

***Valutazione dei possibili scenari idrogeologici ed idraulici per il bacino occidentale del Po nella primavera – estate 2009***



| Revisione     | Data  | Oggetto Revisione  |
|---------------|---|--------------------|
| V01           | 16/3/2009                                       | Tutto il documento |
| Redazione:    | SC 05 Area Previsione e Monitoraggio Ambientale | Data: 16/3/2009    |
| Verifica:     |   | Data: 16/3/2009    |
| Approvazione: | Funzione: Responsabile                          | Data: 16/3/2009    |
|               | Nome: Stefano Bovo                              |                    |

Indice

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>1</b>   | <b>PREMESSA .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>2</b>   | <b>CONDIZIONI DI INNEVAMENTO.....</b>                                | <b>4</b>  |
| <b>3</b>   | <b>SCENARI METEOROLOGICI .....</b>                                   | <b>5</b>  |
| <b>3.1</b> | <b>Risultati</b>   | <b>7</b>  |
| <b>4</b>   | <b>SCENARI IDROLOGICI PERIODO GENNAIO-GIUGNO .....</b>               | <b>13</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Risultati con neve 2009</b>                                       | <b>13</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Risultati con scenari meteo</b>                                   | <b>19</b> |
| 4.2.1      | Andamento previsto dell'innevamento .....                            | 19        |
| 4.2.2      | Andamento previsto del Lago Maggiore .....                           | 23        |
| <b>5</b>   | <b>FENOMENI DI PIENA .....</b>                                       | <b>25</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Descrizione degli eventi considerati</b>                          | <b>25</b> |
| 5.1.1      | L'evento del 28-30 Aprile 2000 .....                                 | 25        |
| 5.1.2      | L'evento del 10-14 Giugno 2000 .....                                 | 25        |
| 5.1.3      | L'evento del 28-30 Maggio 2008.....                                  | 25        |
| <b>5.2</b> | <b>Risultati delle simulazioni</b>                                   | <b>26</b> |
| <b>5.3</b> | <b>Eventi storici</b>  | <b>31</b> |
| 5.3.1      | L'evento del 12-15 giugno 1957.....                                  | 31        |
| 5.3.2      | L'evento del 18-20 maggio 1977.....                                  | 32        |
| 5.3.3      | Confronto tra eventi storici e quelli simulati.....                  | 32        |
| <b>6</b>   | <b>TRASPORTO IN MASSA.....</b>                                       | <b>36</b> |
| <b>7</b>   | <b>VALANGHE .....</b>  | <b>40</b> |
| <b>8</b>   | <b>CONCLUSIONI .....</b>   | <b>42</b> |
| <b>9</b>   | <b>ALLEGATO 1 - DESCRIZIONE DELLA MODELLISTICA UTILIZZATA .....</b>  | <b>45</b> |
| <b>10</b>  | <b>ALLEGATO 2 – IDROGRAMMI DELLE PIENE PIÙ RAPPRESENTATIVE .....</b> | <b>50</b> |

# 1 PREMESSA

La stagione invernale 2008-2009 è stata caratterizzata da nevicate eccezionali in termini di quantità ed estensione su tutto il settore occidentale del bacino idrografico del fiume Po. Tale situazione, particolare ed anomala nel quadro climatologico, in particolare degli ultimi 15 anni, potrà manifestare effetti a lungo termine, influenzando in maniera più o meno gravosa gli scenari idrologici ed idrogeologici del bacino del Po della prossima primavera-estate, in maniera più o meno gravosa in funzione dell'evoluzione dell'attuale manto nevoso nella sua fase di fusione e dell'interazione con gli eventi meteorici primaverili.

La presente analisi conoscitiva di valutazione degli scenari idrogeologici ed idraulici possibili nella primavera – estate 2009 è stata elaborata da Arpa Piemonte su richiesta del Dipartimento della Protezione Civile in qualità di Centro Funzionale Regionale e di Centro di Competenza del Dipartimento per le attività di previsione meteorologica ed idrologica di interesse nazionale.

L'analisi è stata elaborata sulla base dei sistemi di previsione e monitoraggio del Centro Funzionale allo scopo di delineare le possibili evoluzioni stagionali e valutarne preventivamente le possibili criticità. Il lavoro è stato organizzato nelle seguenti attività:

- simulazione del periodo gennaio-giugno partendo dalle condizioni di innevamento attuale sulla base delle forzanti meteorologiche osservate dalla rete a terra nei singoli anni nel periodo 2000-2008;
- individuazione delle più probabili evoluzioni dell'inverno-primavera 2009 sulla base dell'analisi climatologica del periodo di 11 anni 1998-2008, guidata sia dagli scenari statistici più significativi, sia dalle anomalie delle previsioni stagionali e finalizzata alla simulazione del periodo transiente;
- simulazione di alcuni eventi alluvionali recenti registrati nel periodo primaverile, utilizzando diversi scenari del periodo di transizione;
- analisi dei risultati e confronto con gli eventi primaverili storici.
- ipotesi di scenari di rischio a scala di bacino.

In particolare è stato utilizzato il data base storico dei parametri meteorologici ed idrologici che ha consentito di descrivere quantitativamente gli eventi gravosi del passato e di ipotizzare l'evoluzione climatologica del periodo, ed è stata impiegata la modellistica idrologica per simulare le risposte di piena ai differenti scenari.

## 2 CONDIZIONI DI INNEVAMENTO

L'inverno "meteorologico" 2008-2009 ha avuto inizio piuttosto precocemente con importanti nevicate che hanno interessato il Piemonte, con alterne fasi di attenuazione e fasi più intense, da martedì 28 ottobre fino alla giornata di venerdì 7 novembre.

Altre perturbazioni nel fine settimana del 28-30 novembre sono giunte sul Piemonte, determinando nuove precoci nevicate che hanno interessato anche le pianure.

Una nuova ondata di maltempo è sopraggiunta nei giorni 14 – 17 dicembre dando luogo ad un evento di nevicate di eccezionale intensità nel Piemonte occidentale e meridionale.

I valori di neve al suolo e di sommatoria di neve fresca comparati ai valori storici riferiti al periodo 1966-2005, relativi al mese di dicembre, risultano aver superato i valori massimi storici di altezza di neve al suolo misurata nel mese di dicembre, mentre il totale di precipitazione misurato in quattro giorni è risultato da due a tre volte superiore al valore medio del mese.

Ad inizio gennaio infine un ulteriore evento di precipitazione nevosa, anche a basse quote ha ulteriormente aumentato i livelli già importanti di neve al suolo

A fine febbraio sull'intero arco Alpino piemontese il manto nevoso è risultato continuo oltre gli 800-1000 m ed alla quota di 2000 metri si sono registrati valori medi di innevamento superiore a 2 metri. La Tabella 1 riporta l'altezza di neve al suolo al 28 febbraio in alcuni siti rappresentativi confrontata con il riferimento storico del 1° e 9° decile della distribuzione il cui intervallo rappresenta la variabilità media dell'innnevamento.

| settore   | stazione                                 | Neve al suolo (cm) | Riferimento storico |                |
|-----------|--|--------------------|---------------------|----------------|
|           |  |                    | 1° decile (cm)      | 9° decile (cm) |
| Lepontine | Formazza Vannino(2180m)                  | 257                | 77                  | 230            |
|           | Formazza Ponte (1300m)                   | 144                | 32                  | 145            |
| Pennine   | Antrona (1500m)                          | 152                | 4                   | 120            |
|           | Macugnaga (1300m)                        | 108                | 9                   | 120            |
| Graie     | Ceresole (2296m)                         | 205                | 30                  | 215            |
|           | Usseglio Malciaussia(1820m)              | 180                | 0                   | 130            |
| Cozie     | Bardonecchia      Rochemolles<br>(1975m) | 193                | 37                  | 168            |
|           | Pontechianale (1589m)                    | 83                 | 0                   | 82             |
| Marittime | Entraque (2010m)                         | 180                | 0                   | 182            |
|           | Vinadio (1206m)                          | 163                | 0                   | 85             |

Tabella 1 altezza neve al suolo al 28/2/2009 e confronto con dati storici

### 3 SCENARI METEOROLOGICI

Al fine di individuare i più probabili scenari di evoluzione dell'inverno-primavera 2009, sono stati elaborati i dati dei pluviometri della rete meteoidrografica di Arpa Piemonte e la relativa altezza di zero termico associata, ricavata dalle analisi del modello ECMWF, per ogni area di allertamento ed ogni scadenza esararia da gennaio a giugno negli anni 1998-2008.

E' stato creato uno scenario (denominato "S1") che conserva una pioggia media cumulata sui sei mesi per ogni area di allertamento, e che nello stesso tempo presenta una distribuzione di scadenze piovose conforme alla climatologia degli 11 anni presi in considerazione. Inoltre, ad ogni valore di pioggia è associato un valore realmente osservato di altezza dello zero termico, mantenendo così una correlazione fra le due tipologie di dato.

Il metodo per determinare tale distribuzione di pioggia/temperatura è il seguente:

- è stata calcolata la cumulata media sul periodo gennaio-giugno in ognuna delle "i" aree di allertamento in cui è suddiviso il territorio regionale:

$$\forall i \bar{P}^i = \frac{1}{N_k} \sum_{j,k} P_{j,k}^i \text{ dove } N_k \text{ è il numero di anni } k \text{ e } j \text{ è la scadenza}$$

- è stato calcolato il numero medio di scadenze piovose, definite come le scadenze in cui la precipitazione è stata  $\geq 0.2mm/6h$  :

$$\forall i \bar{n}^i = \frac{1}{N_k} \sum_{j,k} n_{j,k}^i \text{ dove } N_k \text{ è il numero di anni } k \text{ e } j \text{ è la scadenza.}$$

- per ogni scadenza e per ogni area di allertamento, è stata calcolata la percentuale di anni in cui è piovuto, costruendo così la serie completa su tutto il periodo (4 scadenze giornaliere x 180 giorni da gennaio a giugno).

Successivamente è stato calcolato il 75° percentile di questa serie che rappresenta il valore di soglia al di sopra del quale una scadenza viene definita piovosa. Ciò permette di mantenere un numero di scadenze piovose comparabile alla media delle scadenze piovose delle serie originali di precipitazioni osservate sugli undici anni, mantenendo anche la variabilità climatica propria di ogni area.

Quindi si è assegnato ad ogni scadenza piovosa, definita sopra, il valore di pioggia cumulata su 6h pari all'x-esimo elemento della distribuzione di pioggia osservata su 6h degli undici anni. Il valore di x varia da area ad area per differenze legate alla climatologia locale ed assume i valori descritti nell'ultima colonna a destra della Tabella 5.

Tale valore di x permette di avere per ogni area di allertamento un valore cumulato di pioggia su sei mesi confrontabile con la cumulata media osservata sugli 11 anni. Essendo tale valore uno degli elementi realmente osservati tra le serie di pioggia, è possibile associare ad esso un valore osservato di altezza di zero termico, al fine di mantenere la coerenza fra i due parametri, e generando quindi una serie sintetica più realistica possibile. Nelle scadenze non piovose, l'altezza di zero termico è pari alla media calcolata sull'intero periodo in quelle scadenze.

Infine, sulla base delle indicazioni fornite dal Gruppo tecnico scientifico per le previsioni meteorologiche mensili e stagionali a scala nazionale del Dipartimento di Protezione Civile sulle anomalie stagionali di precipitazione e temperatura previste per la stagione primaverile 2009, è stato elaborato uno scenario denominato "S2" con la stessa metodologia dello scenario "S1". Lo scenario S2 è caratterizzato dall'anomalia di precipitazione prevista, ovvero lo scenario sarà più piovoso della media climatologica. Tale scenario contiene i valori dell'altezza di zero termico reali osservati nelle rispettive scadenze piovose, come per lo scenario "S1".

Per quanto riguarda gli scenari climatici possibili, è stato fatto riferimento al Gruppo tecnico scientifico per le previsioni meteorologiche mensili e stagionali a scala nazionale del Dipartimento di Protezione Civile, secondo il quale esiste la possibilità di avere una primavera più piovosa della media climatologica. Tali risultati si basano anche sulle mappe fornite dal Centro Europeo per le Previsioni Meteorologiche a Medio Termine (ECMWF) di cui riportiamo, come esempio, l'anomalia di precipitazione mensile (Figura 1). Si nota come solo nel mese di maggio si preveda un'anomalia negativa di precipitazione sul nord Italia.

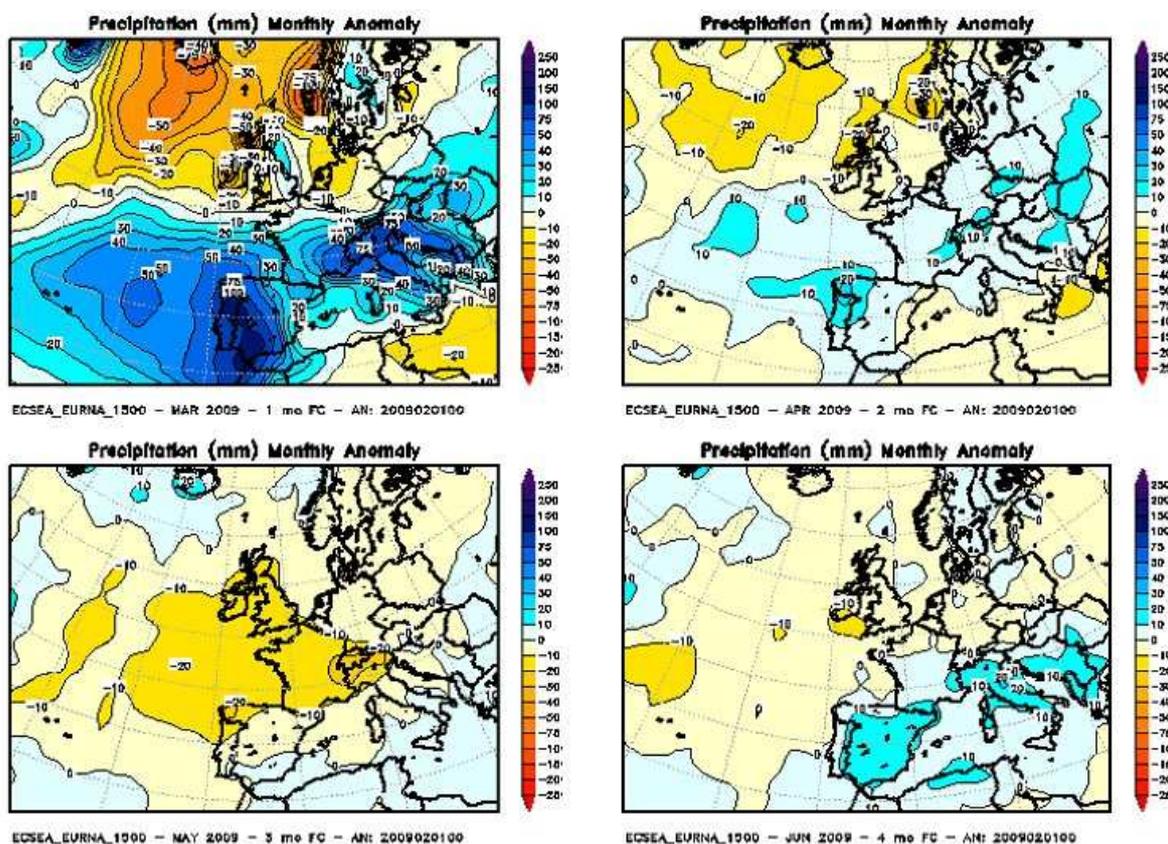


Figura 1 Anomalia di precipitazione prevista dal modello climatico di ECMWF.

Sulla base di queste indicazioni del Dipartimento di Protezione Civile sulle anomalie stagionali di precipitazione e temperatura previste per la stagione primaverile 2009, è stato elaborato uno scenario denominato "S2" con la stessa metodologia dello scenario "S1". Lo scenario S2 è caratterizzato dall'anomalia di precipitazione prevista, ovvero lo scenario sarà più piovoso della media climatologica. Tale scenario contiene i valori dell'altezza di zero termico reali osservati nelle rispettive scadenze piovose, come per lo scenario "S1".

Bisogna comunque sottolineare il carattere altamente sperimentale delle mappe stagionali che vanno solo considerate alla stregua di un'indicazione probabilistica, non di una vera e propria previsione. Ciò è dovuto alla caoticità dell'atmosfera (quindi alla sua intrinseca imprevedibilità a lungo termine) ed all'eccessiva approssimazione dei modelli numerici usati per elaborare tali tendenze. Essi infatti sono meno risolti dei modelli per le previsioni a breve termine e contengono parametrizzazioni diverse, che non sono adatte a rappresentare i fenomeni locali a piccola scala.

Si è inoltre realizzato un ultimo scenario denominato "S3" con la medesima precipitazione dello scenario S2 ma con una anomalia positiva delle temperature rispetto alla media climatologica, secondo le indicazioni delle previsioni stagionali. In tale scenario, per ogni scadenza ed ogni area di allertamento, la quota dello zero termico è stata calcolata prendendo l'80° percentile della serie storica degli zeri termici esarari negli 11 anni 1998-2008.

Tutti gli scenari prodotti sono utilizzabili per inizializzare il modello idrologico ed innestare poi i dati osservati di alcuni eventi alluvionali occorsi negli ultimi anni. E' da sottolineare il fatto che, data la mancanza dei dati osservati, i valori dell'area di allertamento del Ticino sono stati fatti coincidere con quelli dell'area del Toce, per una questione di similitudine geografico-climatologica.

### **3.1 Risultati**

Si propongono nel seguito alcune sintesi delle analisi sui dati di quota dello zero termico e precipitazione registrati nel periodo gennaio-giugno degli anni 11 presi in esame, effettuate al fine di elaborare gli scenari meteorologici descritti nel paragrafo precedente.

L'altezza di zero termico estratta dalle analisi di ECMWF nel periodo gennaio-giugno degli anni 1998-2008 è:

$$ZT_{j,k}^i$$

con:

i: i-esima area di allerta

j: j-esima scadenza (00, 06, 12 e 18 UTC)

k: k-esimo anno

Le statistiche che seguono forniscono informazioni per ogni mese (del periodo gennaio - giugno) e per ogni zona di allerta mensile e considerano tutte le scadenze di tutti gli anni.

Figura 2: si nota come l'altezza dello zero termico vari (in maniera attesa) da circa 1500 m in gennaio a circa 3500 m in giugno.

Figura 3: la deviazione standard è abbastanza costante nel tempo (200-250 m) con l'eccezione del mese di aprile quando aumenta a 350 m circa. La variabilità di aprile si spiega con il passaggio da un tipico regime invernale stabile ad uno primaverile più dinamico come transizione verso quello estivo.

Figura 4: i mesi di aprile, maggio e giugno sono i più piovosi, ma anche i più variabili dal punto di vista spaziale. Infatti la dispersione dei valori riferiti alle singole aree di allertamento è fino a tre volte superiore rispetto ai primi tre mesi dell'anno dove rimane

intorno ai 50 mm. Anche questo risultato è legato alla dinamica primaverile della precipitazione, contrapposta a quella invernale.

Figura 5: da questa figura risulta evidente la correlazione tra la pioggia media cumulata nel periodo e il numero medio di giorni piovosi per ogni area di allertamento; si discosta dal comportamento generale la zone della Valle d'Aosta V, probabilmente a causa del campione più limitato di dati disponibili. Infatti i dati partono solo dal 2002. Tale correlazione è indicata esplicitamente dal coefficiente  $R^2$  riportato in Tabella 4.

Figura 6: questa figura evidenzia una certa correlazione spaziale tra le aree di allertamento. Infatti, quando piove più o meno della media, l'anomalia si riscontra in tutte le aree.

