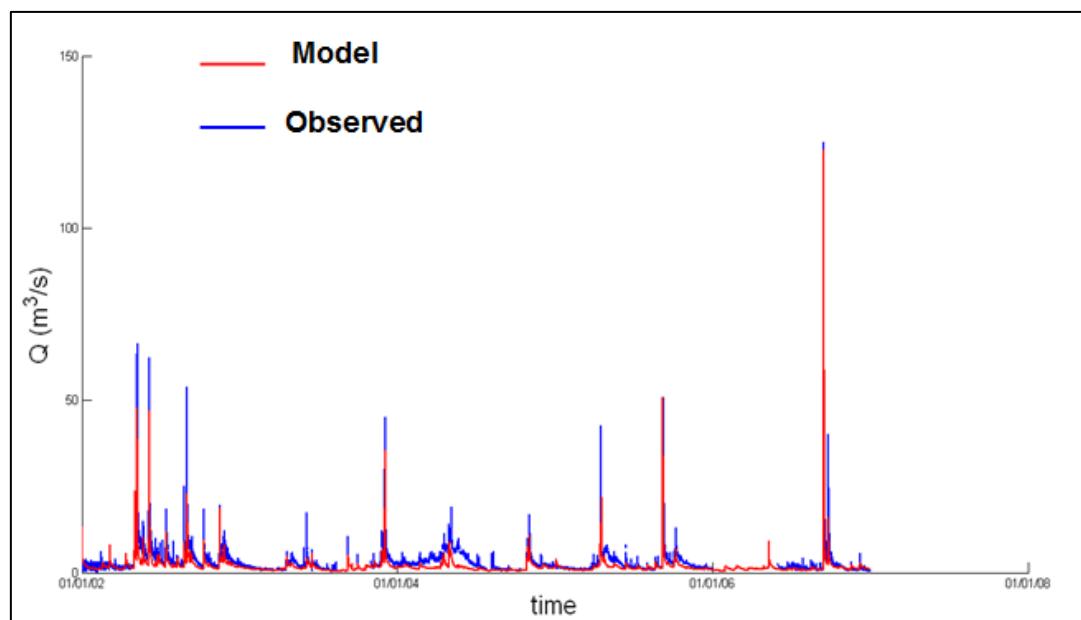
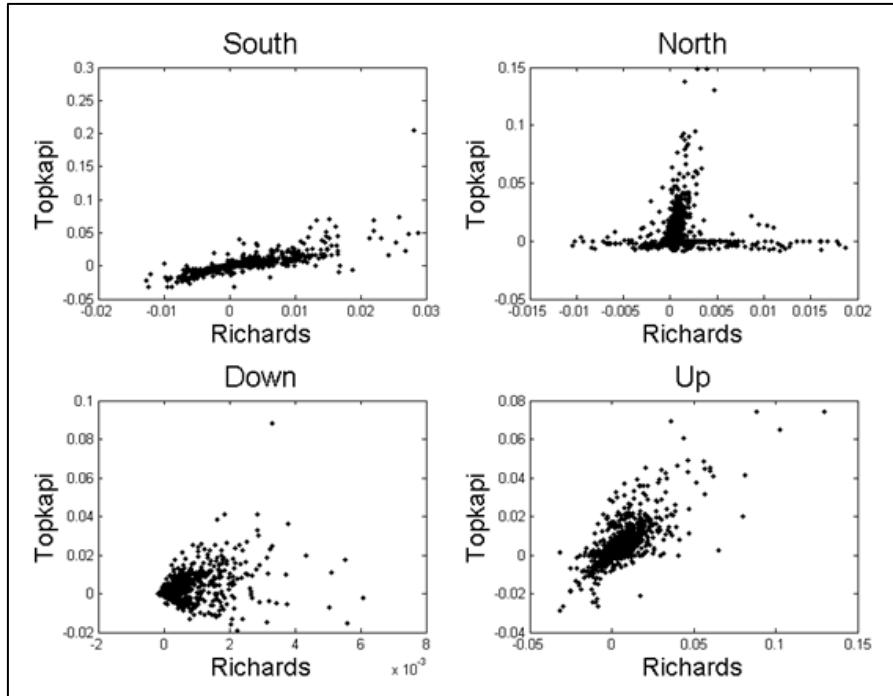
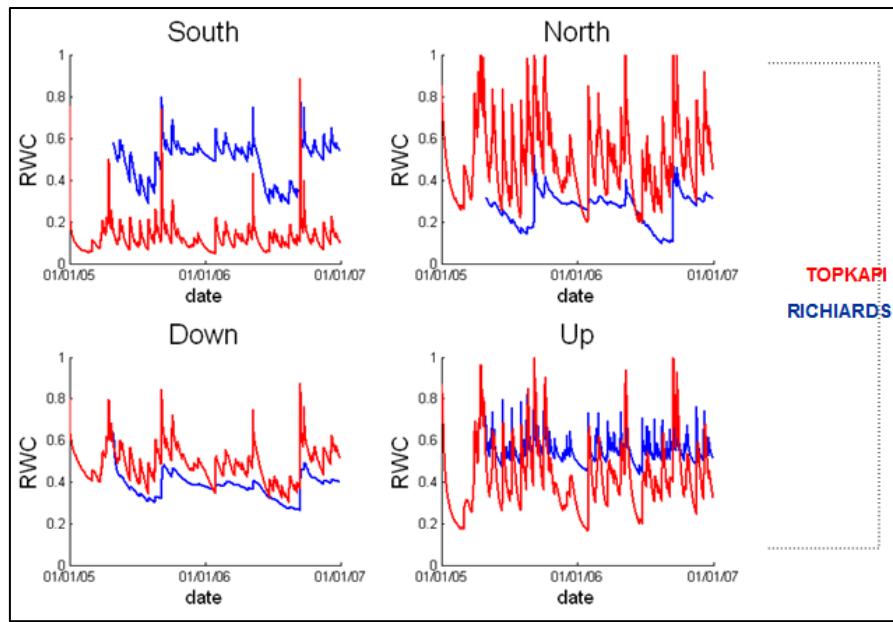


Figura 21: Risultati del modello TOPKAPI. Si evidenzia la differenza di portata stimata e osservata

Quindi è stato applicato un risolutore delle equazioni di Richards 2D, HYDRUS 2D con l'obiettivo di simulare realisticamente il contenuto d'acqua relativo.



Le conclusioni del presente studio sono che il modello Topkapi (alla scala di bacino) sembra essere in grado di rappresentare la portata ma non è capace di riprodurre il contenuto d'acqua relativo.

Elaborazione di eventi intensi

1. Impostazione modello

L'obiettivo di questa prima parte della simulazione consiste principalmente nella taratura del modello. A partire quindi da un ampio intervallo temporale di dati, che va dall'anno 2002 all'anno 2012, si vuole lanciare la simulazione e cercare di rendere le portate misurate (dato di input) coincidenti con quelle simulate; inoltre si cerca di verificare l'uguaglianza “*precipitazioni-perdite=deflusso*”.

Si inseriscono quindi i dati di precipitazione e di temperatura con step temporale giornaliero per tutte le stazioni ricadenti nel bacino in studio, a partire dal 1988 fino al 2013.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle stazioni pluviometriche e termometriche inserite in Topkapi:

Code	Name	X	Y	Z
101390	AVIGLIANA	373774	4994834	340
115690	BAUDUCCHI_MONCALIERI	398228	4979528	226
103290	BORGONE_SUSA	361958	4997582	400
108990	COAZZE	361760	4989322	1130
109790	CUMIANA	373174	4980375	327
3685	PINEROLO	370552	4973026	340
3948	RIVOLI_LAPEROSA	381938	4993117	362
4294	TORINO_ALENIA	390738	4992935	320
127294	TORINO_VALLERE	395596	4985890	239
127690	TRANA	375630	4988307	371

Di seguito si riporta la tabella relativa alle temperature medie mensili inserite.

TEMPERATURE MEDIE MENSILI

In questa pagina devono essere forniti i valori storici di temperatura media mensile se durante il WIZARD non e' stato scelto di utilizzare le mappe di temperatura.
Per ogni termometro disponibile devono essere forniti quota, temperature medie mensili e nome. Questi valori sono usati dal modello per calcolare l'Evapotraspirazione Potenziale.