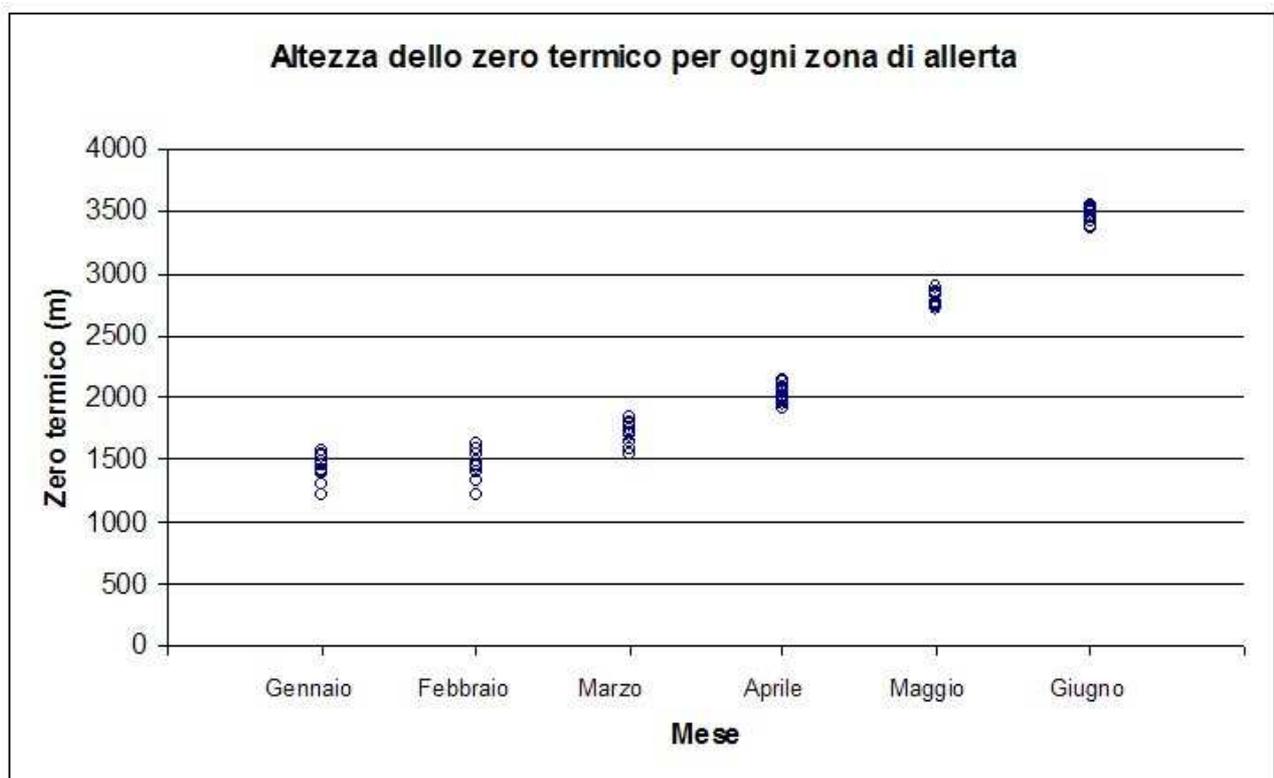


Figura 2 Media mensile su ogni zona di allerta.

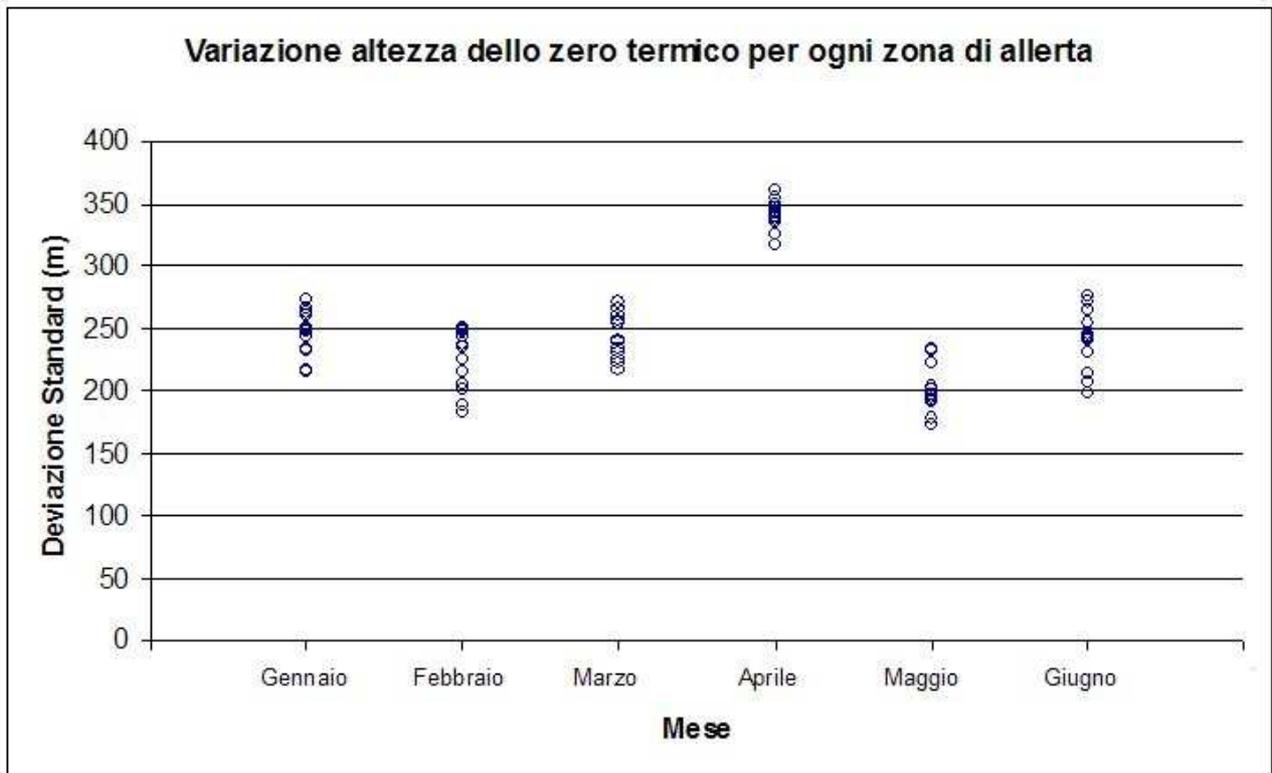


Figura 3 Deviazione standard mensile su ogni zona di allerta.

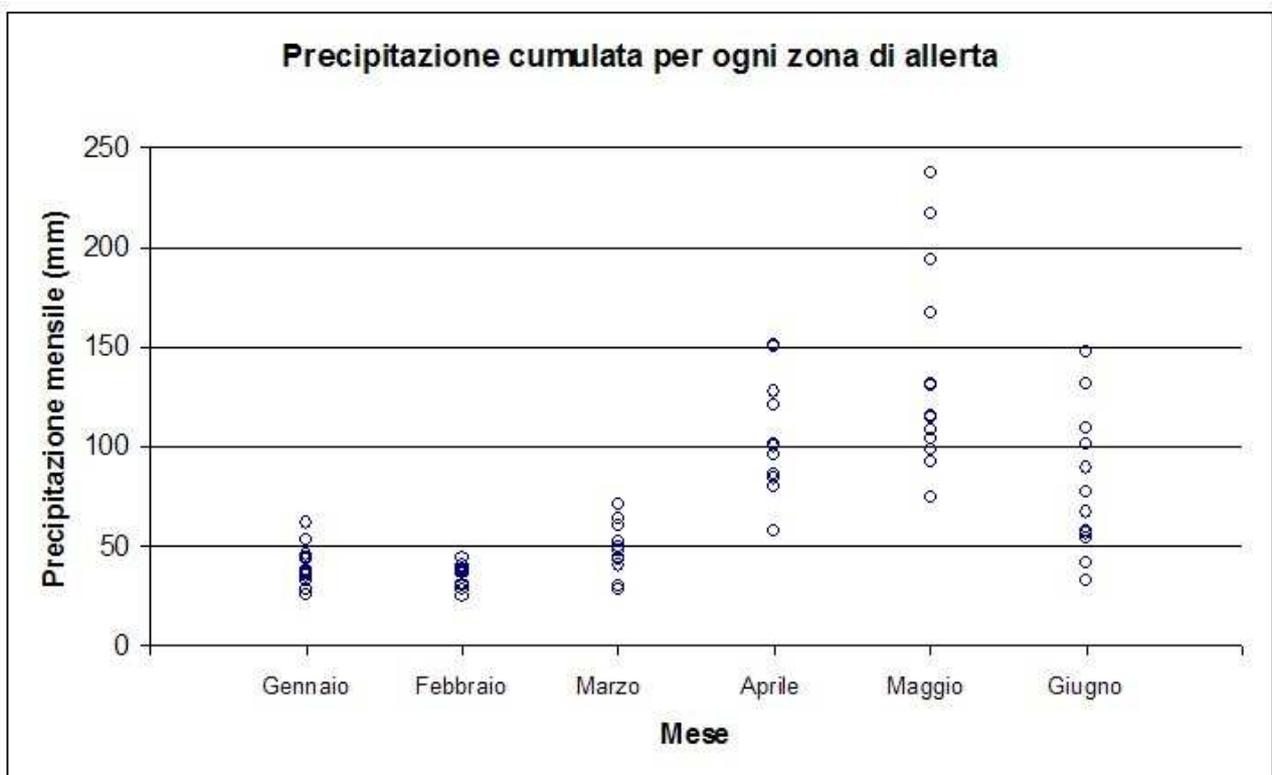


Figura 4 Precipitazione mensile per ogni zona di allerta.

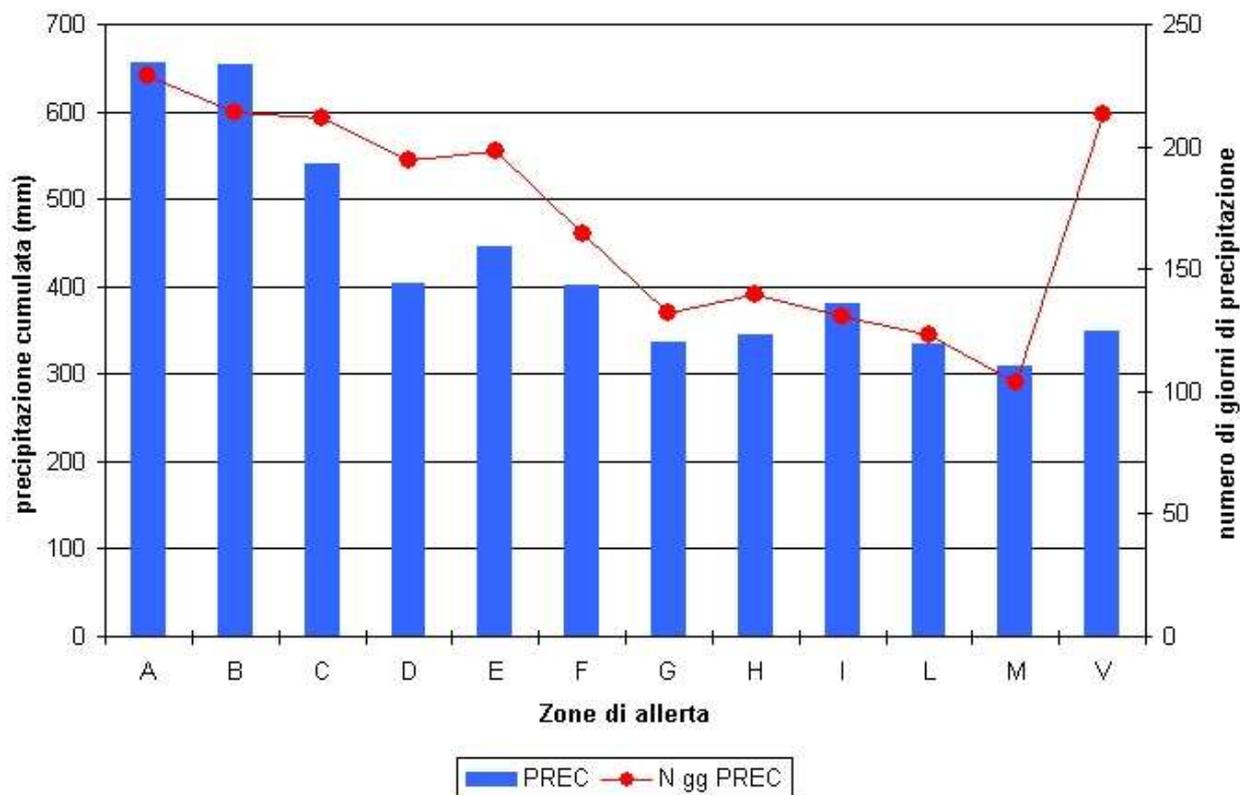


Figura 5 Precipitazione cumulata e numero di scadenze piovose (>0.2 mm/6h) medie di ogni zona di allerta

Tabella 2 Cumulata di pioggia su sei mesi dal 1998 al 2008 e valor medio in mm per ogni zona di allerta

| ZONA DI ALLERTA            | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | MEDIA |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Toce (A)                   | 701  | 745  | 693  | 696  | 1035 | 225  | 575  | 515  | 437  | 740  | 850  | 656   |
| Dora Baltea (B)            | 834  | 856  | 748  | 639  | 1059 | 225  | 547  | 470  | 354  | 694  | 761  | 653   |
| Orco (C)                   | 641  | 515  | 682  | 597  | 826  | 276  | 446  | 369  | 309  | 564  | 709  | 539   |
| Alta Dora Riparia Po (D)   | 324  | 350  | 528  | 505  | 609  | 259  | 276  | 274  | 265  | 416  | 646  | 405   |
| Varaita Stura (E)          | 342  | 410  | 604  | 482  | 580  | 259  | 428  | 336  | 282  | 434  | 737  | 445   |
| Alto Tanaro (F)            | 360  | 413  | 498  | 450  | 560  | 269  | 400  | 343  | 237  | 347  | 548  | 402   |
| Belbo Bormida (G)          | 346  | 274  | 349  | 312  | 592  | 188  | 343  | 261  | 221  | 282  | 533  | 337   |
| Scrivia (H)                | 371  | 293  | 336  | 409  | 457  | 216  | 328  | 267  | 247  | 301  | 562  | 344   |
| Pianura Settentrionale (I) | 447  | 377  | 369  | 329  | 731  | 126  | 410  | 228  | 263  | 327  | 573  | 380   |
| Pianura Torinese (L)       | 367  | 360  | 365  | 295  | 539  | 140  | 360  | 223  | 245  | 319  | 460  | 334   |
| Pianra Meridionale (M)     | 274  | 302  | 366  | 270  | 517  | 188  | 351  | 259  | 193  | 295  | 378  | 309   |
| Valle d'Aosta (V)          | NA   | NA   | NA   | NA   | 412  | 223  | 291  | 265  | 366  | 415  | 472  | 349   |

Tabella 3 Numero di scadenze piovose (>0.2 mm/6h) su sei mesi dal 1998 al 2008 e valor medio per ogni zona di allerta.

| ZONA DI ALLERTA            | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | MEDIA |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Toce (A)                   | 217  | 274  | 249  | 273  | 227  | 136  | 232  | 169  | 202  | 236  | 304  | 229   |
| Dora Baltea (B)            | 214  | 234  | 212  | 250  | 210  | 150  | 215  | 171  | 191  | 229  | 281  | 214   |
| Orco (C)                   | 208  | 238  | 210  | 265  | 216  | 157  | 206  | 165  | 170  | 226  | 270  | 212   |
| Alta Dora Riparia Po (D)   | 179  | 208  | 162  | 227  | 222  | 145  | 217  | 141  | 178  | 197  | 264  | 195   |
| Varaita Stura (E)          | 153  | 215  | 178  | 228  | 205  | 157  | 210  | 187  | 192  | 193  | 265  | 198   |
| Alto Tanaro (F)            | 154  | 161  | 145  | 210  | 176  | 133  | 178  | 141  | 135  | 140  | 238  | 165   |
| Belbo Bormida (G)          | 114  | 113  | 115  | 148  | 157  | 91   | 167  | 107  | 117  | 114  | 207  | 132   |
| Scrivia (H)                | 127  | 118  | 121  | 181  | 154  | 90   | 177  | 116  | 119  | 133  | 202  | 140   |
| Pianura Settentrionale (I) | 134  | 120  | 119  | 171  | 143  | 71   | 155  | 105  | 100  | 125  | 196  | 131   |
| Pianura Torinese (L)       | 121  | 125  | 119  | 149  | 136  | 77   | 145  | 92   | 97   | 117  | 178  | 123   |
| Pianra Meridionale (M)     | 86   | 100  | 99   | 103  | 148  | 81   | 121  | 83   | 85   | 96   | 140  | 104   |
| Valle d'Aosta (V)          | NA   | NA   | NA   | NA   | 185  | 175  | 217  | 165  | 241  | 247  | 264  | 213   |

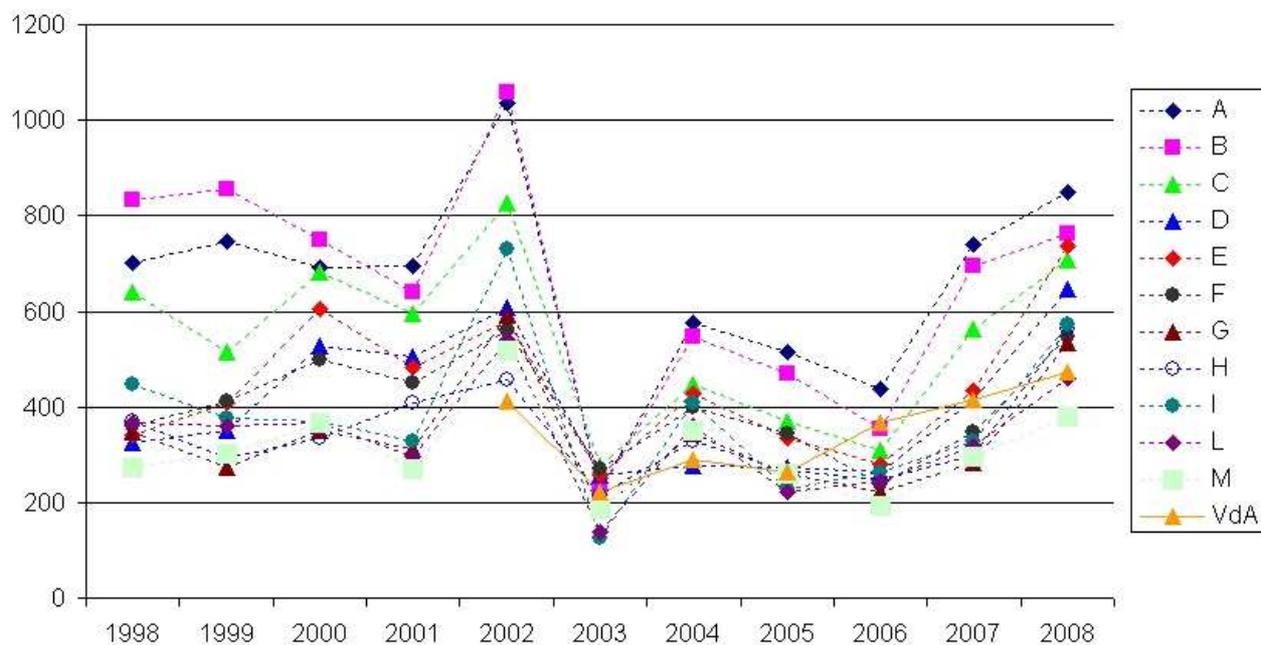


Figura 6 Precipitazione cumulata in ogni zona di allerta in ogni anno (la zona VdA si riferisce all'area Valdostana del Monte Bianco)

Tabella 4 Correlazione tra pioggia cumulata e numero di scadenze piovose (>0.2 mm/6h) di ogni anno considerato, per ogni zona di allerta.

| ZONA DI ALLERTA            | CORRELAZIONE |
|----------------------------|--------------|
| Toce (A)                   | 0.72         |
| Dora Baltea (B)            | 0.60         |
| Orco (C)                   | 0.70         |
| Alta Dora Riparia Po (D)   | 0.66         |
| Varaita Stura (E)          | 0.69         |
| Alto Tanaro (F)            | 0.71         |
| Belbo Bormida (G)          | 0.77         |
| Scivia (H)                 | 0.83         |
| Pianura Settentrionale (I) | 0.68         |
| Pianura Torinese (L)       | 0.76         |
| Pianra Meridionale (M)     | 0.88         |
| Valle d'Aosta (V)          | 0.74         |

Tabella 5 Cumulata (PREC) e numero di scadenze piovose medie (N) di ogni zona di allerta, Cumulata (PREC\*) e numero di scadenze piovose (N\*) della serie "sintetica"; 75° percentile e percentile x

| ZONA DI ALLERTA            | PREC | N   | PREC* | N*  | 75 ° PERCENTILE | x    |
|----------------------------|------|-----|-------|-----|-----------------|------|
| Toce (A)                   | 656  | 229 | 726   | 222 | 45              | 0.80 |
| Dora Baltea (B)            | 653  | 214 | 707   | 197 | 45              | 0.80 |
| Orco (C)                   | 539  | 212 | 539   | 184 | 45              | 0.80 |
| Alta Dora Riparia Po (D)   | 405  | 195 | 416   | 143 | 36              | 0.80 |
| Varaita Stura (E)          | 445  | 198 | 449   | 168 | 36              | 0.80 |
| Alto Tanaro (F)            | 402  | 165 | 431   | 203 | 36              | 0.80 |
| Belbo Bormida (G)          | 337  | 132 | 285   | 106 | 27              | 0.90 |
| Scivia (H)                 | 344  | 140 | 336   | 122 | 27              | 0.90 |
| Pianura Settentrionale (I) | 380  | 131 | 426   | 121 | 27              | 0.90 |
| Pianura Torinese (L)       | 334  | 123 | 366   | 110 | 27              | 0.90 |
| Pianra Meridionale (M)     | 309  | 104 | 319   | 77  | 27              | 0.90 |
| Valle d'Aosta (V)          | 349  | 213 | 340   | 262 | 43              | 0.80 |

## 4 SCENARI IDROLOGICI PERIODO GENNAIO-GIUGNO

Utilizzando i dati osservati dalla rete meteo-idrografica sono state condotte le simulazioni idrologiche degli anni 2000-2008 per il periodo gennaio-giugno (rianalisi); sono poi stati costruiti tre differenti scenari così definiti:

**neve 2009** – consiste nella risimulazione del periodo 2000-2008 utilizzando le condizioni di innevamento del 2009;

**scenario meteorologico 1** – consiste nel simulare l'evoluzione della situazione attuale fino al mese di giugno con l'anno climatologico medio (cfr. paragrafo precedente, scenario meteorologico S1);

**scenario meteorologico 2** - consiste nel simulare l'evoluzione della situazione attuale fino al mese di giugno con i segnali delle previsioni stagionali per il parametro della precipitazione (cfr. paragrafo precedente, scenario meteorologico S2).

Di seguito è riportata la sintesi dei risultati.

### 4.1 Risultati con neve 2009

Un primo gruppo di simulazioni condotte con il modello Flood Watch, ha riguardato il periodo gennaio-giugno partendo dalle condizioni di innevamento 2009 sulla base delle forzanti meteorologiche osservate dalla rete a terra nei singoli anni nel periodo 2000-2008. I risultati sono stati confrontati con le rianalisi dello stesso periodo.

Sono state, perciò, effettuate 18 simulazioni, ciascuna ha avuto come input sei mesi di dati a passo orario (in totale 77.760 scadenze orarie relative alle forzanti meteo di pioggia e temperatura ragguagliate sui 187 bacini in cui è suddiviso il territorio piemontese) e ha fornito come output i valori orari di livello e portata su 80 stazioni idrometriche per i 6 mesi. Di queste ultime si sono scelte le 20 più rappresentative riportate nella Tabella 6 che tra corrispondono alle sezioni per le quali viene prodotto il bollettino di previsione delle piene, e su queste è stata condotta un'analisi più approfondita.

| Corso d'acqua    | Sezione         |
|------------------|-----------------|
| Po               | Carignano       |
| Po               | Torino Murazzi  |
| Po               | Crescentino     |
| Po               | Isola S Antonio |
| Po               | Ponte Becca     |
| Tanaro           | Farigliano      |
| Tanaro           | Alba            |
| Tanaro           | Masio           |
| Tanaro           | Montecastello   |
| Stura di Lanzo   | Torino          |
| Orco             | San Benigno     |
| Stura di Demonte | Fossano         |
| Maira            | Racconigi       |
| Varaita          | Polonghera      |
| Belbo            | Castelnuovo     |
| Orba             | Casal Cermelli  |
| Bormida          | Cassine         |
| Toce             | Candoglia       |
| Sesia            | Palestro        |
| Dora Baltea      | Tavagnasco      |

Tabella 6 Stazioni idrometriche della rete di Arpa Piemonte su cui viene condotta l'analisi

Per ognuna delle sezioni, è stato elaborato un grafico che mostra il confronto tra portate simulate con i dati storici ovvero la rianalisi (simulato) e con le condizioni attuali di innevamento (sim neve2009); a titolo di esempio se ne riportano alcuni in Figura 7, Figura 8, e Figura 9.

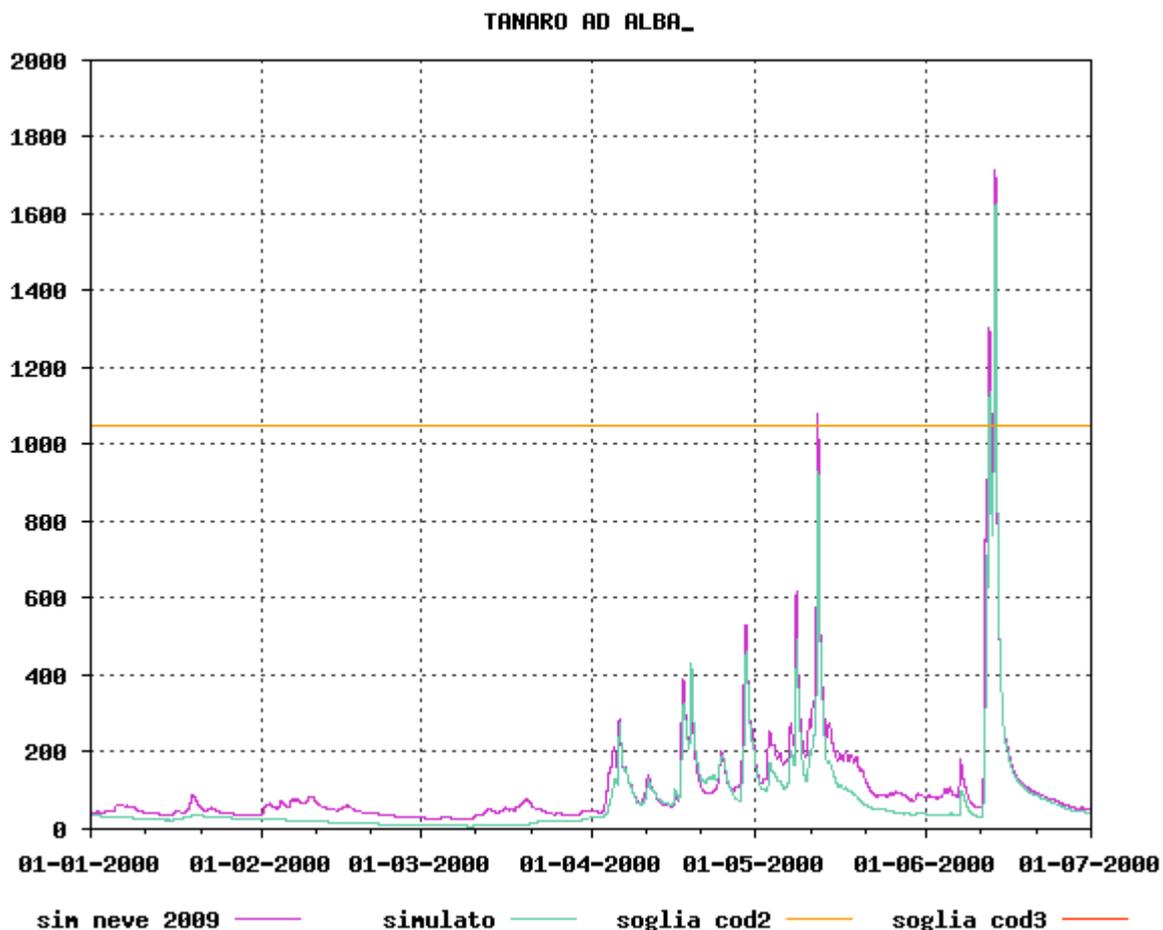


Figura 7 Confronto tra portate simulate con i dati storici (simulato) e con le condizioni attuali di innevamento (sim neve\_2009), nella sezione di Alba sul Tanaro nel periodo Gennaio-Giugno 2000

La Figura 7 presenta l'andamento a confronto delle portate per il primo semestre dell'anno 2000 alla sezione del Tanaro ad Alba: fino a fine aprile, al di là di una differenza nel deflusso di base, si osserva uno scostamento piuttosto limitato che si fa più marcato nei colmi di piena di maggio e giugno.

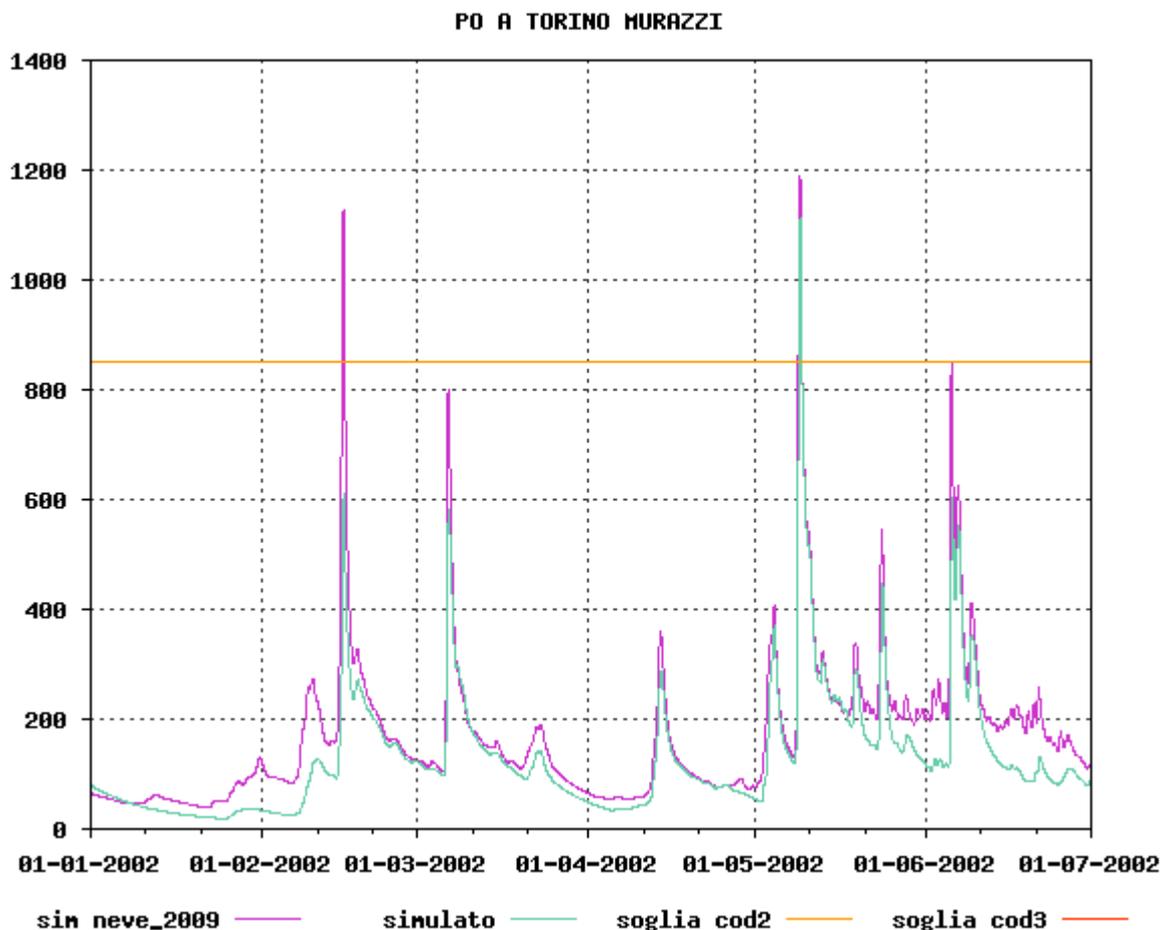


Figura 8 Confronto tra portate simulate con i dati storici (simulato) e con le condizioni attuali di innevamento (sim neve\_2009), nella sezione di Torino sul Po nel periodo Gennaio-Giugno 2002

La Figura 8 presenta l'andamento a confronto delle portate per il primo semestre dell'anno 2002 alla sezione del Po a Torino: molto evidente è la differenza degli idrogrammi della piena di febbraio che subisce quasi il raddoppio del colmo.

La Figura 9 si riferisce sempre al fiume Po ma presenta l'andamento a confronto delle portate per il primo semestre dell'anno 2008 a Ponte Becca ovvero alla confluenza con il Ticino: evidente è la differenza degli idrogrammi su tutto il periodo sia in termini di portata di base sia dei colmi.

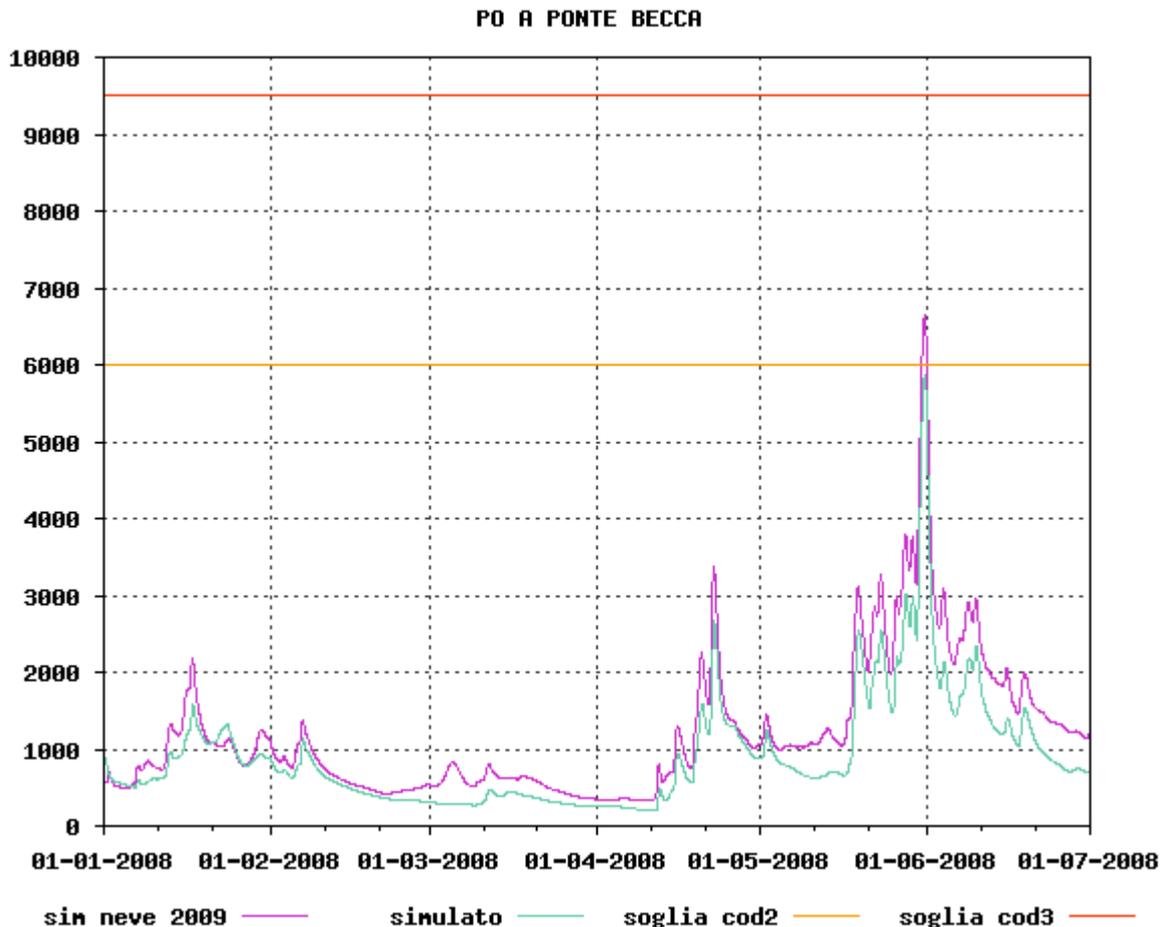


Figura 9 Confronto tra portate simulate con i dati storici (simulato) e con le condizioni attuali di innevamento (sim neve 2009), nella sezione di Ponte Becca sul Po nel periodo Gennaio-Giugno 2008

Tale confronto ha consentito di analizzare come le attuali condizioni di innevamento possano incidere sulla rete idrografica piemontese in termini di numero di allertamenti. A valle delle simulazioni condotte, infatti, si sono confrontati gli andamenti delle portate in differenti sezioni fluviali, caratteristiche dei principali corsi d'acqua, nelle due condizioni reali (rianalisi) e lo scenario con neve attuale, per analizzare se e come la differente copertura nevosa incidesse sul superamento delle soglie di attenzione e/o pericolo durante eventi di pioggia più o meno significativi.