Aggiungi Termometri dalla mappa

COME COMPILARE LA TABELLA:
In questa tabella vanno inseriti per ogni Termometro disponibile (ID) i seguenti dati relativi alle serie di temperature storiche:
Quota: Quota del Termometro [m]
Gen - Dic: La temperatura media mensile registrata per ogni mese [°C]
Nome: Il nome del Termometro

ID	Nome	Coordinate X	Coordinate Y	Quota	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1	PINERO...	370552	4973026	340	2.65	4.20	9.04	13.38	17.59	21.74	24.14	22.96	19.25	13.49	7.93	3.46
2	RIVOLI...	381938	4993117	362	2.59	3.78	8.87	13.18	17.58	21.49	24.12	22.50	19.60	14.10	7.70	4.40
3	TORINO...	390738	4992935	320	3.09	4.76	9.75	14.14	17.98	22.00	24.46	23.30	19.42	13.90	8.28	3.57
4	AVIGLIA...	373774	4994834	340	1.59	3.26	8.20	11.69	16.37	20.20	22.37	21.70	16.88	11.70	6.14	2.13
5	BORGO...	361958	4997582	400	1.36	3.07	7.98	11.10	15.49	19.15	21.41	20.89	16.21	11.16	5.67	1.80
6	COAZZE	361760	4989322	1130	1.46	1.68	4.92	7.53	11.85	15.81	18.02	17.60	13.26	9.14	4.58	1.68
7	CUMIANA	373174	4980375	327	2.29	4.54	9.19	12.27	16.85	20.75	23.28	22.82	17.98	12.64	6.76	2.95
8	BAUDU...	398228	4979528	226	1.11	3.32	8.57	12.46	17.28	21.33	23.33	22.65	17.89	12.75	6.57	2.01
9	TORINO...	395596	4985890	239	1.48	3.20	8.83	12.71	17.32	21.77	23.75	23.02	18.31	12.96	7.21	1.96
10	TRANA	375630	4988307	371	0.84	2.38	7.89	11.91	16.31	20.82	22.89	22.00	17.45	12.19	6.33	1.41
*																

Si inseriscono inoltre i dati di portata sempre con intervallo temporale giornaliero, relative alla stazione di TRANA; la serie storica va dal 2002 al 2012: pertanto affinché la simulazione possa avere inizio è necessario che il file ‘portate’ abbia esattamente lo stesso intervallo temporale di quello di ‘precipitazione’ e ‘temperatura’. Pertanto, dove la serie storica si interrompe, si inseriscono dei NoData (-9999). È quindi evidente la scelta di simulare il comportamento del bacino dal 2002 al 2012: in tal modo sarà possibile avere dei risultati più realistici e attendibili.

Tra gli altri dati di input, si inseriscono i valori di ‘Monthly Temperature’: dal momento che è necessario inserire un valore di temperatura medio mensile per ogni stazione implementata in Topkapi, si sceglie di effettuare la media sui valori di temperatura dal 1988 al 2013, e non limitarsi agli anni compresi dal 2002 al 2012, affinché il valore sia più rappresentativo.

Per quanto concerne i valori di ‘Soil Type’ e di ‘Land Use’, si inseriscono i dati da letteratura, ricavati da studi precedenti. Non sono stati, invece, inseriti i valori di ‘Snow’ e di ‘Lake and Reservoirs’ in quanto dati mancanti.

Si sceglie di usare i valori di ‘Initial State’ di default in quanto non particolarmente incidenti sul modello, considerato il grande intervallo temporale della simulazione. Di seguito si riporta la schermata inerente le condizioni al contorno inserite:

GENERAL

Cartella di lavoro C:\Users\Elena Diamantini\Desktop\Tirocinio\Topkapi_elena\Elena_TPK_30minuti
 Separatore . :
 Piattaforma WINDOWS

FINESTRA DELLE MAPPE

Numero di Righe	296
Numero di Colonne	441
Dimensione Cella	50
Xl Comer	355168.4571
Yl Comer	4979938.853
Numero di celle	60454
Latitudine	45
Longitudine	7

SEZIONE GENERALE

Questa sezione contiene informazioni di carattere generale:
 Il SEPARATORE è selezionato automatico in funzione delle impostazioni del SO.
 LATITUDINE e LONGITUDINE medie del caso. Questi valori sono usati dalle componenti di ACCUMULO/FUSIONE NEVE e EVAPOTRASPIRAZIONE.

Lo STATO INIZIALE contiene i valori medi iniziali di alcuni parametri richiesti dal modello per iniziare una simulazione quando non è fornito uno STATO INIZIALE precedentemente salvato. Questi parametri sono il CONTENUTO D'ACQUA NEL SUOLO, il CONTENUTO D'ACQUA NELL'ACQUIFERO e il LIVELLO D'ACQUA nei canali [m].

STATO INIZIALE MEDIO

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Soil Moisture	0.900000	0.900000	0.800000	0.800000	0.700000	0.600000	0.600000	0.600000	0.700000	0.600000	0.700000	0.900000
Channel Level [m]	0.010000	0.010000	0.010000	0.010000	0.010000	0.010000	0.010000	0.010000	0.010000	0.010000	0.010000	0.010000

Si riportano a seguire i risultati della prima simulazione condotta:

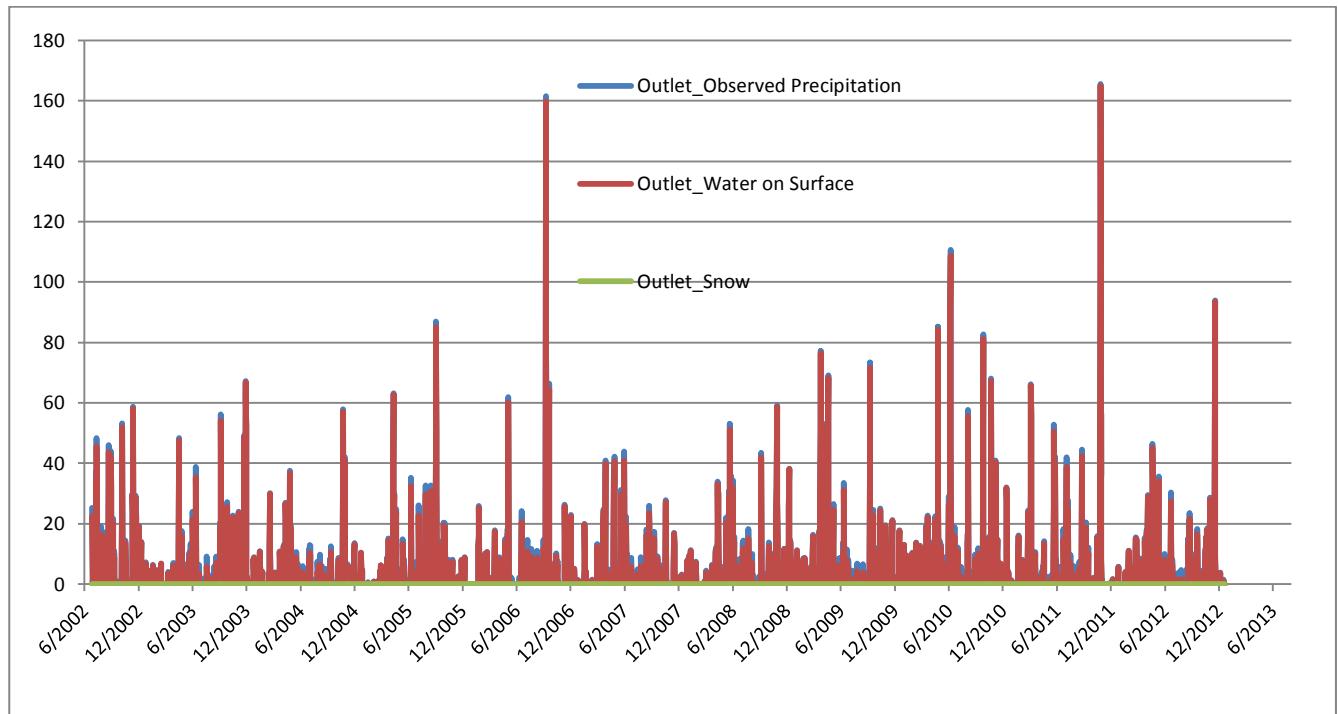


Figura 22: Grafico di precipitazione, deflusso e neve della prima simulazione¹

¹ I valori di neve non sono stati inseriti, pertanto nel grafico Outlet_Snow è una retta di punti sull'asse di ordinata pari a zero.