Si è osservato che su eventi di moderata criticità, le attuali condizioni di innevamento potrebbero far superare le soglie di attenzione in misura doppia rispetto allo storico, mentre su eventi di elevata criticità l'influenza della neve è molto meno evidente. A tal proposito si riporta di seguito una tabella riepilogativa dei superamenti delle soglie di attenzione e/o pericolo nel periodo maggio-giugno dal 2000 al 2008 nelle due diverse condizioni di innevamento:

| Corso d'acqua    | Sezione          | Numero superamenti moderata criticità |                           | Numero superamenti elevata criticità |                           |
|------------------|------------------|---------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
|                  |                  | simulazione con dati reali            | simulazione con neve 2009 | simulazione con dati reali           | simulazione con neve 2009 |
| Stura di Demonte | FOSSANO          | 3                                     | 5                         | 2                                    | 3                         |
| Belbo            | CASTELNUOVO      | 0                                     | 0                         | 0                                    | 0                         |
| Orba             | CASAL            | 1                                     | 1                         | 0                                    | 0                         |
| Bormida          | CASSINE          | 1                                     | 1                         | 0                                    | 0                         |
| Tanaro           | FARIGLIANO       | 0                                     | 0                         | 0                                    | 0                         |
| Tanaro           | ALBA TANARO      | 2                                     | 6                         | 0                                    | 0                         |
| Tanaro           | MASIO            | 0                                     | 1                         | 0                                    | 0                         |
| Tanaro           | MONTECASTELLO    | 1                                     | 1                         | 0                                    | 0                         |
| Scivia           | GUAZZORA         | 0                                     | 0                         | 0                                    | 0                         |
| Maira            | RACCONIGI        | 1                                     | 5                         | 1                                    | 1                         |
| Varaita          | POLONGHERA       | 1                                     | 1                         | 0                                    | 0                         |
| Dora Riparia     | TORINO           | 0                                     | 0                         | 0                                    | 0                         |
| Stura di Lanzo   | TORINO           | 5                                     | 8                         | 2                                    | 2                         |
| Orco             | SAN BENIGNO      | 2                                     | 2                         | 0                                    | 0                         |
| Toce             | CANDOGLIA        | 2                                     | 2                         | 1                                    | 1                         |
| Dora Baltea      | TAVAGNASCO       | 2                                     | 2                         | 0                                    | 0                         |
| Sesia            | PALESTRO         | 4                                     | 4                         | 1                                    | 1                         |
| Po               | CARIGNANO        | 5                                     | 6                         | 2                                    | 2                         |
| Po               | TORINO MURAZZI   | 5                                     | 5                         | 1                                    | 2                         |
| Po               | CRESCENTINO      | 2                                     | 4                         | 0                                    | 0                         |
| Po               | ISOLA S. ANTONIO | 1                                     | 4                         | 0                                    | 0                         |
| Po               | PONTE BECCA      | 2                                     | 3                         | 0                                    | 0                         |
| <b>TOTALI</b>    |                  | <b>40</b>                             | <b>61</b>                 | <b>10</b>                            | <b>12</b>                 |

Tabella 7 Superamenti delle soglie di attenzione (moderata criticità) e/o pericolo (elevata criticità) nel periodo dal 2000 al 2008 (tra gennaio e giugno)

## **4.2 Risultati con scenari meteo**

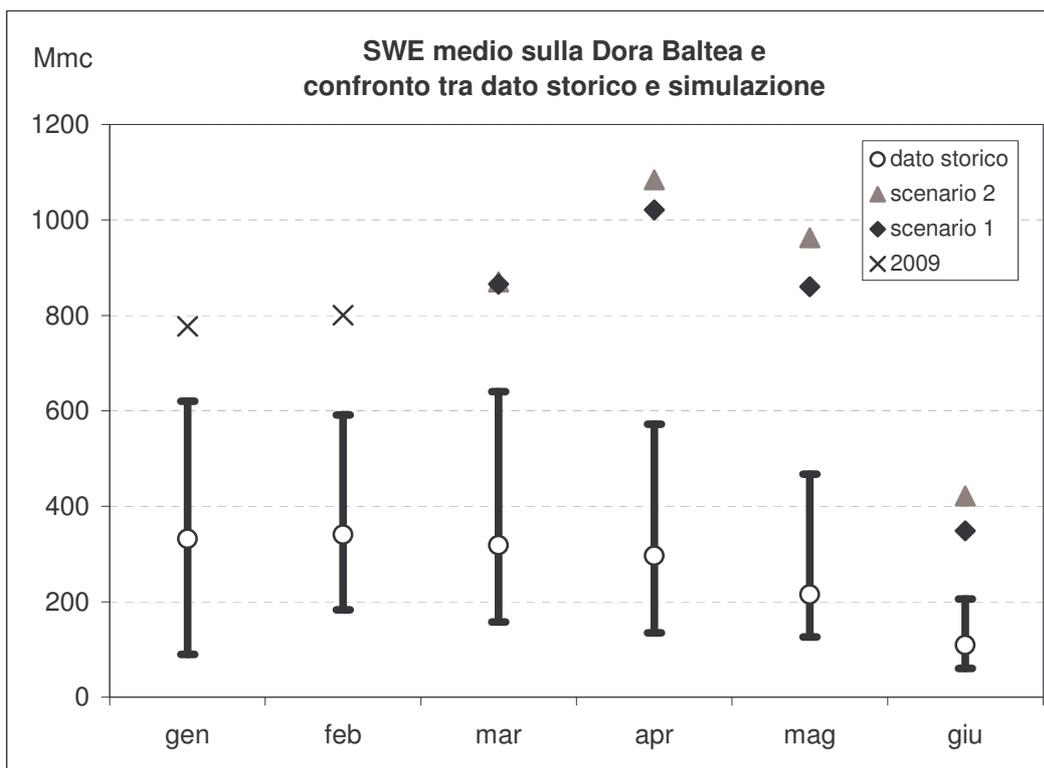
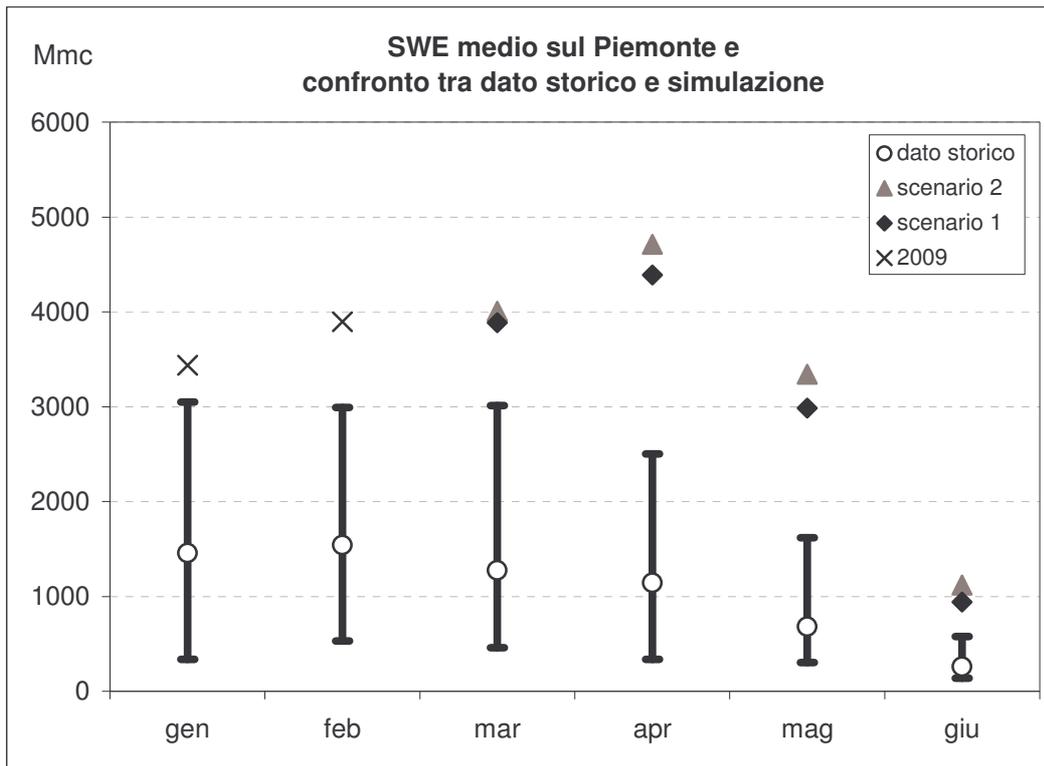
### **4.2.1 Andamento previsto dell'innevamento**

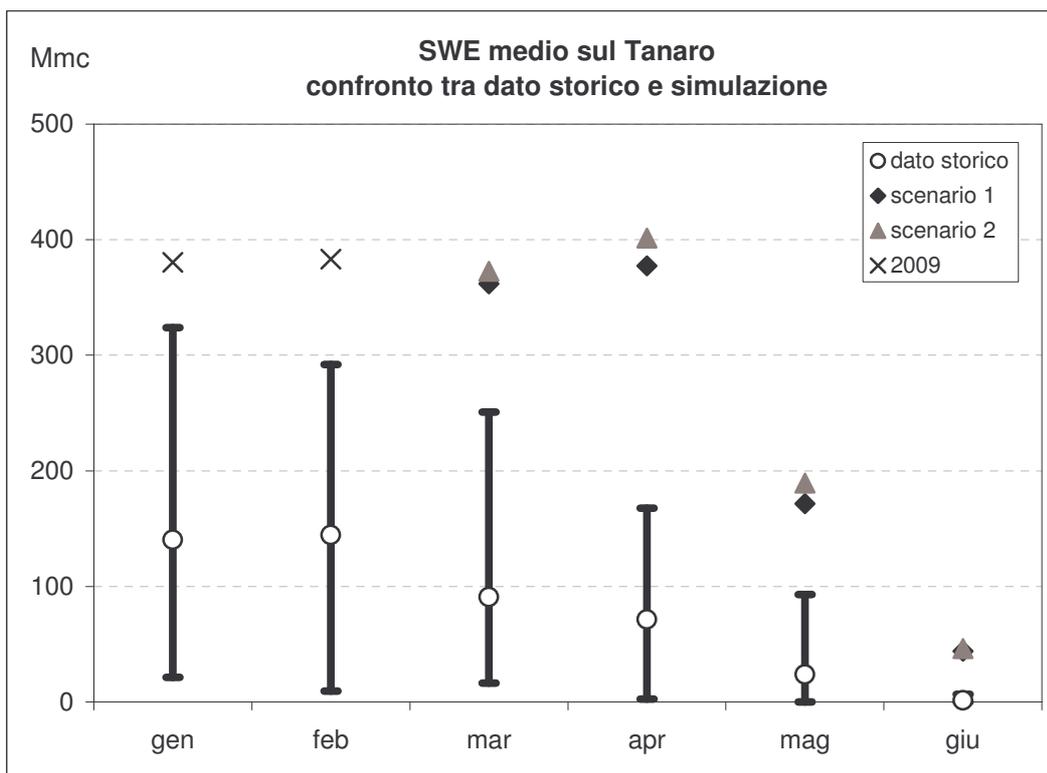
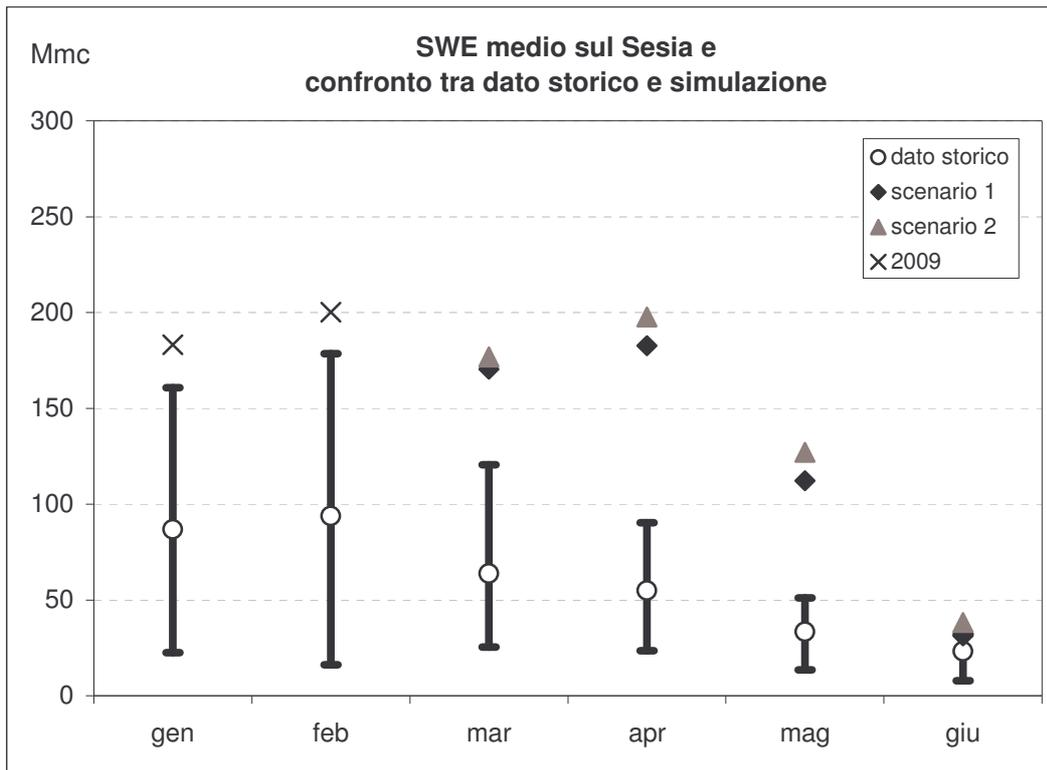
Le simulazioni numeriche basate sul modulo neve del modello FEST hanno consentito di valutare l'andamento atteso dell'innevamento nei diversi bacini idrografici del territorio regionale.

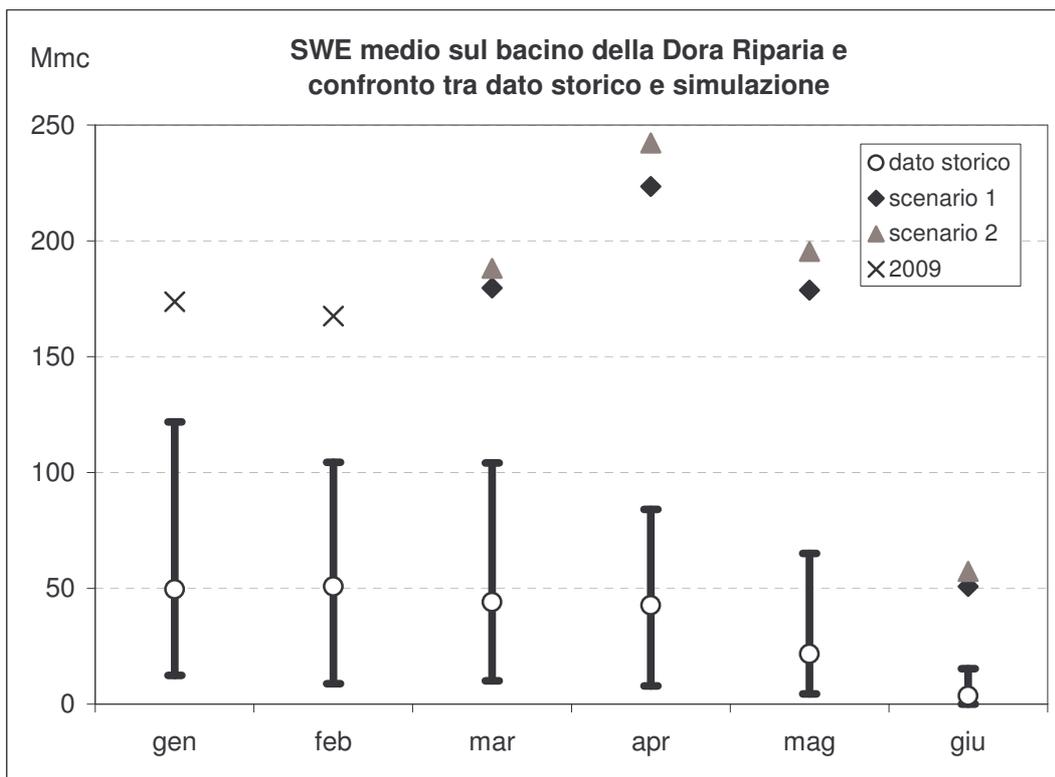
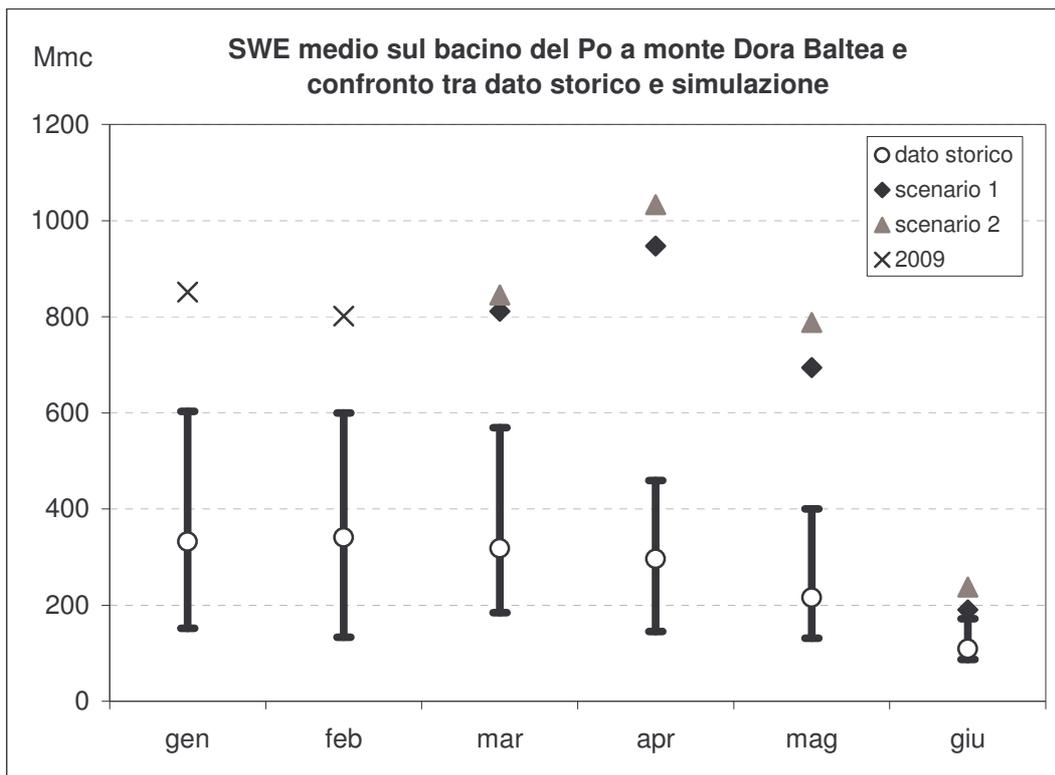
A partire dall'innevamento stimato per il giorno 01 Marzo 2009 è stato possibile, sulla base degli scenari meteorologici previsti, valutare la dinamica di accumulo e fusione del manto per i successivi 4 mesi.

Sulla base dei risultati ottenuti si possono trarre alcune considerazioni:

- la primavera 2009 sarà quella con maggiore copertura nevosa, rispetto a quelle degli ultimi 10 anni, sia in termini quantitativi sia in termini di durata.
- le differenze fra gli scenari meteorologici utilizzati producono minime differenze in termini di Snow Water Equivalent (SWE)







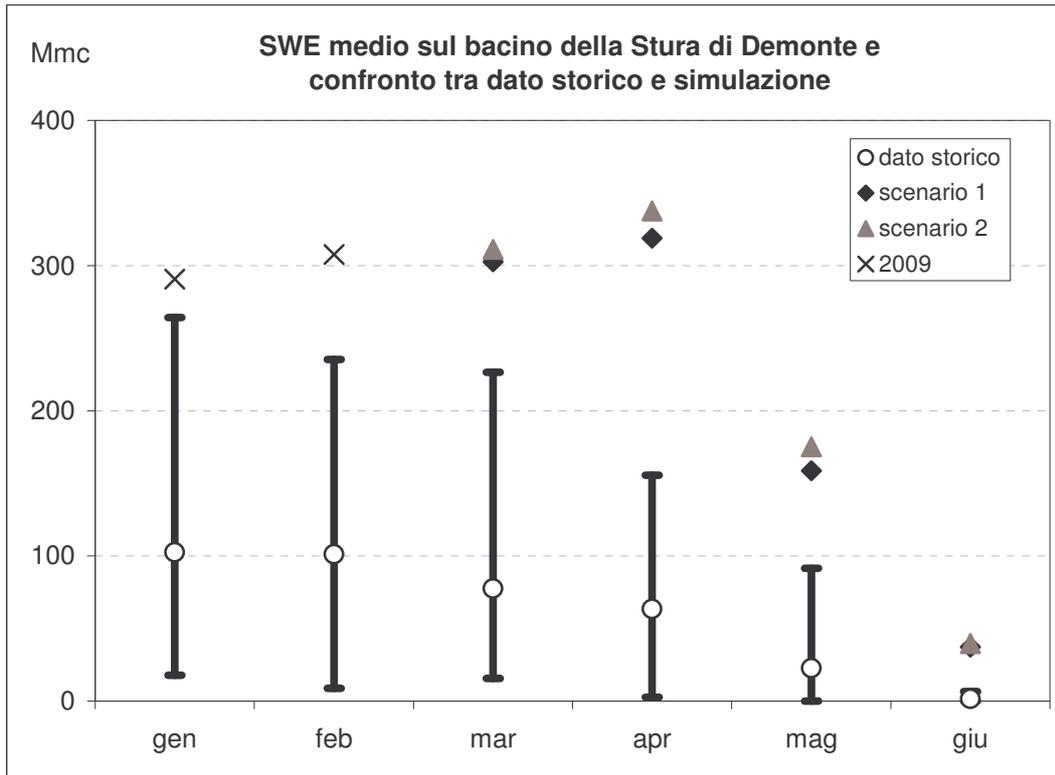


Figura 10 Andamento del volume idrico immagazzinato nel manto nevoso (SWE) osservato (gennaio e febbraio 2009) e previsto per il periodo gennaio-marzo 2009 in alcuni bacini idrografici regionali. Confronto con i dati storici osservati nel periodo 2000-2008 di cui si riporta valor medio e 1° e 9° decile della serie storica come estremi di ciascuna barra di confidenza.

#### 4.2.2 Andamento previsto del Lago Maggiore

L'influenza della fusione nivale sull'andamento stagionale dei livelli del Lago Maggiore è noto. Utilizzando gli scenari previsti è possibile ottenere l'evoluzione del livello del lago solo ipotizzando una politica di regolazione media. Il gestore dell'invaso ha infatti la possibilità di adeguare la propria politica di regolazione influenzando l'evoluzione del lago in modo rilevante. Ciò implica che i risultati qui ottenuti possono fornire solo indicazioni di massima ed eventualmente servire al gestore nella fase decisionale sulle politiche da adottare.

I risultati evidenziano come sia ipotizzabile che il lago si mantenga su livelli di attenzione per tutto il periodo maggio-giugno.

Tale situazione se combinata al verificarsi di eventi meteorici di intensità ordinari potrebbe portare ad ulteriori innalzamenti che si rivelerebbero probabilmente molto critici.

Le differenze tra i due scenari climatici risultano trascurabili evidenziando il contributo della fusione della neve già attualmente presente nel bacino.

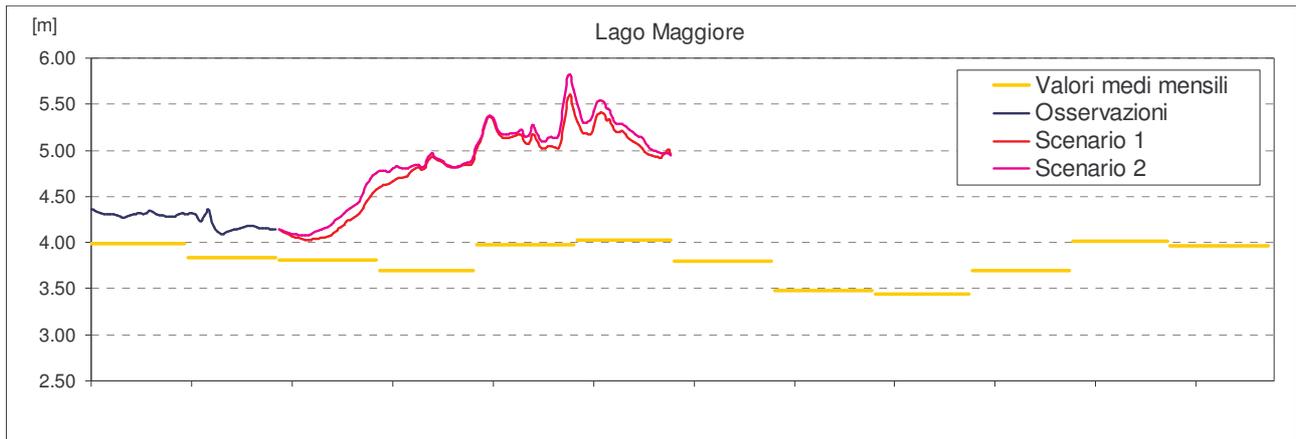


Figura 11 Andamento del livello del Verbano osservato (gennaio e febbraio 2009) e previsto per il periodo marzo-giugno 2009 con i due scenari meteorologici. Confronto con i livelli medi mensili storici osservati.

## **5 FENOMENI DI PIENA**

Un secondo gruppo di simulazioni condotte con il modello Flood Watch, ha riguardato gli eventi alluvionali primaverili più significativi che hanno colpito il territorio regionale negli anni 2000-2008. Nello specifico si sono considerati gli eventi del 30 Aprile 2000, 10-14 Giugno 2000, 28-30 Maggio 2008 che presentano tra loro analoghe caratteristiche.

### ***5.1 Descrizione degli eventi considerati***

#### ***5.1.1 L'evento del 28-30 Aprile 2000***

L'evento ha interessato tutto il territorio regionale: a partire dal settore Occidentale il fenomeno ha via via coinvolto l'intera Regione progredendo verso est. Le prime precipitazioni si sono avute dal tardo pomeriggio del giorno 27 aprile e sono proseguite in modo diffuso e persistente per i due giorni successivi. La concentrazione massima della precipitazione si è avuta in un periodo di circa 36 ore nella zona montana e pedemontana dei bacini idrografici nordoccidentali e settentrionali, dal Po al Sesia.

Nel settore Occidentale i bacini maggiormente interessati sono stati quelli del Chisola e del Sangone, mentre tutto il territorio compreso tra i bacini del Po e del Sesia risulta coinvolto.

#### ***5.1.2 L'evento del 10-14 Giugno 2000***

L'evento meteorico dei giorni 10-14 Giugno 2000 ha interessato prevalentemente i settori occidentali e sudoccidentali della regione Piemonte coinvolgendo maggiormente i bacini idrografici compresi tra la Val di Susa ed il Torrente Pesio. In termini di precipitazioni, l'evento è stato particolarmente gravoso per le piogge di durata compresa tra le 12 e le 24 ore, dove si sono superati i valori di altezza di precipitazione relativi a tempi di ritorno di 50 anni; in alcuni casi anche le piogge di 3 e 6 ore sono risultate particolarmente critiche. Le zone maggiormente critiche risultano essere la Val Varaita (Brossasco), la Val Maira (Acceglio) e la Val Pesio (Boves).

#### ***5.1.3 L'evento del 28-30 Maggio 2008***

Nelle giornate del 28 e 29 Maggio 2008 precipitazioni intense e diffuse hanno investito il Piemonte coinvolgendo soprattutto la fascia alpina e prealpina della regione e determinando condizioni di elevata criticità sui versanti e sulla rete idrografica. Le precipitazioni sono state particolarmente intense nel corso dell'intero evento nei tratti montani delle valli Susa, Chisone, Germanasca e Pellice ed hanno coinvolto il cuneese con maggiore intensità dal pomeriggio di Giovedì 29 maggio. In queste zone le precipitazioni hanno determinato un generalizzato superamento delle soglie pluviometriche di moderata ed elevata criticità, generando l'innescò di fenomeni franosi sui versanti e l'innalzamento dei livelli idrometrici dei corsi d'acqua sino a valori di pericolo, con conseguente sviluppo di fenomeni d'erosione ed inondazione.

Le precipitazioni cadute nel corso dell'evento si sono inserite in un quadro idrogeologico pregresso di parziale saturazione dei suoli, dovuto alle piogge cadute nelle ultime due settimane che ha contribuito a rendere più marcata la risposta dei corsi d'acqua.

## 5.2 Risultati delle simulazioni

Il primo passo è stato effettuare due simulazioni sull'intero periodo gennaio-giugno 2009 partendo da condizioni attuali e utilizzando come forzati meteorologiche le previsioni di pioggia e temperatura dei due scenari meteo S1 e S2.

Successivamente ogni singolo evento è stato risimulato partendo dalle condizioni iniziali ottenute con le due previsioni e utilizzando come forzanti meteorologiche i dati osservati durante gli eventi stessi.

Le simulazioni sono state condotte sullo stesso numero di sezioni indicato nella Tabella 6. I risultati delle simulazioni degli eventi sopra descritti, sono riportati nelle seguenti tabelle: in esse si evidenzia l'incremento di portata rispetto al valore al colmo simulato durante gli eventi primaverili più significativi del periodo 2000-2008, dallo scenario con neve 2009 e di quelli meteorologici scenario 1 e scenario2:

| Corso d'acqua    | Sezione        | data evento | portata simulata | Incremento portata % |            |            | soglia moderata criticità | soglia elevata criticità |
|------------------|----------------|-------------|------------------|----------------------|------------|------------|---------------------------|--------------------------|
|                  |                |             | reale            | neve 2009            | scenario 1 | scenario 2 | mc/s                      | mc/s                     |
| Tanaro           | Alba           | apr-00      | 460              | 15                   | 30         | 34         | 1050                      | 2000                     |
| Stura di Demonte | Fossano        | apr-00      | 206              | 7                    | 0          | 0,5        | 350                       | 550                      |
| Po               | Carignano      | apr-00      | 708              | 9                    | 10         | 15         | 700                       | 1300                     |
| Po               | Torino Murazzi | apr-00      | 1068             | 11                   | 12         | 17         | 850                       | 1400                     |
| Po               | Ponte Becca    | apr-00      | 5178             | 7                    | 15         | 9          | 6000                      | 9500                     |
| Tanaro           | Alba           | giu-00      | 1626             | 5                    | 21         | 25         | 1050                      | 2000                     |
| Stura di Demonte | Fossano        | giu-00      | 1273             | 4                    | 10         | 11         | 350                       | 550                      |
| Po               | Carignano      | giu-00      | 1490             | 4                    | 12         | 20         | 700                       | 1300                     |
| Po               | Torino Murazzi | giu-00      | 1393             | 7                    | 32         | 44         | 850                       | 1400                     |
| Po               | Ponte Becca    | giu-00      | 3995             | 8                    | 40         | 50         | 6000                      | 9500                     |

Tabella 8 Incrementi di portata ottenuti dallo scenario con neve 2009 scenario 1 scenario2 rispetto al valore al colmo simulato durante gli eventi primaverili significativi del 2000

| Corso d'acqua    | Sezione         | data evento | portata simulata | Incremento portata % |            |            | soglia moderata criticità | soglia elevata criticità |
|------------------|-----------------|-------------|------------------|----------------------|------------|------------|---------------------------|--------------------------|
|                  |                 |             | reale            | neve 2009            | scenario 1 | scenario 2 | mc/s                      | mc/s                     |
| Varaita          | Polonghera      | mag-08      | 198              | 15                   | 18         | 23         | 150                       | 250                      |
| Toce             | Candoglia       | mag-08      | 906              | 13                   | 12         | 14         | 1150                      | 2100                     |
| Tanaro           | Alba            | mag-08      | 958              | 18                   | 19         | 25         | 1050                      | 2000                     |
| Tanaro           | Montecastello   | mag-08      | 1099             | 13                   | 0          | 11         | 1900                      | 2800                     |
| Stura di Lanzo   | Torino          | mag-08      | 902              | 12                   | 6          | 6          | 900                       | 1350                     |
| Stura di Demonte | Fossano         | mag-08      | 829              | 10                   | 12         | 14         | 350                       | 550                      |
| Sesia            | Palestro        | mag-08      | 837              | 14                   | 12         | 15         | 1900                      | 3400                     |
| Dora Baltea      | Tavagnasco      | mag-08      | 728              | 12                   | 15         | 14         | 700                       | 1400                     |
| Maira            | Racconigi       | mag-08      | 615              | 6                    | 9          | 11         | 200                       | 400                      |
| Orco             | San Benigno     | mag-08      | 608              | 12                   | 7          | 6          | 550                       | 1100                     |
| Po               | Carignano       | mag-08      | 1583             | 9                    | 11         | 12         | 700                       | 1300                     |
| Po               | Torino Murazzi  | mag-08      | 1610             | 9                    | 12         | 15         | 850                       | 1400                     |
| Po               | Isola S Antonio | mag-08      | 4969             | 11                   | 9          | 12         | 5400                      | 7900                     |
| Po               | Ponte Becca     | mag-08      | 5873             | 13                   | 9          | 12         | 6000                      | 9500                     |

Tabella 9 Incrementi di portata ottenuti dallo scenario con neve 2009 scenario 1 scenario2 rispetto al valore al colmo simulato durante gli eventi primaverili significativi del 2008

Per l'anno 2002, viene riportato solo l'incremento di portata ottenuto dallo scenario con neve 2009, non avendo ritenuto significativi per i confronti gli eventi di maggio e giugno 2002 che hanno avuto caratteristiche diverse rispetto a quelli sopra descritti.

| Corso d'acqua    | Sezione         | data evento | portata simulata reale mc/s | Incremento portata % con neve 2009 | soglia moderata criticità (mc/d) | soglia elevata criticità mc/s |
|------------------|-----------------|-------------|-----------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Tanaro           | Montecastello   | mag-02      | 2337                        | 14                                 | 1900                             | 2800                          |
| Sesia            | Palestro        | mag-02      | 2285                        | 7                                  | 1900                             | 3400                          |
| Po               | Carignano       | mag-02      | 965                         | 6                                  | 700                              | 1300                          |
| Po               | Isola S Antonio | mag-02      | 4343                        | 38                                 | 5400                             | 7900                          |
| Po               | Torino Murazzi  | mag-02      | 1111                        | 7                                  | 850                              | 1400                          |
| Po               | Ponte Becca     | mag-02      | 6350                        | 17                                 | 6000                             | 9500                          |
| Toce             | Candoglia       | giu-02      | 2116                        | 3                                  | 1150                             | 2100                          |
| Stura di Demonte | Fossano         | giu-02      | 472                         | 41                                 | 350                              | 550                           |
| Sesia            | Palestro        | giu-02      | 4671                        | 4                                  | 1900                             | 3400                          |
| Po               | Isola S Antonio | giu-02      | 5965                        | 13                                 | 5400                             | 7900                          |
| Po               | Ponte Becca     | giu-02      | 6571                        | 12                                 | 6000                             | 9500                          |

Tabella 10 Incrementi di portata ottenuti dallo scenario con neve 2009 rispetto al valore al colmo simulato durante gli eventi primaverili significativi del 2002

In particolare si è visto che, negli eventi primaverili più significativi avvenuti ad aprile e giugno 2000, a maggio e giugno 2002 e a maggio 2008, nelle sezioni considerate l'incremento di portata è mediamente del 10% sia per quanto riguarda lo scenario con neve 2009 sia per entrambi gli scenari meteorologici come si vede anche dai grafici di esempio di seguito riportati (I grafici di confronto relativi agli eventi risimulati con i tre scenari delle sezioni più rappresentative, è stata riportata in allegato 2).

**PO A TORINO MURAZZI**

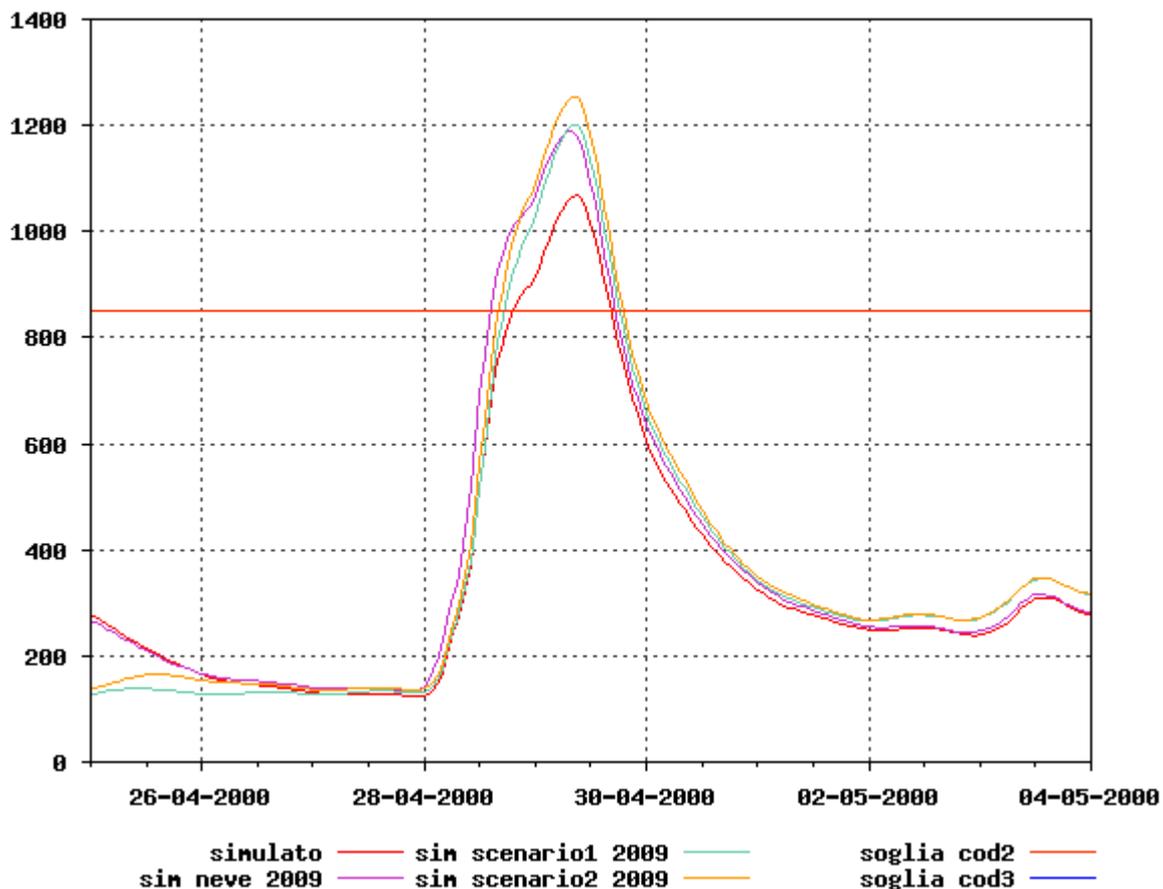


Figura 12 Confronto tra portate simulate con i dati storici (simulato), con le condizioni attuali di innevamento (sim neve 2009), e con i due scenari di previsione meteorologica, sim scenario1 e sim scenario2, nella sezione di Torino sul Po durante l'evento di Aprile 2000