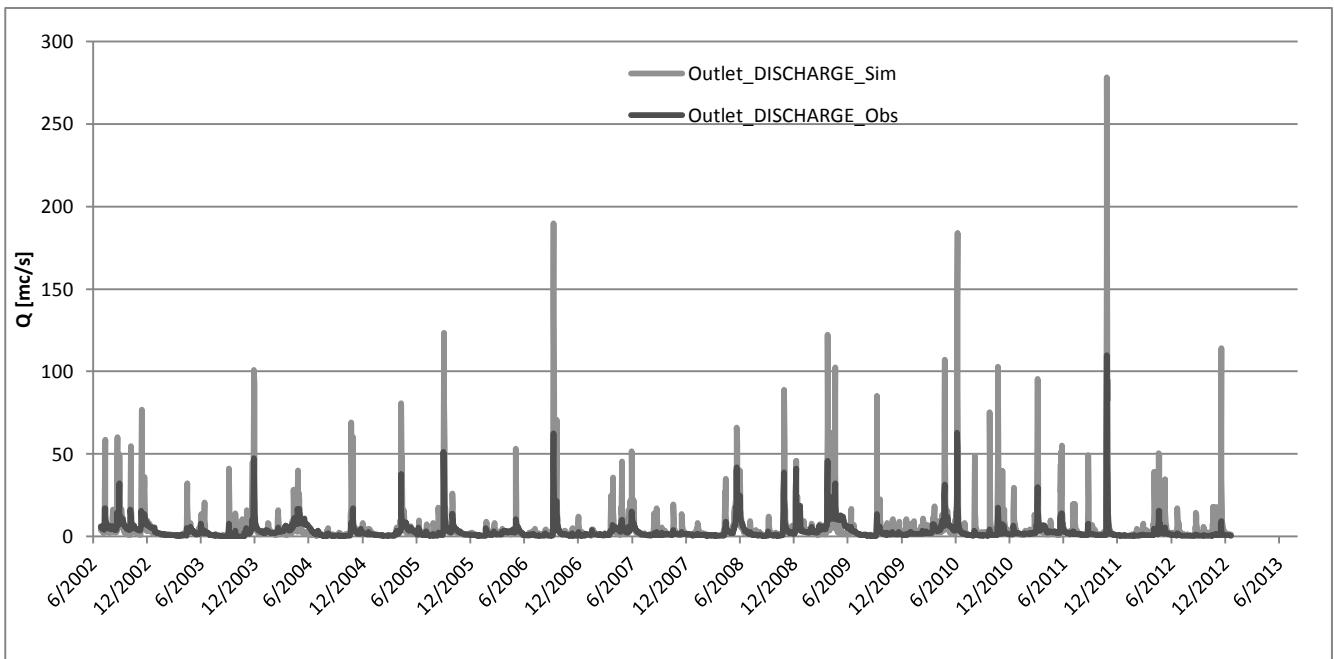


Figura 23: Grafico di portate osservative e simulate della prima simulazione

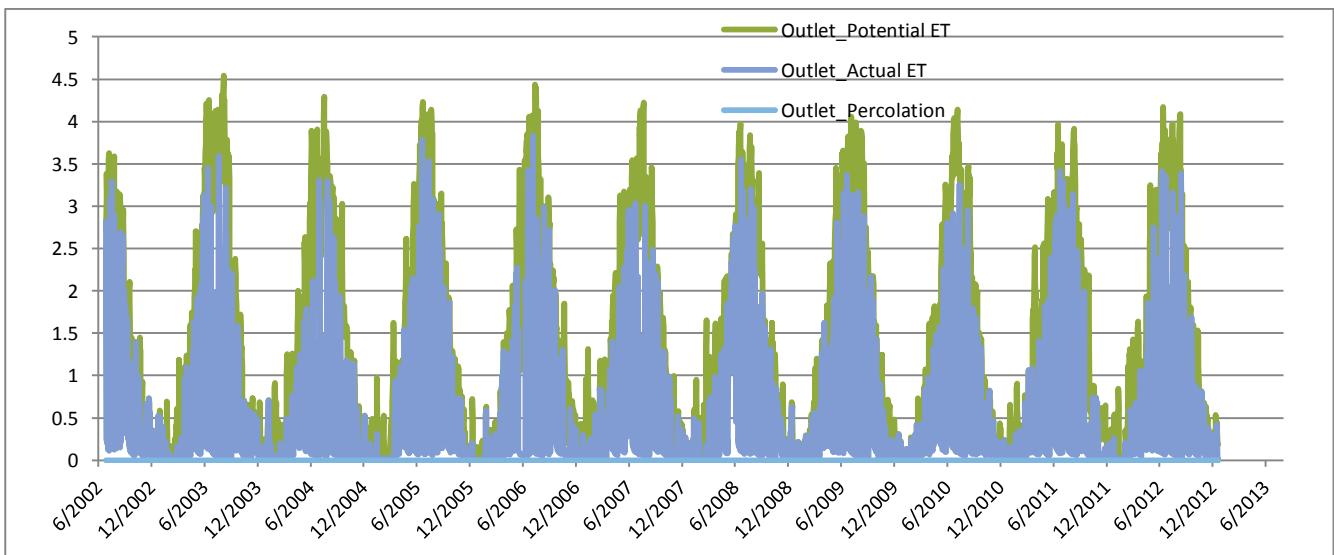


Figura 24: Grafico dell'evapotraspirazione potenziale e reale della prima simulazione

Per quanto concerne i valori della portata, si osserva che le portate simulate hanno una buona sovrapposizione con le corrispondenti osservative, fatta eccezione per i picchi. Inoltre si effettua il controllo sul modello determinando la differenza tra ('Outlet Precipitation' - 'Outlet Water on Surface') - ('Outlet Actual Evapotranspiration'): si ottengono quindi un numero di valori pari ai dati inseriti nella simulazione. Si nota che la media dei valori così ottenuti è pari a 0.0727 mm.

2. Taratura modello

Si effettuano ulteriori simulazioni cercando di cambiare la permeabilità del terreno e lo spessore di suolo con l'obiettivo di diminuire i picchi di portata simulata e di tarare meglio il modello. Si effettuano nel complesso diverse simulazioni cercando di modificare in alcuni casi solamente la permeabilità e in altri solo lo spessore di suolo per cercare di capire il peso e l'influenza di entrambi i parametri. Si sceglie inoltre di inserire anche la percolazione (fino ad ora trascurata): attivandola, sarà necessario diminuire le permeabilità verticali in quanto l'acqua che percola, va persa e non torna nel canale in nessun caso.

I valori di permeabilità orizzontale e verticale e di spessore del suolo *iniziali* sono i seguenti:

k_{sh} [m/s]	k_{sv} [m/s]	depth [m]
8.90E-06	8.90E-07	0.25
3.30E-04	3.30E-05	0.4
7.70E-05	7.70E-04	0.6
5.90E-04	5.90E-05	0.2
2.10E-04	2.10E-05	0.4
3.60E-05	3.60E-06	1.2
2.80E-05	2.80E-06	0.7
8.90E-04	8.90E-06	0.1
2.30E-04	2.30E-05	0.9

Dopo diversi tentativi più o meno soddisfacenti di taratura del modello, sono stati introdotti i seguenti valori:

k_{sh} [m/s]	k_{sv} [m/s]	depth [m]
8.90E-06	8.90E-09	0.45
3.30E-04	3.30E-08	0.55
7.70E-05	7.70E-08	0.75
3.90E-04	3.90E-08	0.4
2.10E-04	2.10E-08	0.6
3.60E-05	3.60E-08	1.2
2.80E-05	2.80E-08	0.7
8.90E-04	8.90E-08	0.35
2.30E-04	2.30E-08	0.9

Di seguito si riporta la schermata del ‘Tipo di suolo’: si notano i parametri inseriti; gli unici termini su cui sono state condotte modifiche sono le permeabilità e gli spessori di suolo. In tabella sono inoltre presenti i parametri riportati nel seguito:

- θ_s : contenuto d'acqua a saturazione (variabile tra 0 e 1)
- θ_r : contenuto d'acqua residuo (variabile tra 0 e 1)
- Exp H: esponente della legge di moto orizzontale
- Exp V: esponente della legge di percolazione

TOPKAPI-X

File Tools Help

STATE FOLDER: ST_calibrazione | OUTPUT FOLDER: OUT_calibrazior | Load the configuration of the selected output folder | The OUTPUT FOLDER is the subfolder of the working directory where the output of the simulation will be printed and where the output will be searched to visualize the results.

GENERAL | Monthly Temperature | Soil Type | Land Use | Lakes/Reservoirs | Channels | Inflow and Distributed Contributors | Groundwater | Snow and Evapotranspiration | Control Points | Input Data | Forecast | Simulation | idrologia ambientale | UK | IT

Number of soil layers: 1 Soil Layer (selected) | 2 Soil Layers | GREEN-AMPT Module is active | Click here if you want to change the Soil Type Map | Load Map | View Map | Click here if you want to view the Soil Map.

SURFACE LAYER SOIL TYPE:

ID	Ksh [m/s]	Kev [m/s]	Depth [m]	Theta S	Theta R	Exp H	Exp V	Name
1	8.90E-06	8.90E-09	0.45	0.5	0.2	2.5	18	crinale
2	3.30E-04	3.30E-08	0.55	0.5	0.2	2.5	18	Versante...
3	7.70E-05	7.70E-08	0.75	0.5	0.2	2.5	18	Concavità
4	3.90E-04	3.90E-08	0.4	0.5	0.2	2.5	18	Versante...
5	2.10E-04	2.10E-08	0.6	0.5	0.2	2.5	18	Conoide...
6	3.60E-05	3.60E-08	1.2	0.5	0.2	2.5	18	Conoide...
7	2.80E-05	2.80E-08	0.7	0.5	0.2	2.5	18	Conoide...
8	8.90E-04	8.90E-08	0.35	0.5	0.2	2.5	18	AreeDen...

DEEP LAYER SOIL TYPE:

ID	Ksh [m/s]	Ksv [m/s]	Depth [m]	Theta S	Theta R	Exp H	Exp V	Name
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								

SOIL PARAMETERS:

In this page the Soil Type Parameters must be provided. Firstly you can choose to activate or not the Infiltration Module (computed by the Green-Ampt model) and to represent the soil component with 1 or 2 layers.

If you choose 1 layer, only the first table must be filled with the parameters of each soil ID present inside the catchment area.
If 2 layers are chosen, also the parameters for the deep soil layer must be provided.

REMEMBER: The ID numbers are the values found in the loaded SOIL TYPE Map.

HOW TO FILL THE TABLES:

In these tables the following parameters for the surface and deep soil layers must be provided for each Soil Type Class (ID):

Ksh: horizontal soil conductivity [m/s]
Ksv: vertical soil conductivity [m/s]
Depth: depth of the surface soil layer [m]
Theta S: saturated soil moisture content [0-1]
Theta R: residual soil moisture content [0-1]
Exp H: Exponent of the horizontal flow equation
Exp V: Exponent of the percolation law
Name: Name of the soil type class

If Green-Ampt model is active, also the following parameters must be provided for the surface layer:
Kv: vertical conductivity at the surface [m/s]
Psi: Head Suction [m]

Il grafico di portate così ottenuto è il seguente:

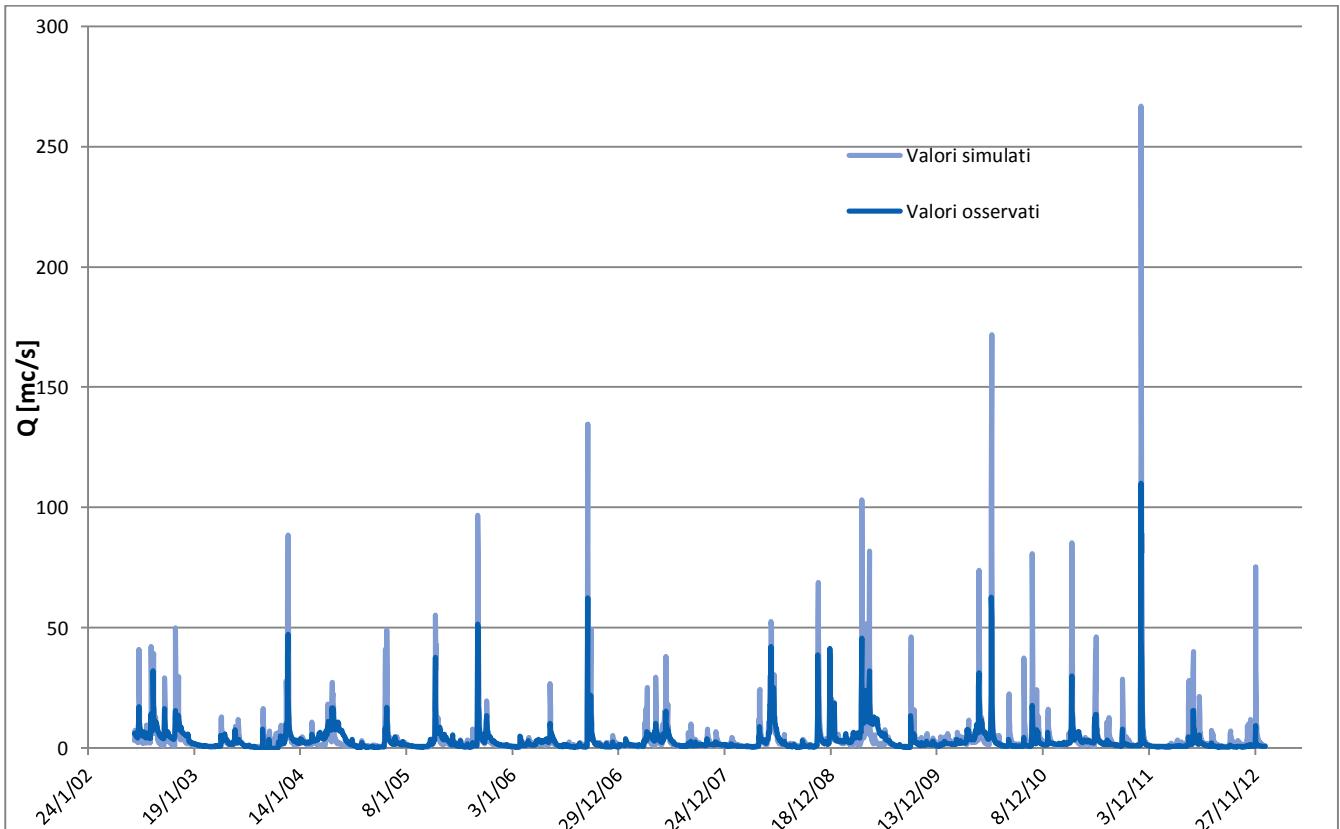


Figura 25: Sovrapposizione portate osservate e simulate per il modello calibrato

Si nota che anche in questo caso i picchi risultano sovrastimati, a volte fino a più del 100%. Altri invece risultano essere più attinenti alla realtà (ai dati osservati). Per correggere tale imperfezione si potrebbe cambiare la parametrizzazione del modello: una possibile soluzione potrebbe essere quella di effettuare la simulazione a passo giornaliero con una configurazione a 100 m o ancora meglio 250 m anziché di 50 m come è ora. Per far ciò è necessario rigenerare ex novo le mappe ed effettuare la simulazione con queste: è necessario effettuare il regrid dei files .dem, .mask, .outlet, .soil, .luse, da 50 m a 100 m o 250 m. Non è detto però che l'intervento proposto sia migliorativo: le ragioni di ciò sono diverse tra cui errori nei dati misurati, approssimazioni del modello, ecc. Pertanto è impossibile riuscire a simulare perfettamente tutti gli eventi di piena. Ai fini di perseguire una calibrazione ottimale, si è pensato di introdurre la neve: la parte di precipitazione solida è calcolata sulla base della temperatura dell'aria imposta nella cella 'Temperatura di scioglimento'. Se la temperatura dell'aria è uguale alla temperatura di scioglimento, la precipitazione sarà metà liquida e metà solida. Purtroppo questa soluzione non ha comportato alcun apprezzabile miglioramento.

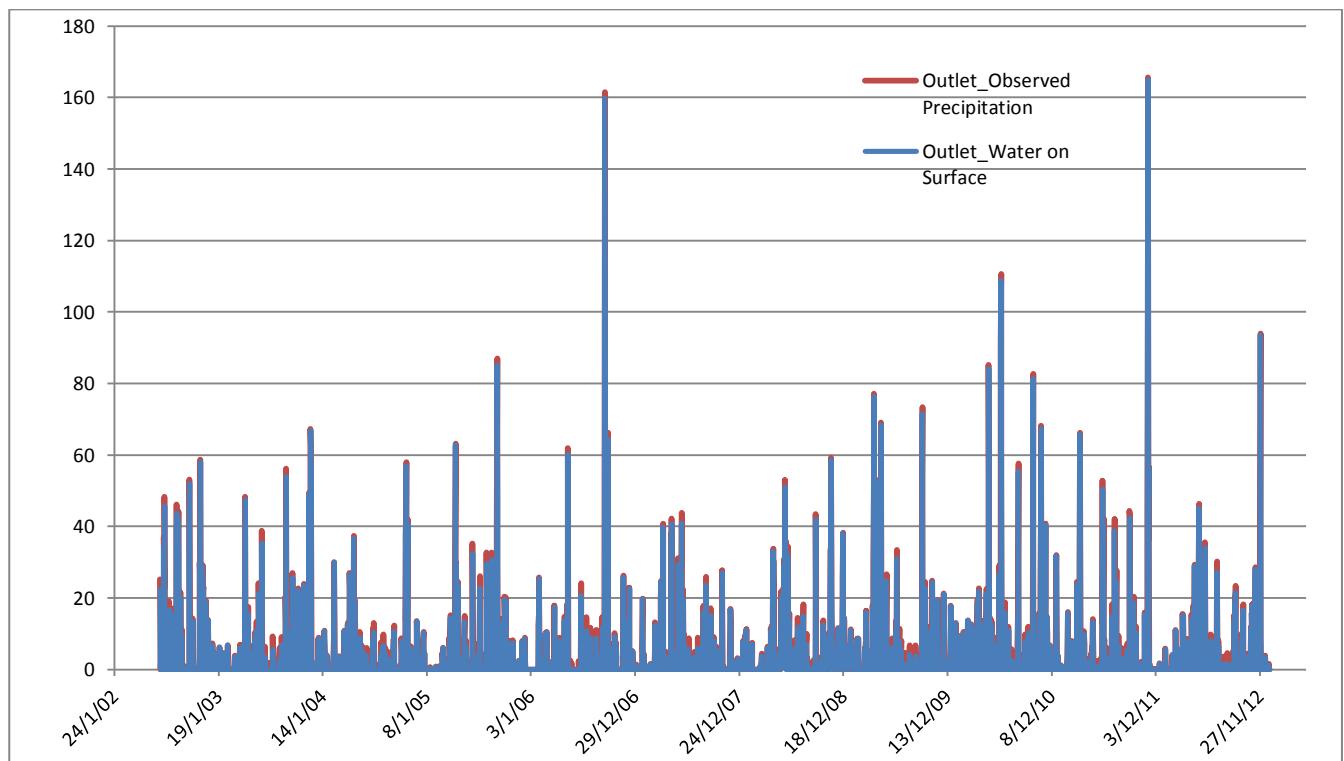


Figura 26: Grafico di deflusso e precipitazione osservata per la simulazione calibrata