**STURA DI DEMONTE A FOSSANO**

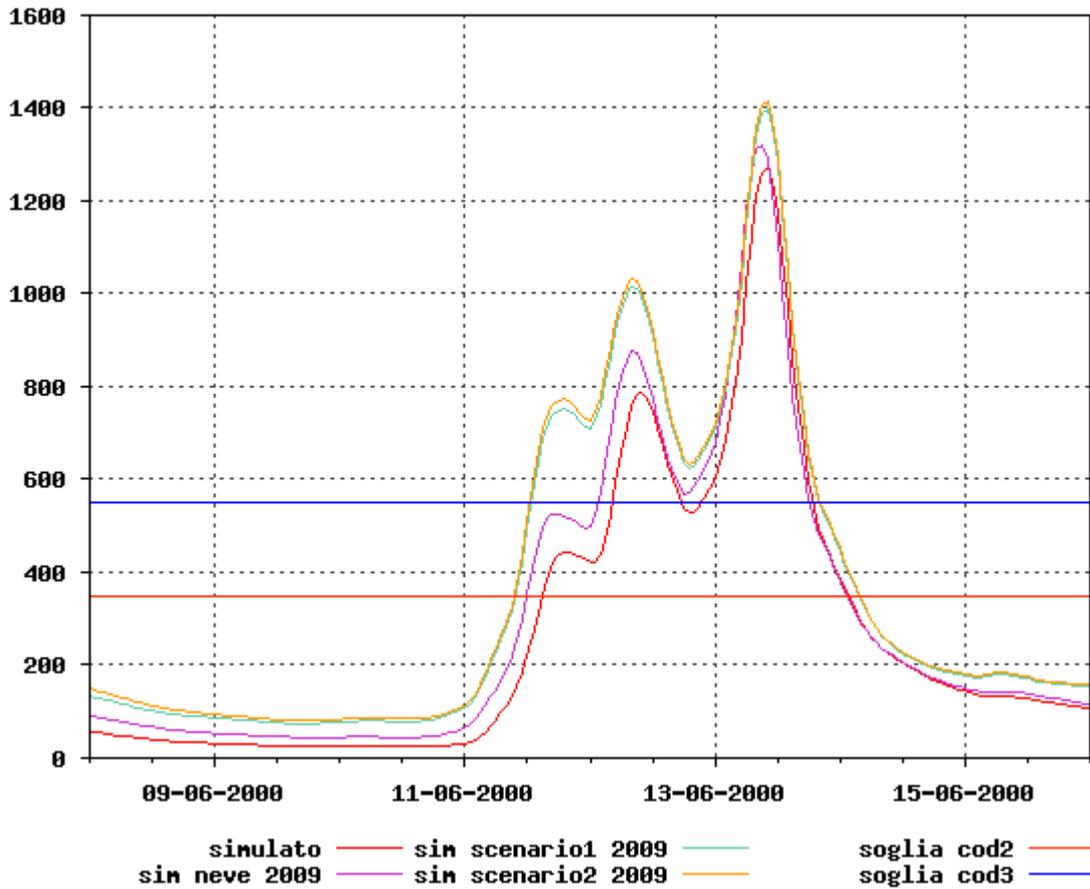


Figura 13 Confronto tra portate simulate con i dati storici (simulato), con le condizioni attuali di innevamento (sim neve 2009), e con i due scenari di previsione meteorologica, sim scenario1 e sim scenario2, nella sezione di Fossano sulla Stura di Demonte durante l'evento di Giugno 2000

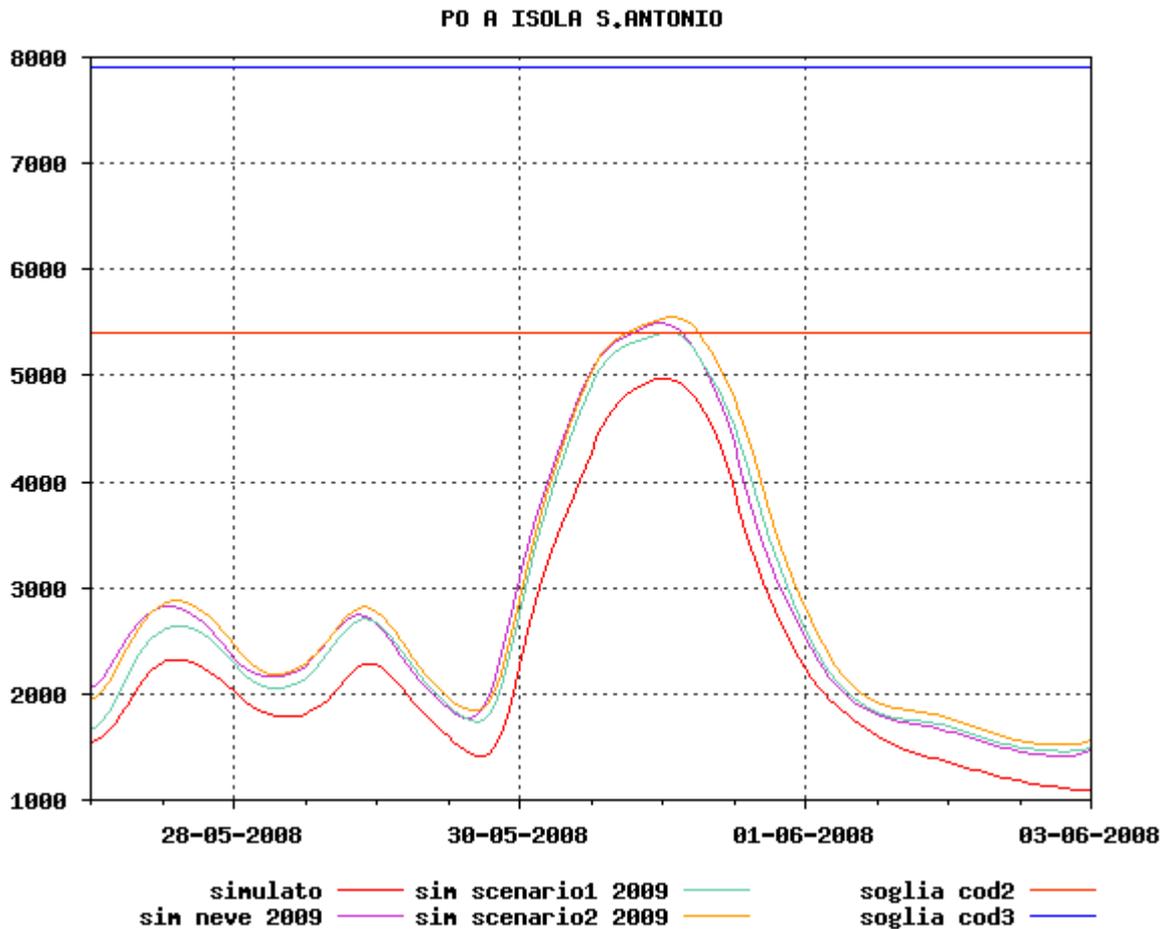


Figura 14 Confronto tra portate simulate con i dati storici (simulato), con le condizioni attuali di innevamento (sim neve 2009), e con i due scenari di previsione meteorologica, sim scenario1 e sim scenario2, nella sezione di Isola S. Antonio sul Po durante l'evento di Maggio 2008

Nella Tabella 11, infine, viene ricostruito il quadro degli incrementi di portata nelle diverse condizioni, suddividendo le sezioni per corso d'acqua, al fine di evidenziare il comportamento del reticolo idrografico di riferimento:

| Corso d'acqua    | Sezione         | data evento | portata simulata | Incremento portata % |            |            | soglia moderata | soglia elevata |
|------------------|-----------------|-------------|------------------|----------------------|------------|------------|-----------------|----------------|
|                  |                 |             | mc/s             | con neve 2009        | scenario 1 | scenario 2 | criticità       | criticità      |
|                  |                 |             | reale            |                      |            |            | mc/s            | mc/s           |
| Stura di Demonte | Fossano         | apr-00      | 206              | 7                    | 0          | 0,5        | 350             | 550            |
|                  |                 | giu-00      | 1273             | 4                    | 10         | 7          |                 |                |
|                  |                 | giu-02      | 472              | 41                   |            |            |                 |                |
|                  |                 | mag-08      | 829              | 10                   | 12         | 14         |                 |                |
| Tanaro           | Alba            | apr-00      | 460              | 15                   | 30         | 34         | 1050            | 2000           |
|                  |                 | giu-00      | 1626             | 5                    | 21         | 25         |                 |                |
|                  |                 | mag-08      | 958              | 18                   | 19         | 25         |                 |                |
|                  | Montecastello   | mag-02      | 2337             | 14                   |            |            | 1900            | 2800           |
|                  |                 | mag-08      | 1099             | 13                   | 0          | 11         |                 |                |
| Toce             | Candoglia       | giu-02      | 2116             | 3                    |            |            | 1150            | 2100           |
|                  |                 | mag-08      | 906              | 13                   | 12         | 14         |                 |                |
| Sesia            | Palestro        | mag-02      | 2285             | 7                    |            |            | 1900            | 3400           |
|                  |                 | giu-02      | 4671             | 4                    |            |            |                 |                |
|                  |                 | mag-08      | 837              | 14                   | 12         | 15         |                 |                |
| Po               | Carignano       | apr-00      | 708              | 9                    | 10         | 15         | 700             | 1300           |
|                  |                 | giu-00      | 1490             | 4                    | 12         | 20         |                 |                |
|                  |                 | mag-02      | 965              | 6                    |            |            |                 |                |
|                  |                 | mag-08      | 1583             | 9                    | 11         | 12         |                 |                |
|                  | Torino Murazzi  | apr-00      | 1068             | 11                   | 12         | 17         | 850             | 1400           |
|                  |                 | giu-00      | 1393             | 7                    | 32         | 44         |                 |                |
|                  |                 | mag-02      | 1111             | 7                    |            |            |                 |                |
|                  |                 | mag-08      | 1610             | 9                    | 12         | 15         |                 |                |
|                  | Isola S Antonio | mag-02      | 4343             | 38                   |            |            | 5400            | 7900           |
|                  |                 | giu-02      | 5965             | 13                   |            |            |                 |                |
|                  |                 | mag-08      | 4969             | 11                   | 9          | 12         |                 |                |
|                  | Ponte Becca     | apr-00      | 6350             | 17                   | 15         | 9          | 6000            | 9500           |
|                  |                 | giu-00      | 6571             | 12                   | 40         | 50         |                 |                |
| mag-08           |                 | 5873        | 13               | 9                    | 12         |            |                 |                |

Tabella 11 incrementi di portata con le due simulazioni (scenario 1 scenario2) rispetto al valore al colmo simulato durante gli eventi primaverili

### 5.3 Eventi storici

Al fine di capire se e quanto le condizioni attuali di innevamento avrebbero influito sugli eventi storici tardo primaverili che hanno colpito il Piemonte, si è scelto di confrontare gli eventi più recenti sin qui analizzati, con quelli del giugno 1957 e del maggio 1977, sicuramente quelli che per zona di interesse e magnitudine dei fenomeni presentano maggiori analogie.

#### 5.3.1 L'evento del 12-15 giugno 1957

Dai dati pubblicati sugli "Annali Idrologici" e nel volume "Precipitazioni medie per il trentennio 1921-1950" del Servizio Idrografico dello Stato, si è visto che le precipitazioni totali registrate nelle stazioni dei bacini dell'arco alpino occidentale, dalla Dora Baltea all'alto Tanaro, le precipitazioni, nei cinque giorni dall'11 al 15 giugno, superarono di 2-4 volte i valori medi dell'intero mese di giugno. L'evento pluviometrico ebbe la fase culminante nei giorni 13 e 14, quando già il terreno era ad un elevato grado di imbibizione; il concomitante aumento della temperatura contribuì inoltre, sia pure in misura diversa da luogo a luogo, ad incrementare i deflussi, attraverso la fusione di coltri nevose ancora abbastanza estese.

I dati sul manto nevoso sono piuttosto scarsi: al 31 maggio, secondo le osservazioni dell'Ufficio Idrografico, si avevano 60 cm al Lago Goillet (q. 2.526) e 116 cm al Lago Gabiet (q. 2.340), entrambi nel bacino della Dora Baltea. Al Lago della Rossa (q. 2.716), nella Stura di Lanzo, a fine maggio permanevano 145 cm di neve.

In base a dati di alcune stazioni del Corpo forestale, una discreta copertura nevosa persisteva sopra i 2.000 metri, nella prima quindicina di giugno, anche nell'alta Val di Susa (Thures) e nelle Alpi Marittime.

Secondo caute valutazioni di ricercatori francesi (M. Pardé e A. Poggi), che studiarono il medesimo evento di piena nei vicini territori oltre confine, il contributo medio giornaliero in acqua per fusione della neve, nel periodo dal 12 al 15 giugno fu verosimilmente di circa 40 mm.

I maggiori danni si ebbero nei bacini montani delle province di Cuneo, Torino ed Aosta. Le valli più duramente colpite furono nell'ordine, quelle della Dora Riparia, Stura di Demonte, Maira, Varaita e Dora Baltea. I fenomeni di dissesto più frequenti furono le frane e l'erosione sulle sponde nell'alveo del corso d'acqua principale; non molte le case danneggiate o distrutte, ma innumerevoli i ponti, le passerelle, i tratti di strada demoliti.

I valori delle portate esprimono più fedelmente le dimensioni dell'evento, se si tiene conto che molti corsi d'acqua fecero registrare quantità di deflussi mai prima raggiunte.

### **5.3.2 L'evento del 18-20 maggio 1977**

L'evento idrometeorologico nel maggio 1977 colpì le valli pinerolesi, la valle del Po e la bassa Valle di Susa e determinò gravi fenomeni di esondazione ed erosione fluviale.

I contributi di piena risultarono ovunque elevati; un gruppo di tributari del torrente Pellice, il cui bacino è compreso tra 120 e 230 km<sup>2</sup>, diede portate specifiche comprese tra 2.6 e 5.8 m<sup>3</sup>/s km<sup>2</sup>.

Al ponte di Bibiana il colmo della piena del Pellice fu raggiunto verso le 20.30 con portata massima di 900 m<sup>3</sup>/s.

In alta Val Germanasca la massima piena si verificò tra le 18 e le 21, contemporaneamente allo scatenarsi dell'evento in Val Pellice; l'ondata di piena del Chisone raggiunse Perosa Argentina verso mezzanotte. Alla stazione idrometrografica di S. Martino la portata al colmo fu valutata in 700 m<sup>3</sup>/s.

La piena del Po a Martiniana toccò il suo culmine verso le 22 del 18 maggio, mentre al ponte di Casalgrasso il massimo della piena si raggiunse intorno alle 3 del giorno successivo. All'idrometro di Moncalieri il colmo fu registrato intorno alle 12 del 19 maggio, con una portata massima pari a 1660 m<sup>3</sup>/s. La rete idrografica fu interessata da processi di trasporto solido in massa lungo i tributari di ordine inferiore, mentre i corsi d'acqua principali furono colpiti da fenomeni di erosione. Vi furono numerose interruzioni alla viabilità, alcune dovute a erosione torrentizia del corpo stradale o ad alluvionamento torrentizio.

### **5.3.3 Confronto tra eventi storici e quelli simulati**

Il confronto tra gli eventi storici prima descritti e quelli più recenti in termini di precipitazione complessiva, mostra molta analogia tra quello di giugno 1957 e quello di maggio 2008, fatta eccezione per il bacino della Stura di Demonte in cui si registrano

quantitativi molto simili a giugno 1957 e giugno 2000 come riportato nella tabella seguente.

| ZONA             | STAZIONE - Comune | 11-15/6/1957 | 18-21/5/1977 | 10-13/6/2000 | 27-30/5/2008 |
|------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Dora Riparia     | Susa              | 244.0        | -            | 87.0         | 206.0        |
|                  | Salbertrand       | -            | 101.6        | 151.2        | 184.6        |
| Chisone          | Pragelato         | 211.0        | 194.8        | 250.8        | 213.0        |
| Maira            | Acceglio          | 186.0        |              | 204.0        | 165.0        |
| Stura di Demonte | Vinadio           | 242.0        | -            | 224.0        | 164.8        |

Tabella 12 Confronto della precipitazione [mm] con eventi passati

Anche il confronto delle portate al colmo registrate nel corso dell'evento, con i dati storici, mostra una similitudine dell' evento del giugno 1957 con quello del maggio 2008 soprattutto per quanto riguarda i bacini della Dora Baltea e della Stura di Demonte, mentre l'evento del maggio 1977 è confrontabile con quello del maggio 2008 sui bacini del Chisone e del Po

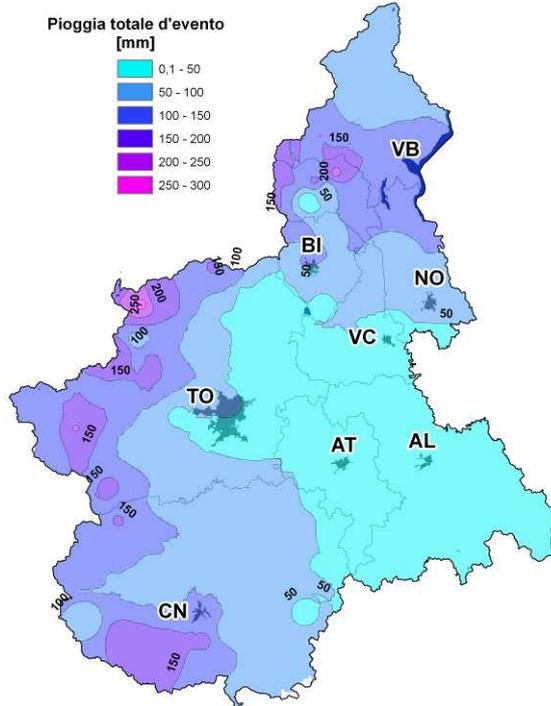
| Corso d'acqua    | STAZIONE                                 | 11-15/06/1957 | 18-21/05/1977 | 13-16/10/2000 | 27-30/05/2008 |
|------------------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Dora Baltea      | Tavagnasco Dora Baltea                   | 1310          |               | 3100          | 1100          |
| Orco             | Cuorgnè Orco                             | 620           |               | 1650          | 300           |
| Stura di Lanzo   | Lanzo Stura di Lanzo                     | 870           |               | 2000          | 600           |
| Dora Riparia     | Susa Dora Riparia                        |               |               | 500           | 250           |
| Chisone          | San Martino Chisone                      | 346           | 700           | 980           | 650           |
| Varaita          | Rossana Varaita                          | 350           |               | -             | 250           |
| Stura di Demonte | Gaiola Stura di Demonte                  | 440           |               | 80            | 400           |
| Po               | Torino Murazzi Po<br>Isola S. Antonio Po |               | 1660*         | 2350<br>10500 | 1200<br>5400  |

Tabella 13 Confronto delle portate al colmo[m<sup>3</sup>/s] con eventi passati

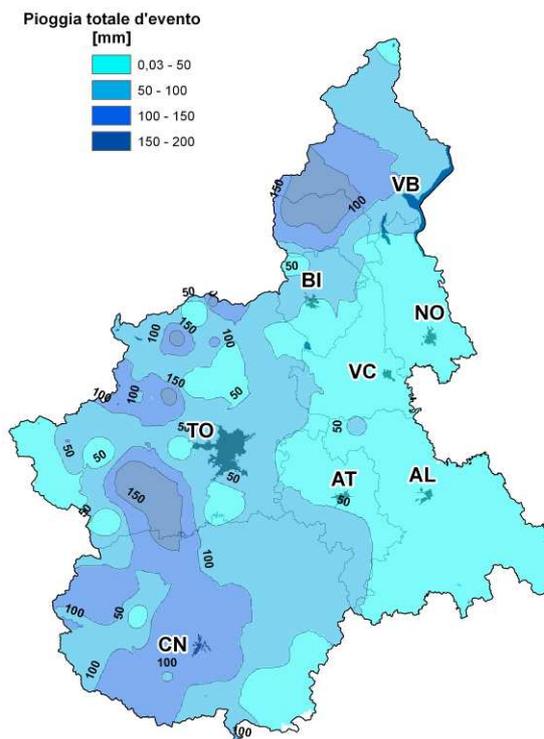
\* Idrometro di Moncalieri

Anche se la notevole differenza delle reti di monitoraggio non consente un immediato paragone dal punto di vista quantitativo, a titolo indicativo può essere interessante il confronto tra le mappe di precipitazione cumulata relative agli eventi del 1957 e 1977 e quelle degli eventi tardo primaverili degli ultimi anni:

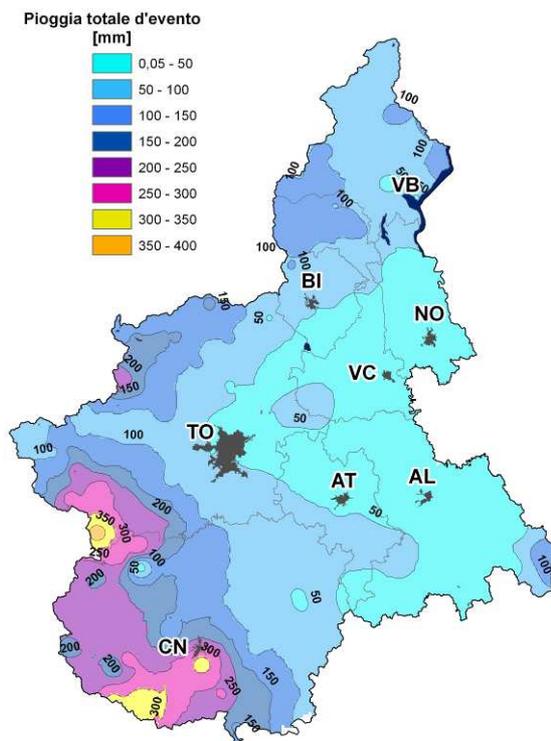
Evento alluvionale del giugno 1957



Evento alluvionale del maggio 1977



Evento alluvionale del giugno 2000



Evento alluvionale del maggio 2008

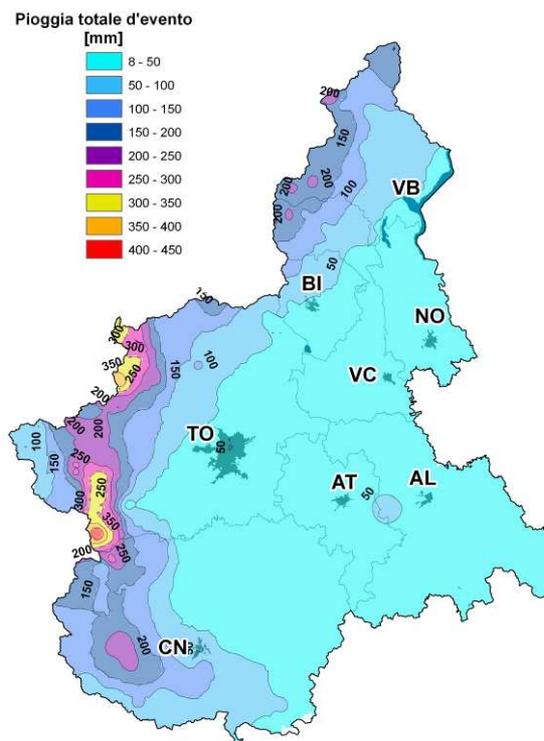


Figura 15 Precipitazione cumulata per evento pluviometrico sul territorio regionale

Le similitudini tra i due eventi storici e quelli più recenti di cui si è condotta l'analisi di scenario, lasciano molto verosimilmente credere che l'incremento di portata prodotto dalle condizioni attuali di innevamento e dai due scenari meteorologici considerati, possa ritenersi analogo anche per gli eventi del passato.

## 6 TRASPORTO IN MASSA

Comunemente alle medie quote alpine il manto nivale persiste al suolo durante il periodo compreso tra novembre e maggio, mentre è generalmente assente nel periodo estivo. Tuttavia, nei canali esposti in modo sfavorevole all'irradiazione solare diretta e situati alle testate di bacino prossime alle quote di confine con gli ambienti criotici, accumuli di neve anche significativi, solitamente di origine valanghiva, possono persistere per tutta l'estate.

Nel 2009, caratterizzato da nevicate particolarmente abbondanti e da scenari primaverili ed estivi con estensione del periodo con presenza di neve, situazioni analoghe a quelle sopra descritte possono estendersi anche ai bacini alpini con testate situate a quote più modeste.

La maggior abbondanza di neve implica di fatto un incremento nel numero di valanghe, sia in termini di ricorrenza che in termini di densità. Le valanghe favoriscono sostanzialmente in due modi l'innescò di debris flow: innanzitutto mobilizzano materiale, costituito da detriti rocciosi e da resti di vegetazione arborea, che in parte viene depositato lungo i canali principali del bacino (Figura 16); in secondo luogo nei canali formano anche accumuli di neve compattata che, come già noto in letteratura alpina (Bardou & Delaloye, 2004), potranno costituire una fonte idrica importante, soprattutto per l'improvviso rilascio di acqua in seguito alla rottura di tasche endonivali.



Figura 16 attività valanghiva a dicembre 2008 in val Grana (CN) in cui è evidente il materiale mobilizzato con il trasporto della massa nevosa

Recenti studi condotti su alcuni bacini dell'alta Valle di Susa (Bosco et al, 2007; Tiranti, 2008) hanno evidenziato come in presenza di lingue di neve da accumulo di valanga in alveo sia possibile assistere ad eventi di debris flow anche a fronte di piogge registrate poco significative. Come esempio viene qui riportato nelle sue linee essenziali il caso del debris flow verificatosi lungo l'asta del Rio Frejus il 6 agosto del 2004.

Alla testata del Rio Gautier, un sottobacino in destra idrografica del Rio Frejus, persiste per tutto il periodo estivo un accumulo di neve compatta da valanga che occupa il canale principale per una lunghezza di circa 500 m a partire da quota 2250 m s.l.m. L'accumulo di neve mostra chiaramente un'apertura frontale da dove fuoriescono piccole quantità d'acqua di fusione (Figura 17); inoltre la superficie della lingua di neve è ricoperta da detrito depositato da fenomeni di trasporto in alveo (debris flow e flussi iperconcentrati).

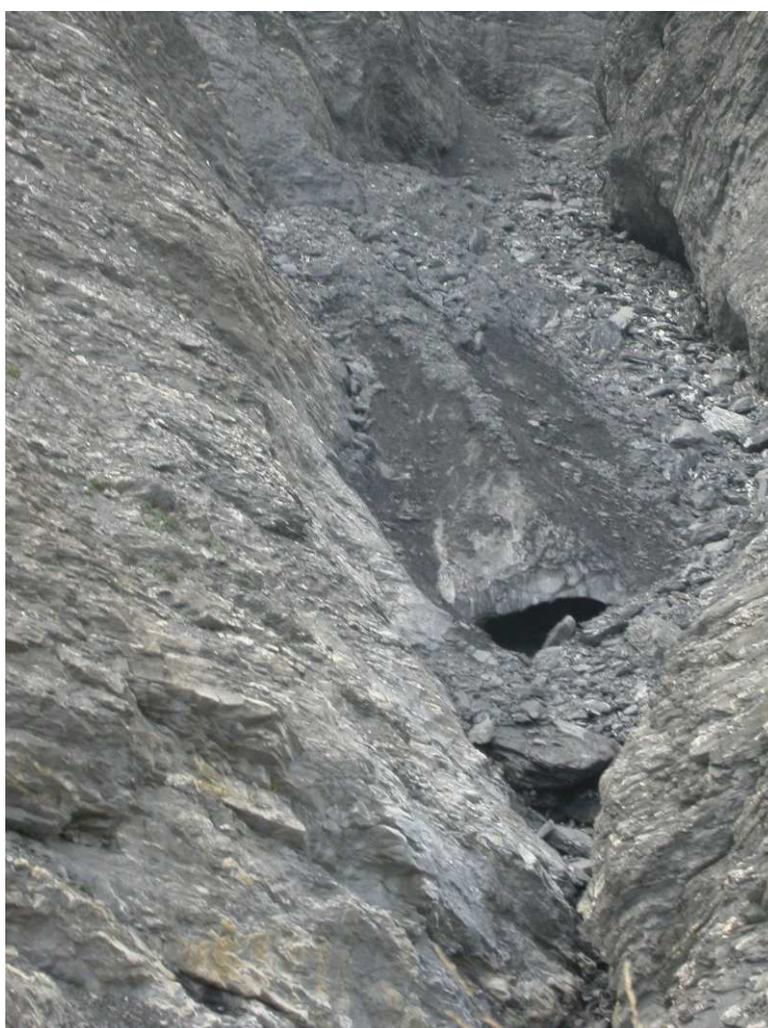


Figura 17 Un accumulo di valanga nel canale principale del Rio Gautier in cui è evidente lo sbocco frontale del canale sub- endonivale

Analizzando l'andamento delle temperature raggiunte in coincidenza degli inneschi storici di debris flow che nel periodo estivo hanno interessato il Rio Frejus innescandosi proprio nel sottobacino R. Gautier, si è notato che gli eventi accaduti nel periodo estivo (il 7 agosto del 1997 ed il 6 agosto 2004) sono stati caratterizzati da un periodo precedente l'innescio

in cui i valori di temperatura (massimi, medi e minimi) si sono tenuti abbondantemente sopra lo zero (Figura 18).

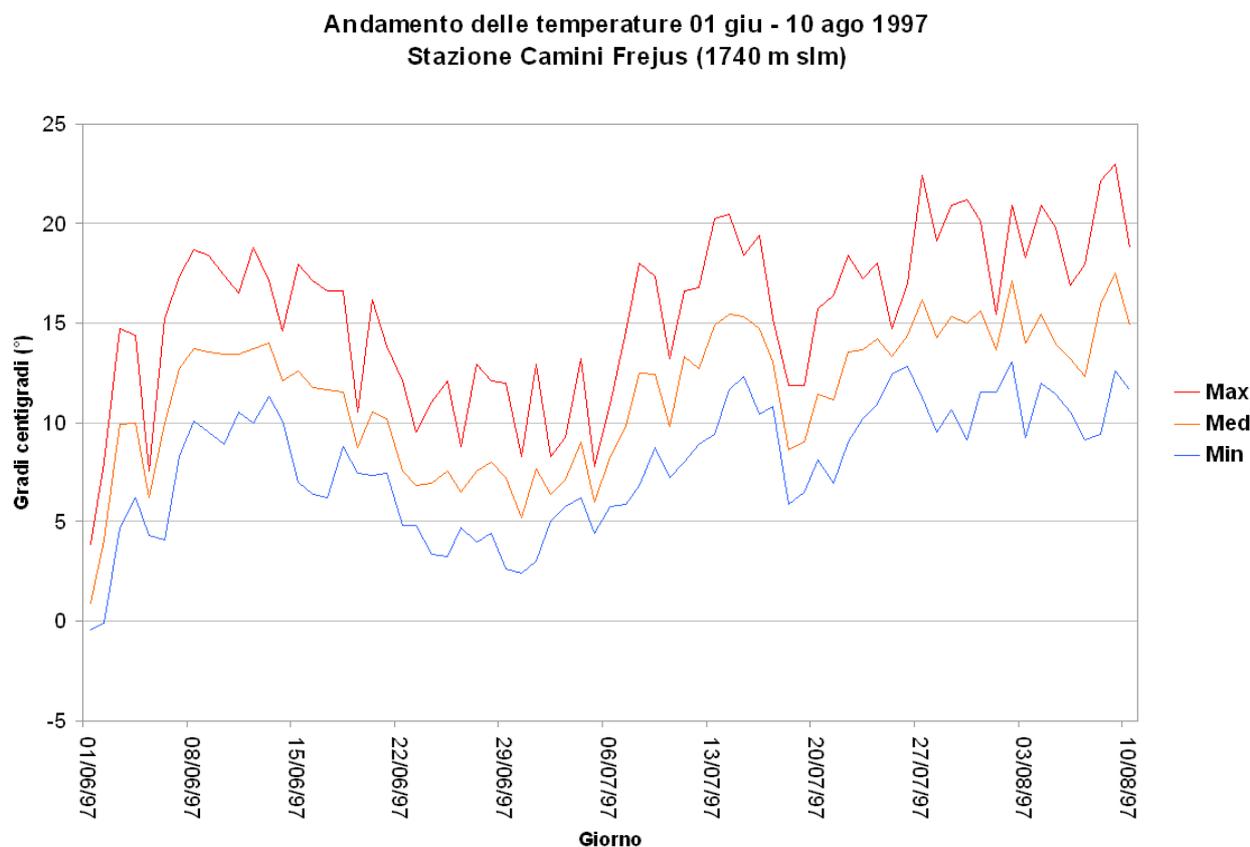


Figura 18 Andamento delle temperature, massime, medie e minime registrato dal termometro della stazione di Camini Frejus (Bardonecchia) nel periodo compreso tra il primo luglio ed il 10 agosto 1997.

Il perdurare di temperature elevate, soprattutto dal 6 luglio al 7 agosto nell'esempio di Figura 18, potrebbe aver causato un importante rilascio d'acqua da tasche endonivali per fusione delle pareti, analogamente a quanto succede per i fenomeni di glacier outburst in ambiente glaciale.

Casi analoghi a quello evidenziato per il Rio Frejus possono dunque verificarsi per qualunque bacino alpino, presente alle medie quote, in presenza di abbondanti accumuli di valanga persistenti nei canali principali e secondari.

Nonostante ciò, il principale ruolo predisponente è giocato dalla normale e graduale fusione del consistente manto nivale che uniformemente ricopre i versanti. L'acqua equivalente derivante dalla fusione del manto nivale satura il terreno favorendo così l'innescò di debris flow in due modalità che possono anche essere concomitanti:

giocando il ruolo di pioggia antecedente per quei fenomeni franosi di medie-grandi dimensioni che insistono sulle sponde dei canali principali e che, a fronte di precipitazioni primaverili-estive anche a carattere temporalesco, si possono attivare o riattivare accumulando, o facendo transitare, importanti quantità di materiale in alveo;

riducendo la permeabilità del terreno per saturazione favorendo di conseguenza il ruscellamento superficiale e quindi gli afflussi in alveo.

Un'attenzione particolare va sempre e comunque dedicata al contesto d'alta montagna. Infatti, in ambiente glaciale e periglaciale l'innescò dei debris flow può essere controllato da consistenti apporti idrici improvvisi, non dipendenti dalle precipitazioni piovose, spesso non prevedibili e di difficile quantificazione dovuti a fenomeni di glacier outburst, di glacial lake outburst flood (GLOF), di ice-dammed lake outburst (Post & Mayo, 1972), o comunque influenzato da particolari condizioni idrologiche legate al diffuso fenomeno del ground freezing. Per l'estate 2009 la probabilità di innescò di fenomeni di questo tipo, come più volte richiamato, è aumentata dalla particolare situazione di innevamento.

## 7 VALANGHE

All'inizio del mese di marzo il manto nevoso, grazie alle nevicate frequenti e abbondanti registrate in tutta la stagione invernale, è ancora molto consistente in tutti i settori alpini piemontesi.

Analizzando i profili stratigrafici eseguiti nel manto nevoso tra la fine di febbraio e l'inizio di marzo si evidenziano grafici abbastanza simili dal Nord Piemonte (A. Pennine e Lepontine), al centro (A. Cozie e Graie) fino al Sud della regione (A. Liguri e Marittime); a titolo di esempio, nella figura 19 è riportata una rappresentazione – tipo del manto nevoso a fine inverno '09.

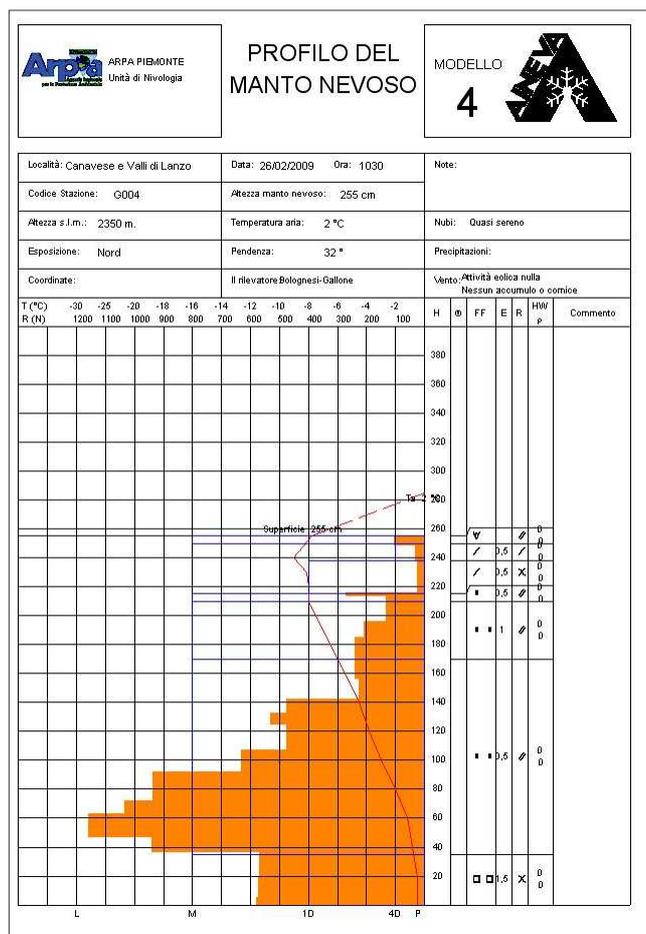


Figura 19 Stratigrafia-tipo del manto nevoso all'inizio del mese di marzo '09 nel settore occidentale dell'arco alpino piemontese.

Lo spessore della neve al suolo risulta considerevole, intorno ai 250 cm tra i 2300 e i 2500 m di quota. La maggior parte del manto è costituita da neve vecchia su cui poggiano strati di neve più recenti variabili dai 20 agli 80 cm di spessore.

Le ultime nevicate di febbraio e marzo, accompagnate da attività eolica, hanno determinato la formazione di strati superficiali costituiti da sottili croste da vento e da particelle di precipitazione parzialmente frammentate. Il manto sottostante è costituito da diversi strati che tuttavia, per tipologia di cristalli e durezza, possono essere schematicamente ricondotti a due livelli principali. Il primo, che occupa la parte centrale

del profilo, è di notevole spessore e con valori di durezza elevata, ed è formato nella parte più alta da cristalli fini e arrotondati che progressivamente tendono a forme miste e cristalli angolari verso la parte basale. Il secondo alla base del manto è di spessore ridotto, inferiore ai 40 cm, e presenta una bassa resistenza rilevata dalla prova penetrometrica. I cristalli che lo compongono hanno forme angolari a bassa coesione, raramente evolute fino alla formazione di cristalli a calice, in quanto l'elevato gradiente termico che origina il metamorfismo costruttivo non si è instaurato nella stagione in corso a causa dell'importante spessore della neve al suolo.

I profili esaminati possono essere ricondotti alla tipologia classificata in letteratura "a campana bassa", caratterizzata da resistenze in progressiva crescita verso il basso, ma con una drastica riduzione sul fondo.

La bassa resistenza degli strati di fondo è da attribuire non alla presenza di cristalli a calice, bensì ad una forte umidificazione che si è originata fin dalle prime nevicate di ottobre, avvenute precocemente su un terreno non ancora gelato.

Nella stagione in corso si sono verificati numerosi distacchi spontanei di valanghe di medie e di grandi dimensioni, sia nel periodo delle intense precipitazioni di dicembre, che nei mesi successivi; il meccanismo di distacco delle valanghe di fondo verificatesi è sicuramente da attribuire alla particolare stratificazione del manto nevoso sopra descritta.

Nell'imminente periodo primaverile uno scenario di pericolo di valanghe elevato può essere ipotizzabile sia in caso di marcato rialzo termico diurno che in caso di nuove abbondanti nevicate.