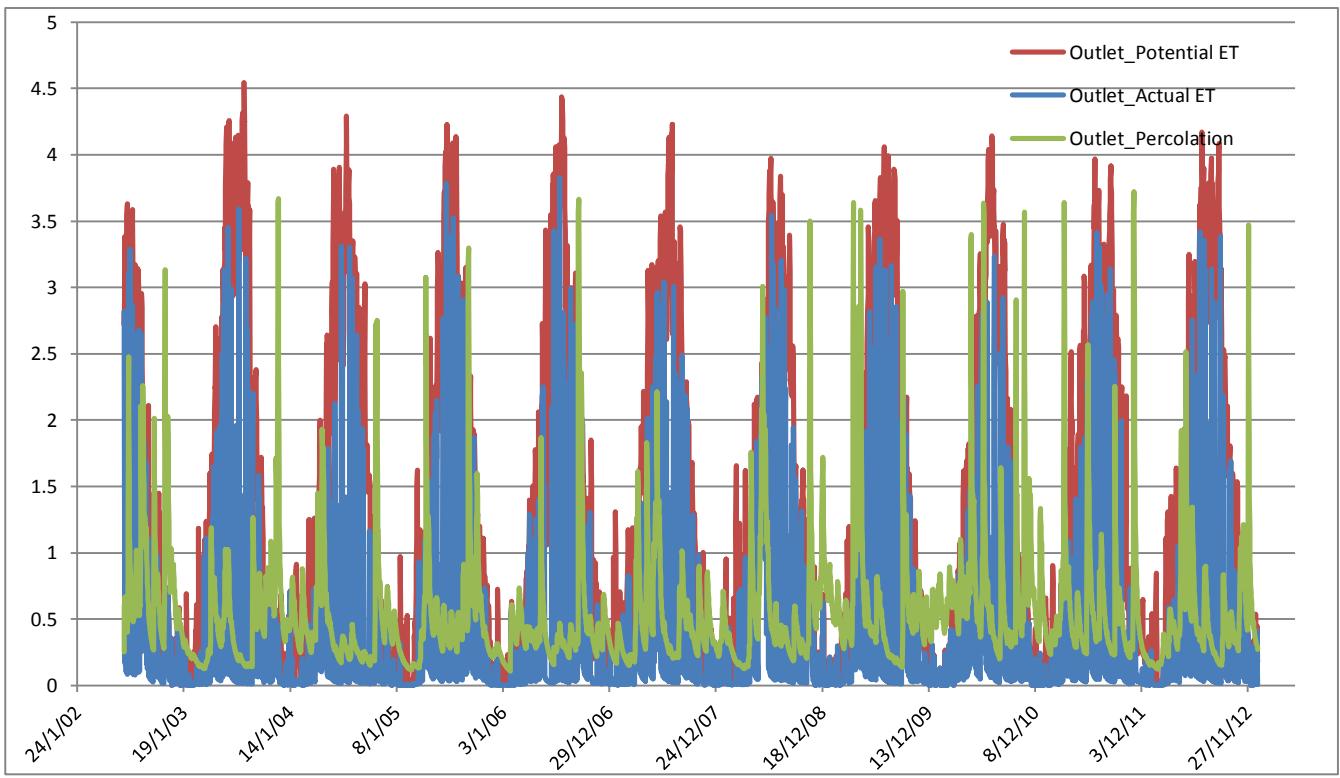


Figura 27: Grafico dell'evapotraspirazione potenziale, reale e percolazione del modello calibrato

Per dovizia di dettaglio, si riportano a seguire i coefficienti di errore del modello tarato:

EVALUATION INDEXES	
BIAS	0.840517
RMSE	49.22314
NASH EFFICIENCY	-1.1433
CORRELATION COEFFICIENT	0.755372
NUMBER OF DATA	3837

In particolare, il coefficiente di NASH esprime il potere predittivo del modello idraulico: il suo valore è compreso tra $-\infty$ e 1. Se è pari a 1 vuol dire che c'è perfetta corrispondenza tra i dati osservati e quelli simulati. In tal caso il valore è negativo: pertanto, la media dei valori osservati è un migliore preditore del modello. Senza ombra di dubbio, il secondo caso è migliore del primo. Il BIAS misura la tendenza media dei valori simulati a essere più grandi o più bassi di quelli misurati. Il valore di RMSE (Root Mean Square Error) esprime la varianza residua ovvero la differenza tra i valori misurati e quelli simulati. Deve essere quanto più possibile prossimo allo zero. Il coefficiente di correlazione esprime il grado di linearità tra i dati simulati e quelli osservati; varia tra -1 a +1. Se è 0 vuol dire che non esiste alcuna correlazione lineare; se, invece, assume valori più prossimi a 1 o -1 vuol dire che esiste una perfetta relazione lineare tra i dati. In tal caso i risultati ottenuti sono buoni e il secondo caso è più statisticamente corretto.

3. Simulazione eventi intensi

Si procede quindi alla simulazione di eventi intensi relativi sempre al medesimo bacino. Come primo tentativo si inserisce l'idrogramma dell'evento del 6/11/2011 rilevato dalla stazione idrometrica di Trana. In tal caso i dati di portata hanno un intervallo temporale di 30 minuti. Affinché Topkapi sia in grado di lavorare correttamente, è necessario inserirvi anche i dati di precipitazione e di temperatura con medesimo passo. Tali valori sono stati scaricati dal sito relativo al programma Antares: i dati di temperatura sono già con passo di 30 minuti mentre quelli di precipitazione sono forniti con passo di 10 minuti; di conseguenza si aggregano i dati di precipitazione a disposizione, passando quindi da una descrizione di 10 minuti ad una di 30 minuti.

I restanti dati di input sono i medesimi del modello precedentemente tarato. Per una simulazione di uno o due mesi, come quelle in questione, le condizioni iniziali sono particolarmente influenti e giocano un ruolo più importante di qualunque altro parametro. La procedura eseguita per la definizione delle condizioni iniziali è la seguente: nella prima schermata del programma, è possibile inserire le condizioni iniziali in termini di saturazione media e il livello di acqua nel canale. Se non altrimenti specificato, si effettua la simulazione con i valori medi di default. In questo caso, invece, in corrispondenza del mese di inizio simulazione, si inseriscono le percentuali di saturazione pari a 60-70-80-90 %. Per ognuna di esse si effettua una simulazione e si salvano gli stati iniziali. Tra le diverse simulazioni si sceglie quella che è più attinente ai dati reali (in particolar modo si è scelta la simulazione con la percentuale di saturazione per il mese di inizio evento pari al 60%). Di seguito si riporta la tabella con i parametri iniziali inseriti:

STATO INIZIALE MEDIO

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
► Saturazione Suolo	0.900000	0.900000	0.800000	0.800000	0.700000	0.600000	0.600000	0.600000	0.700000	0.600000	0.700000	0.900000
Livello nel Canale [m]	0.010000	0.010000	0.010000	0.010000	0.010000	0.010000	0.010000	0.010000	0.010000	0.010000	0.010000	0.010000

Di seguito si riportano i grafici della simulazione dell'evento intenso 6/11/2011:

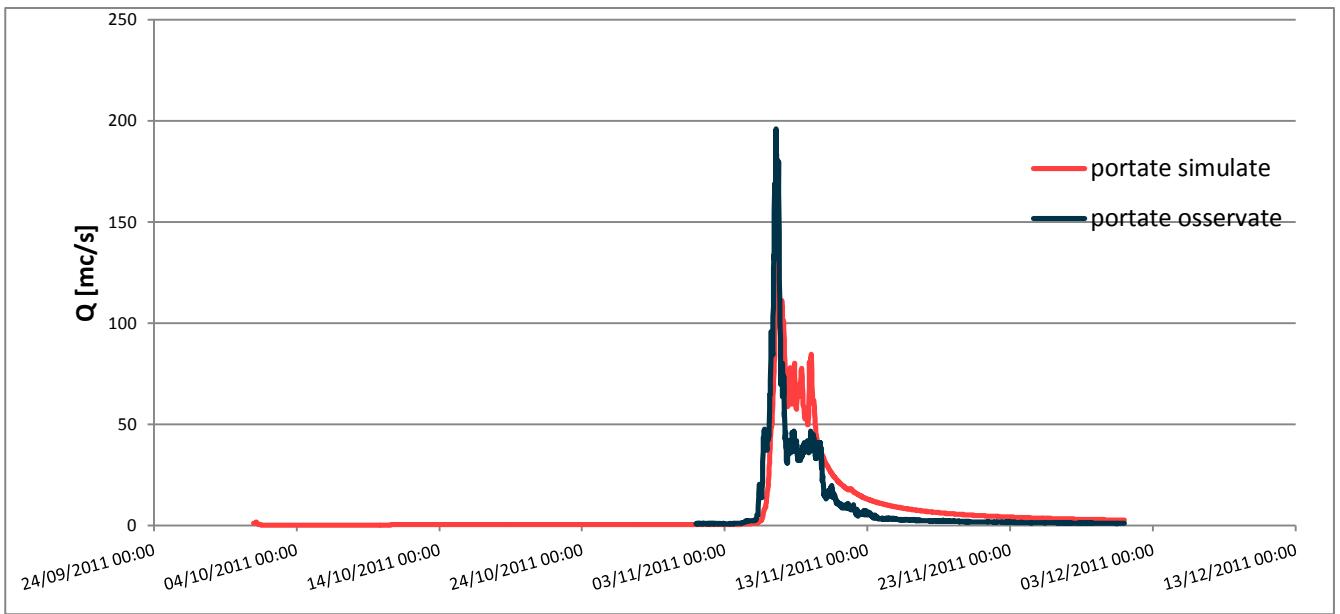


Figura 28: Andamento portate simulate ed osservate per il modello calibrato

Si nota che il modello è in grado di descrivere compiutamente il picco di piena e con una approssimazione inferiore il ramo decrescente dell'idrogramma.

Di seguito si riportano gli indici di valutazione della simulazione:

BIAS 4.10

RMSE 154.11

NUMBER OF DATA 1440

CORRELATION COEFFICIENT 0.88

NASH EFFICIENCY 0.72

Si procede in maniera analoga anche per gli altri due eventi di TRANA. Di seguito si riporta il grafico delle portate per l'evento di piena del 16/06/2010:

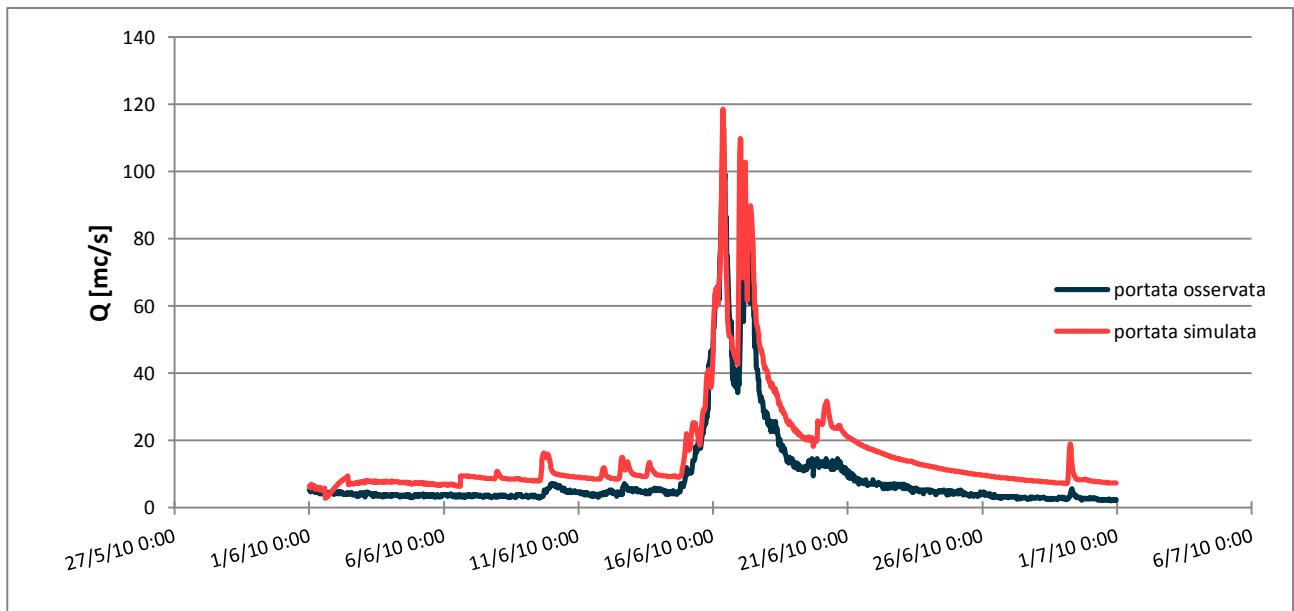


Figura 29: Grafico di confronto portate simulate ed osservate per l'evento di Trana del 16/06/2010

Di seguito sono riportati gli indici della simulazione:

BIAS 8.27

RMSE 191.42

NASH EFFICIENCY 0.14

CORRELATION COEFFICIENT 0.88

NUMBER OF DATA 1440

Si riportano a seguire i grafici dell'evento del 15/09/2006 rilevato sempre alla stazione di Trana:

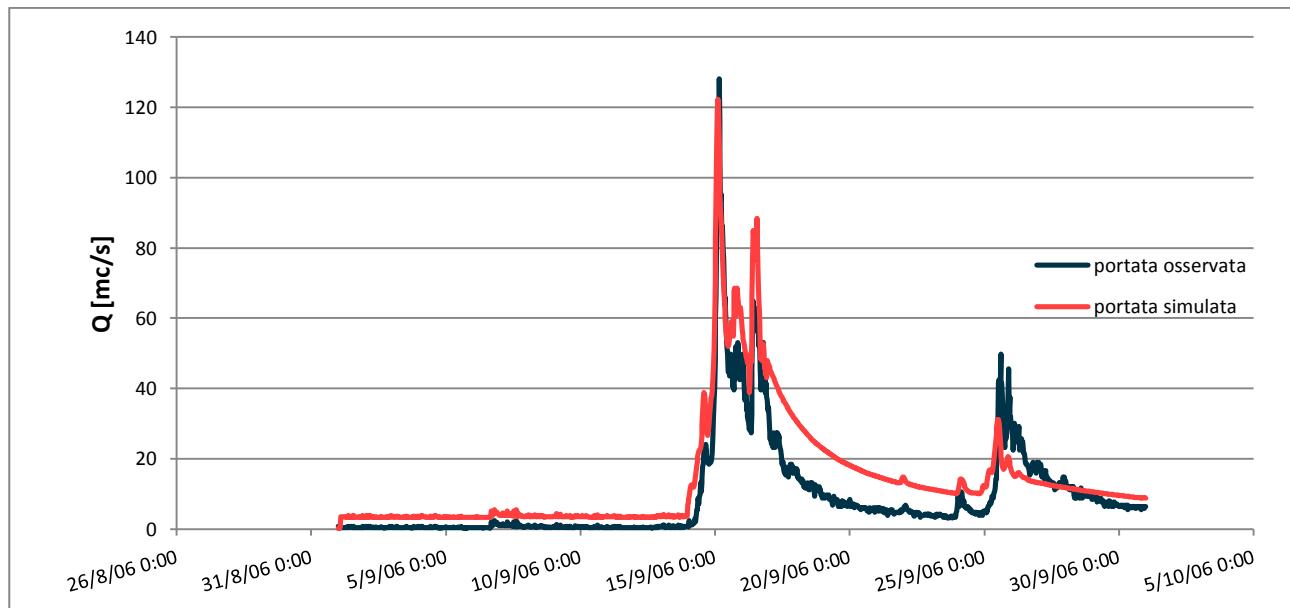


Figura 30: Grafico portate simulate ed osservate evento Trana 15/09/2006

Di seguito sono riportati gli indici di simulazione:

BIAS 9.35

RMSE 172.44

NASH EFFICIENCY 0.22

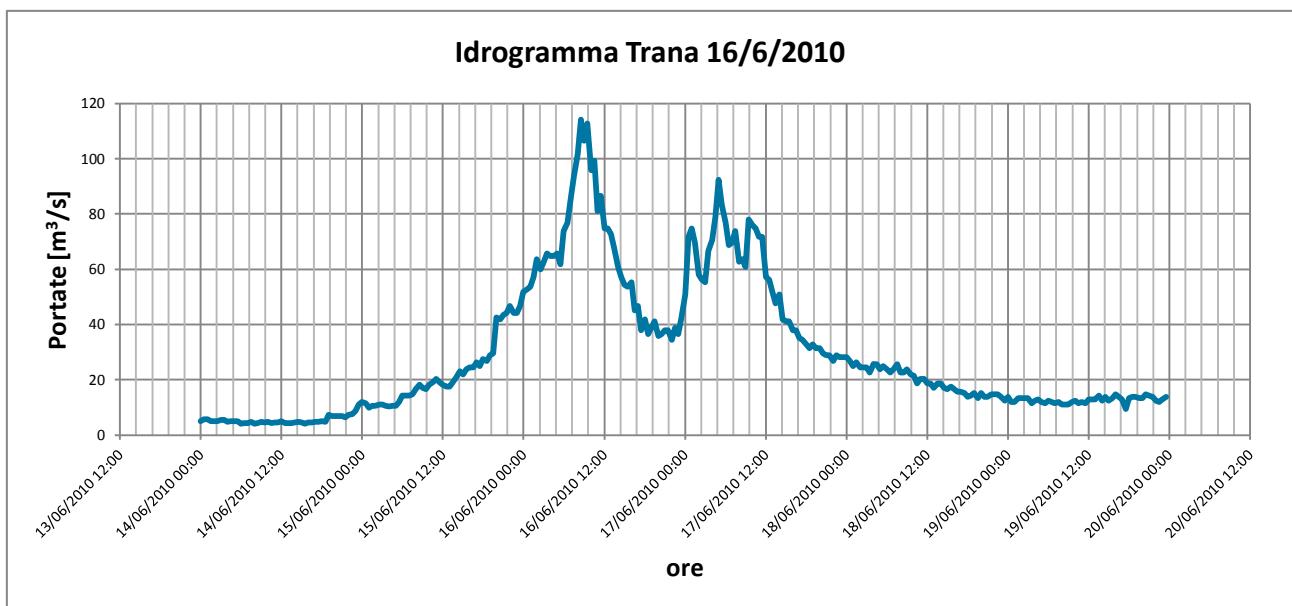
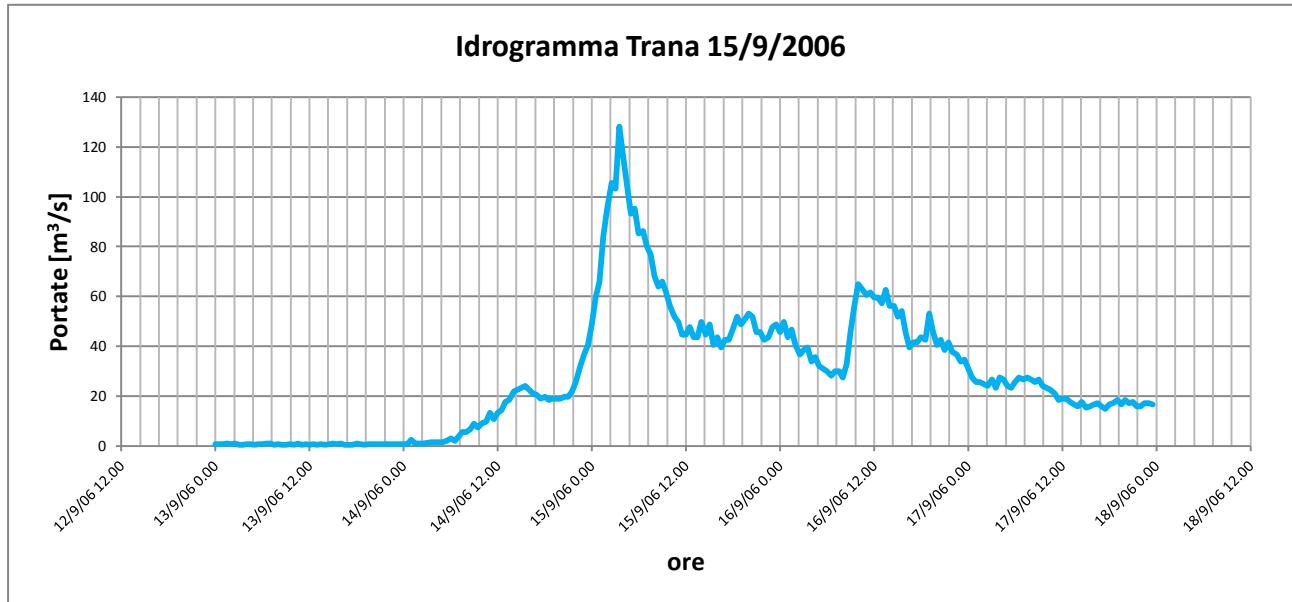
CORRELATION COEFFICIENT 0.84

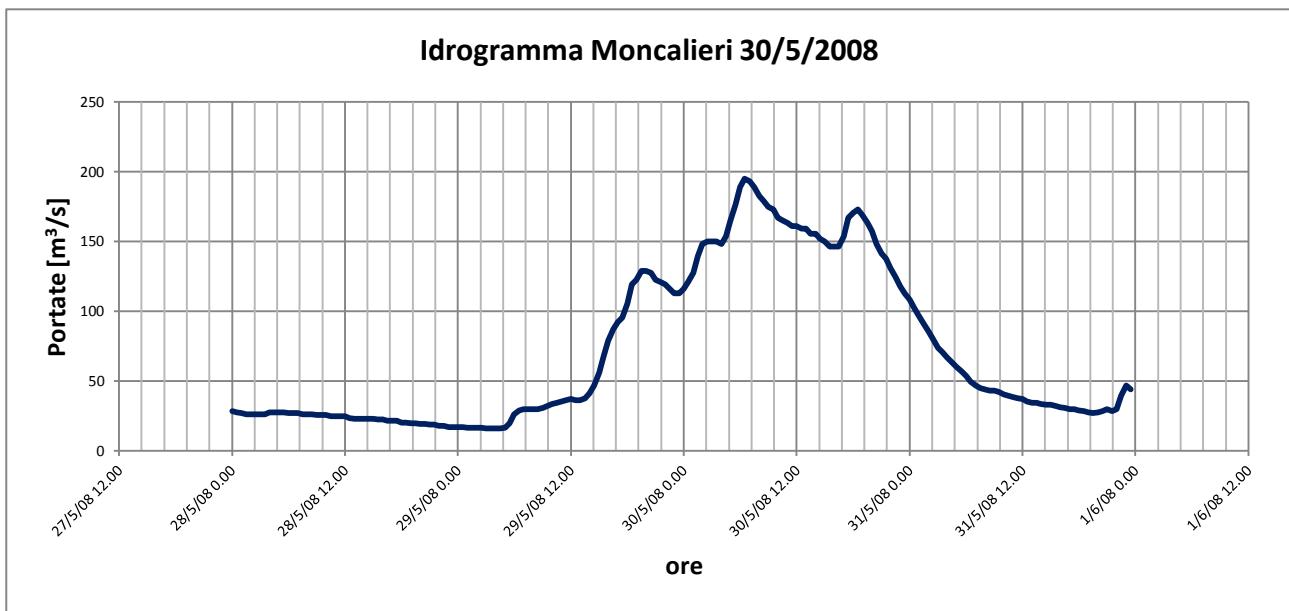
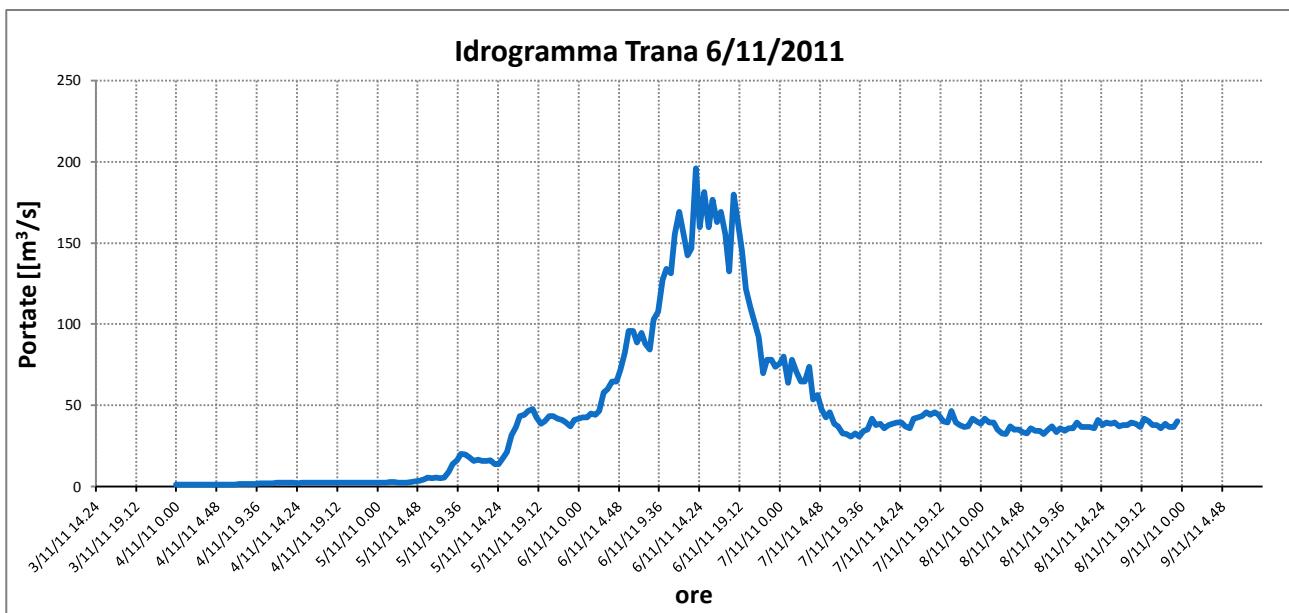
NUMBER OF DATA 1439

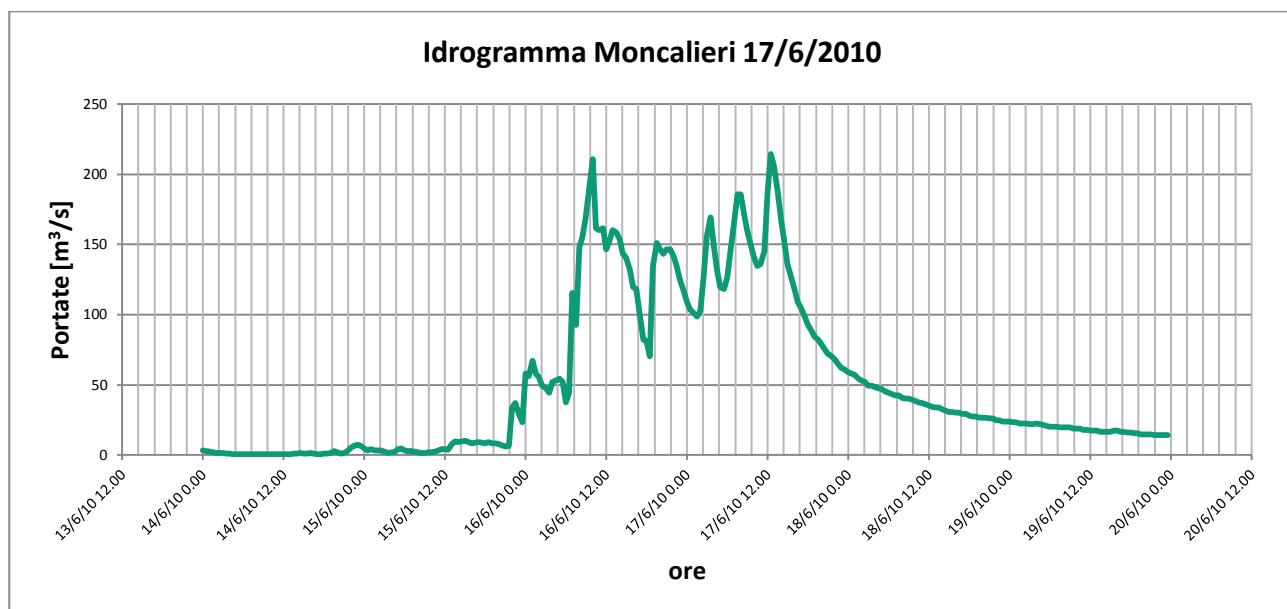
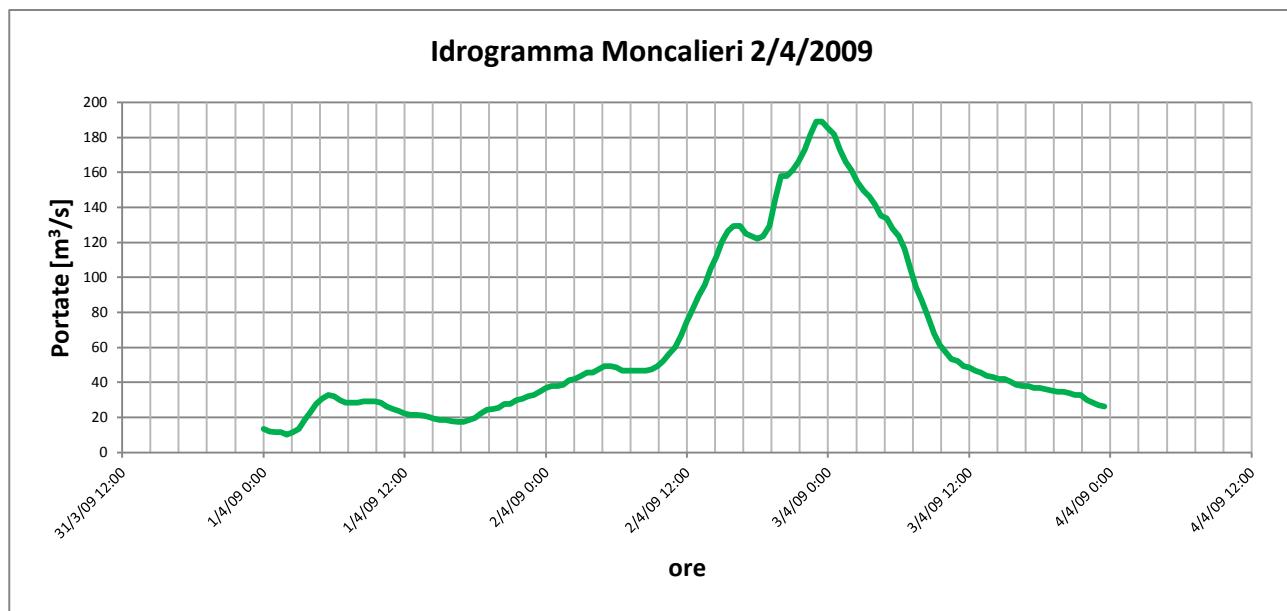
Si nota che in tutti e tre gli eventi di piena, i picchi sono discretamente ben simulati contrariamente ai rami decrescenti la piena i quali hanno una precisione inferiore. È ovvio che l'obbiettivo dello studio è la descrizione di tutto l'idrogramma di piena e non solo dell'evento di picco; in questa sede, però, si è scelto di soffermare l'attenzione solo sul picco della piena in quanto più rappresentativo del problema. È indubbio che esistono margini di miglioramento, sebbene in tutti e tre i casi il coefficiente di correlazione è prossimo a 0.9: la soluzione di partire dal modello calibrato, cambiando la parametrizzazione, è la più plausibile.

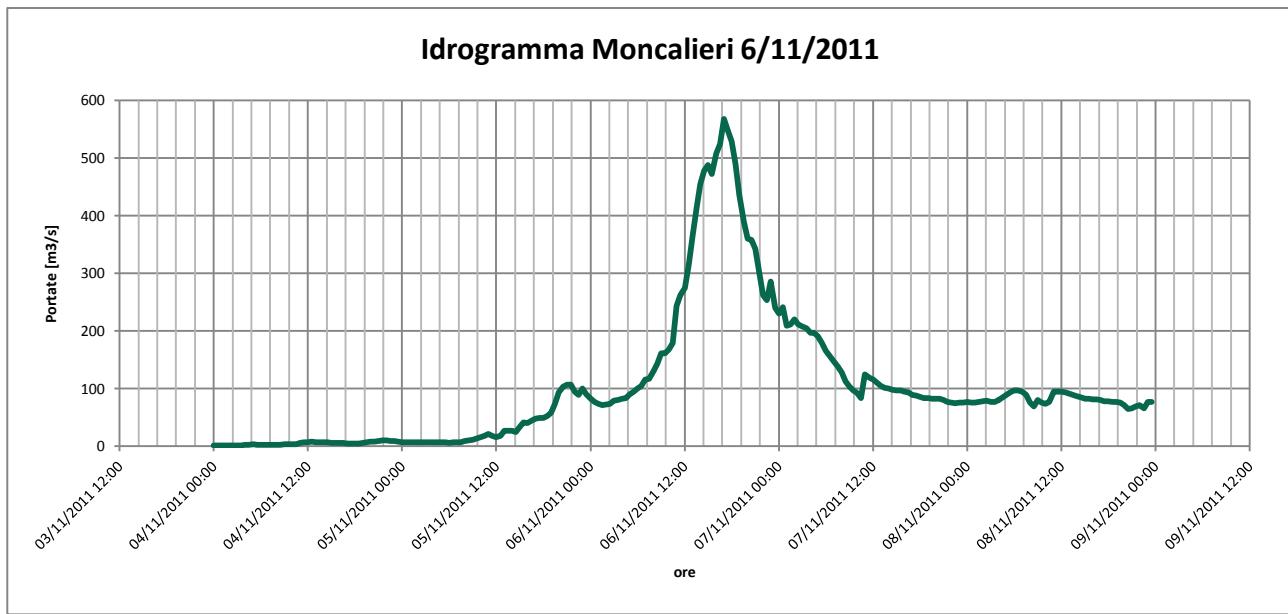
ALLEGATI

Si riportano di seguito gli idrogrammi degli eventi di piena più intensi









Si riportano a seguire le scale di deflusso per ogni anno dal 2002 al 2012 per la stazione di Trana Sangone.