Nella prima ipotesi l'aumento delle temperature nelle ore diurne determina la fusione della neve, riducendo i legami tra i cristalli che rimangono separati da un film di acqua allo stato liquido. Ciò può causare valanghe di piccole e medie dimensioni di superficie se la fusione è limitata agli strati superficiali e centrali, di grandi dimensioni di fondo se la fusione raggiunge gli strati profondi.

Nella seconda ipotesi ulteriori apporti di neve fresca, nei prossimi mesi, potrebbero determinare nuovi estesi distacchi di valanghe che, scorrendo in canali già ingombri del deposito nevoso e dei detriti accumulati dalle valanghe precedenti, assumerebbero notevoli dimensioni e potrebbero scendere al di sotto del limite di innevamento, interrompendo la viabilità di fondovalle o interessando abitazioni, anche in aree non abitualmente raggiunte dalle valanghe.

## 8 CONCLUSIONI

Climaticamente il passaggio dal regime invernale stabile a quello primaverile più dinamico avviene con il mese di aprile: in tale periodo lo zero termico subisce un rapido innalzamento superando mediamente i 2.500 metri di altezza. Nell'Italia nord-occidentale aprile, maggio e giugno sono i mesi più piovosi ma anche i più variabili dal punto di vista spaziale.

Le indicazioni del Gruppo tecnico scientifico per le previsioni meteorologiche mensili e stagionali a scala nazionale del Dipartimento di Protezione Civile, sono di una maggiore probabilità di una primavera più piovosa della media climatologica. Solo nel mese di maggio si prevede un'anomalia negativa di precipitazione sul nord Italia.

In tale contesto la primavera 2009 sarà quella con la maggior copertura nevosa degli ultimi 10 anni che comporterà valori elevati e prolungati di disponibilità idrica immagazzinata sotto forma di neve (SWE) anche sotto forma di accumuli di valanghe rilevanti sia in termini di quantità di neve che di deposito detriti.

Conseguentemente dal punto di vista idrologico-idraulico nella primavera-estate 2009 si potranno osservare :

- livelli dei corsi d'acqua generalmente superiori alla media stagionale del periodo;
- riduzione dei tempi di risposta dei bacini alla formazione delle piene per la minor capacità di assorbimento dei suoli;
- incremento della portata al colmo che, per il reticolo idrografico principale è quantificabile nell'ordine del 10%;
- incremento generalizzato delle sezioni con superamento della soglia di moderata criticità con conseguente aumento della probabilità di fenomeni di limitate inondazioni con coinvolgimento delle aree prossime al corso d'acqua e locali fenomeni di erosione, danneggiamento all'attività agricola, interferenze con i cantieri di lavoro in alveo;
- incremento limitato dei superamenti dell'elevata criticità;
- livelli del Lago Maggiore mediamente un metro superiori alla media con aumento della probabilità di esondazione delle aree rivierasche.

Per quanto riguarda il rischio idrogeologico si individuano i seguenti scenari:

- incremento della probabilità di piene improvvise in piccoli bacini montani con situazioni di occlusione parziale o totale delle opere di attraversamento, danneggiamenti o asportazione dei ponti e delle opere di difesa e regimazione idraulica;
- incremento della probabilità dell'innescò di debris flow in conoide interessati dal passaggio di valanghe con estesi danni in corrispondenza degli sbocchi vallivi;
- incremento della probabilità che si verifichino valanghe primaverili di fondo di medie e grandi dimensioni, con possibili danni legati al raggiungimento di aree anche al di sotto del limite d'innnevamento.

In relazione all'andamento previsto per la primavera ed estate prossima si ritiene opportuna l'adozione di specifiche misure di rafforzamento delle azioni preventive ed in particolare:

- controllo visivo dello stato dei canali di valanga e del loro stato di riempimento;
- verifica dell'efficienza delle opere di difesa e di sistemazione realizzate;
- rimozione della vegetazione abbattuta dalle valanghe laddove già possibile compatibilmente con la fusione del manto nevoso;
- verifica della capacità di deflussi dei corsi d'acqua e dove necessario intervenire con pulizia degli alvei ed in particolare rimuovere gli ostacoli vegetali e detritici che possono determinare l'ostruzione degli attraversamenti;
- potenziamento delle attività di monitoraggio nivometeorologico locale (verifica dei quantitativi di neve fresca, presenza di accumuli da vento nelle zone di distacco, umidificazione del manto nevoso, controllo dell'attività valanghiva);
- analisi della stabilità del manto nevoso (effettuazione e interpretazione dei profili e dei test di stabilità) da parte delle Commissioni Locali Valanghe per un'identificazione preventiva delle condizioni predisponenti il distacco di grandi valanghe;
- rafforzamento nella primavera del presidio territoriale per il monitoraggio dei corsi d'acqua già a partire da situazioni di "ordinaria criticità" previste con il bollettino di allerta;
- rafforzamento nell'estate dello stato di attenzione nei riguardi della formazione delle piene improvvise nei piccoli bacini montani e nei conoidi a rischio di debris flow in seguito alla segnalazione di avvisi per temporali forti.

Per quanto riguarda le misure preventive correlate ai fenomeni di scivolamento planare nell'area delle Langhe piemontesi si rimanda alle raccomandazioni contenute nel documento "Considerazioni circa la possibilità di fenomeni franosi nell'area delle Langhe Piemontesi nel tardo inverno e nella primavera 2009" del 12/2/2009 scaricabile al seguente indirizzo:

[http://www.arpa.piemonte.it/upload/dl/Rischi\\_naturali/relazione\\_frane\\_langhe\\_2009.pdf](http://www.arpa.piemonte.it/upload/dl/Rischi_naturali/relazione_frane_langhe_2009.pdf)

## Riferimenti

Bardou E & Delaloye R (2004) Effects of ground freezing and snow avalanche deposits on debris flows in alpine environments. *Natural Hazards and Earth System Sciences* (2004) 4: 519–530.

Barbero, S., Rabuffetti, D., Wilson, G., Buffo, M.(2001). Development of a Physically-Based Flood Forecasting System: “MIKE FloodWatch” in the Piemonte Region, Italy, *proc. 4th DHI Software Conference*, Helsingør, Denmark.

Bosco F, Gandini D, Giudici I, Marco F, Paro L, Tararbra M, Tiranti D (2007) The mass movement of the Rio Frejus (Bardonecchia, NW Italian Alps) on August 6th, 2004 - From: Campus, Barbero, Bovo & Forlati (Eds) *Evaluation and prevention of natural risks*. Taylor and Francis Group NL/Balkema, 470, 409-447.

Mancini, M. La modellazione distribuita della risposta idrologica: effetti della variabilità spaziale e della scala di rappresentazione del fenomeno dell'assorbimento, Ph. D. dissertation, Politecnico di Milano, Milan, Italy (in italian), 1990.

Post A & Mayo LR (1972) *Glacier Dammed Lakes and Outburst Floods in Alaska*. Anchorage, Alaska U.S. - Geological Survey, Denver CO.

Tiranti D (2008) Cause di innesco, evoluzione e processi sedimentari dei sediment gravity flow nelle Alpi Occidentali italiane - Tesi di Dottorato di Ricerca, Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra, Torino, pp. 100.

Rapporto preliminare sull'evento alluvionale del 28-30 maggio 2008 a cura di SC05 *Area delle attività regionali in materia di previsione e monitoraggio ambientale*- Torino 4 Giugno 2008

Gli eventi meteorici della Primavera 2000 nel Piemonte a cura del Settore Meteoidrografico e Reti di Monitoraggio della Direzione Servizi Tecnici di Prevenzione della Regione Piemonte Torino 17 Maggio 2000

Salandin, A., Rabuffetti, D., Barbero, S., Cordola, M., Volontè, G. and Mancini, M. Il lago effimero sul ghiacciaio del Belvedere: monitoraggio e simulazione numerica del fenomeno finalizzata alla previsione e gestione dell'emergenza, 2004, *Neve e Valanghe* 51, 58-65.

## **9 ALLEGATO 1 - DESCRIZIONE DELLA MODELLISTICA UTILIZZATA**

## IL MODELLO FEST

Il modello utilizzato per la stima della formazione della piena e della propagazione dell'onda di piena nel reticolo idrografico è il FEST (Mancini et al.), messo a punto presso il Politecnico di Milano, è costituito da una serie di moduli che simulano le varie componenti del ciclo idrologico. La sua prerogativa è quella di lavorare su base GIS secondo uno schema distribuito che permette di considerare la variabilità spazio temporale dei processi idrologici quali quello dell'evaporazione, della precipitazione, dell'infiltrazione, della fusione nivale e della propagazione lungo la rete di drenaggio superficiale e sotterranea. Il modello risolve il sistema di equazioni del bilancio di massa e del bilancio di energia e permette di lavorare in continuo simulando i diversi processi idrologici.

Nel presente studio, è stato utilizzato in particolare il modulo 'neve', sviluppato per la simulazione del bilancio idrologico nei bacini idrografici di alta montagna. Tale modulo consente di analizzare il ciclo annuale di accumulo e fusione del manto nevoso in termini idrologici con l'ipotesi semplificativa dei fenomeni meccanici (compressione, trasporto eolico). L'utilizzo di un modello di tipo distribuito tiene conto della variabilità spazio-temporale delle forzanti meteorologiche

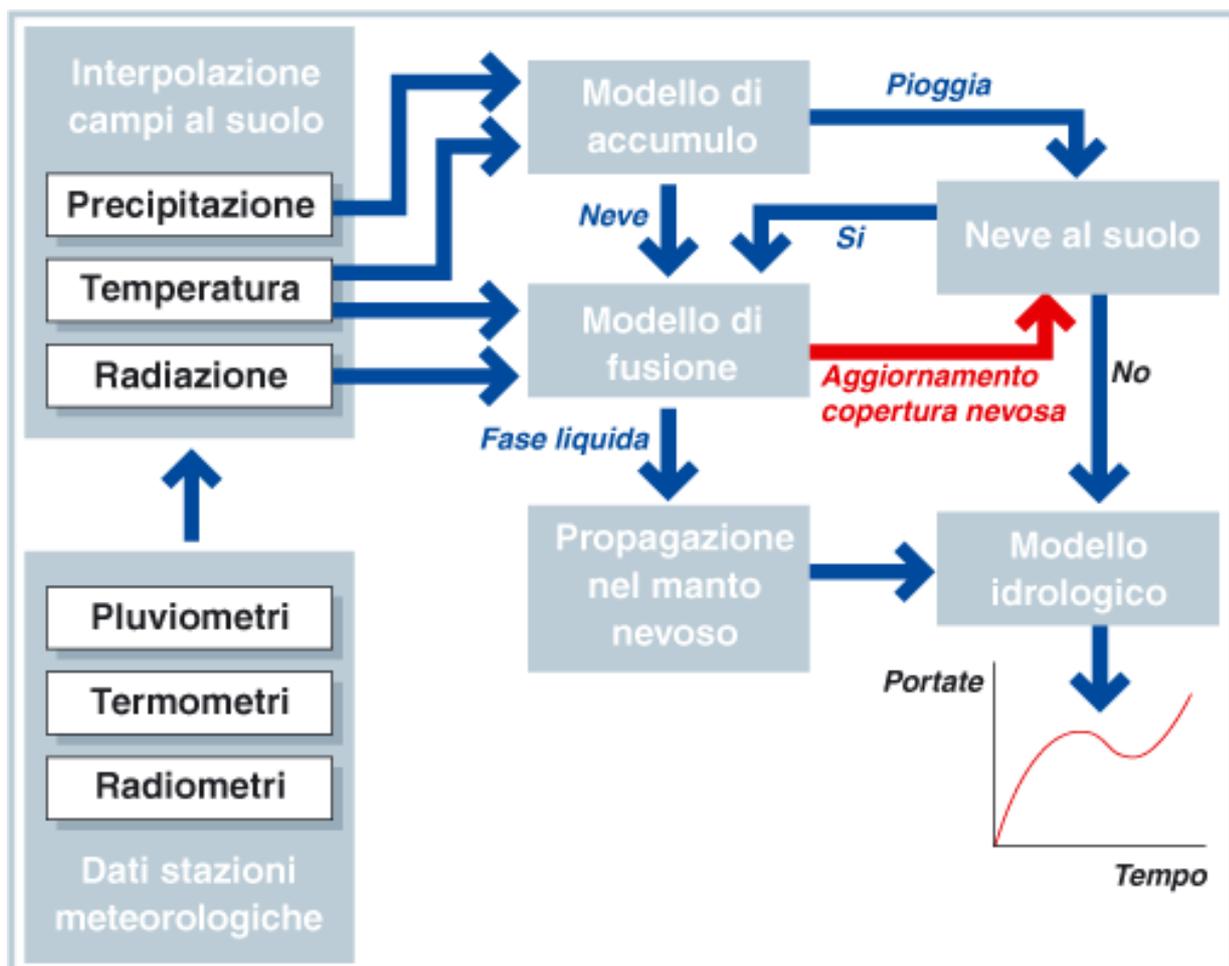


Figura 20 Schema semplificato del modello utilizzato

### Il modello di accumulo

L'accumulo della neve è regolato dalla temperatura atmosferica al suolo. La precipitazione meteorica totale (P) viene quindi suddivisa in componenti liquida (P<sub>L</sub>) e solida (P<sub>S</sub>) secondo un coefficiente (eq. 1)

$$\begin{cases} P_L = \alpha P \\ P_S = (1 - \alpha) P \end{cases} \quad (1)$$

Il valore di questo coefficiente varia (eq.2) in funzione della temperatura atmosferica al suolo e delle temperature di soglia minima e massima, che definiscono l'intervallo in cui si ha pioggia mista a neve.

$$\begin{cases} \alpha = 0 & \Leftrightarrow T_a \leq T_{\text{inf}} \\ \alpha = \frac{T_a - T_{\text{inf}}}{T_{\text{sup}} - T_{\text{inf}}} & \Leftrightarrow T_{\text{inf}} < T_a < T_{\text{sup}} \\ \alpha = 1 & \Leftrightarrow T_a > T_{\text{sup}} \end{cases} \quad (2)$$

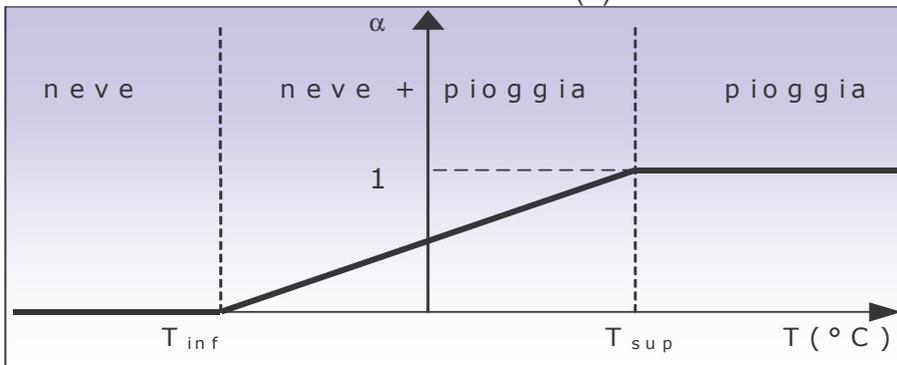


Figura 21 Percentuale di precipitazione liquida in funzione della temperatura atmosferica al suolo

### Il modello di fusione

La fusione del manto nevoso è determinata dal bilancio energetico tra flussi entranti ed uscenti nel e dal manto nevoso determinati sostanzialmente dalla temperatura atmosferica, dall'irraggiamento solare e dai flussi convettivi. Una semplificazione spesso adottata è quella di considerare un indice sintetico del bilancio energetico, noto come 'gradi-giorno', per valutare l'apporto energetico al manto nevoso utile per provocarne la fusione.

In tale modello, qui utilizzato nel FEST, il tasso di fusione è proporzionale alla temperatura dell'aria (T<sub>a</sub>) ed a un coefficiente C<sub>m</sub> di fusione.

$$M_s = C_m (T_a - T_b) \quad (2)$$

dove T<sub>b</sub> e T<sub>a</sub> sono rispettivamente la temperatura base (di solito 0°C) e la temperatura dell'aria.

In questa applicazione il valore del coefficiente C<sub>m</sub> è assunto costante durante l'intera giornata e l'intera simulazione ( 7.0\*10<sup>-8</sup> m °C<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup> ).

## MODELLO DI PREVISIONE DELLE PIENE FLOOD WATCH

La modellistica utilizzata per analizzare gli scenari di piena probabili è quella operativa utilizzata presso il centro funzionale regionale; si tratta di modelli deterministici e fisicamente basati che, ricevendo in input i dati osservati e registrati della rete meteo pluviometrica regionale, simulano il processo di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi per i sottobacini idrografici e lo scorrimento delle acque negli alvei fluviali e nelle aree di esondazioni ed i processi di composizione e traslazione delle onde di piena.

Il sistema è costituito da tre moduli del codice MIKE 11, del Danish Hydraulic Institute:

il modulo idrologico RR (Rainfall-Runoff) che simula il processo di trasformazione afflussi-deflussi sui sottobacini idrografici;

il modulo idrodinamico HD (Hydrodynamics) che simula lo scorrimento delle acque negli alvei fluviali e nelle aree di esondazione;

il modulo di previsione di piena FF (Flood Forecast) che consente di correggere e riaggiornare le previsioni del modello sulla base del confronto tra i dati misurati e calcolati

In particolare, nelle simulazioni condotte per il presente lavoro, si sono considerati i soli moduli RR e HD; il modulo RR è costituito dal modello idrologico NAM "a serbatoi". Il flusso dell'acqua sul singolo sottobacino è simulato per mezzo dei processi di riempimento e svuotamento di quattro serbatoi in serie che rappresentano rispettivamente:

i processi di formazione e fusione della neve, in funzione dell'altitudine e della temperatura;

l'invaso temporaneo di parte dell'acqua piovana sulla superficie del bacino;

l'imbibizione dello strato superficiale del terreno, il cui stato regola la formazione del deflusso superficiale (coefficiente di deflusso variabile nel tempo);

la raccolta ed il rilascio nel sistema delle falde sotterranee dell'acqua che percola nel terreno.

Il territorio regionale piemontese ed i territori limitrofi idrologicamente appartenenti al bacino del Po chiuso al confine regionale sono stati suddivisi complessivamente in 187 sottobacini idrografici appositamente definiti, su ognuno dei quali è stato impostato un modello di trasformazione afflussi-deflussi. La rete idrografica copre i principali corsi d'acqua del bacino padano, dal loro sbocco in pianura fino alla confluenza in Po, per un totale di circa 3000 km di aste simulate.

Le forzanti meteorologiche utilizzate sono pioggia e temperatura. L'aggregazione sui bacini idrografici dei dati di precipitazione, avviene tramite interpolazione spaziale su griglia di calcolo di 2 km del dato climatico puntuale attraverso il metodo della proporzione inversa al quadrato della distanza; La superficie di pioggia è integrata su ogni sottobacino così da fornire al bacino una piovosità media oraria

Anche il dato puntuale di temperatura viene aggregato sui sottobacini a creare superfici di temperatura oraria riportate a 1000 m. SLM con un tasso di raffreddamento per un aumento di altitudine (tasso di riscaldamento per la sua diminuzione).

A causa della natura alpina di gran parte del bacino, è stato ritenuto necessario applicare la routine-neve del modulo NAM. Sfruttando i dati di temperatura e di precipitazione come input, il modulo di scioglimento-neve simula la ricezione e lo scioglimento della neve (e i processi associati). Tutti i sottobacini sono stati suddivisi in 6 zone di altitudine di deposito/scioglimento neve. In questo modo, il deposito e lo scioglimento della neve nell'intero anno possono essere rappresentati in maniera corretta.

## RR – Rainfall-Runoff

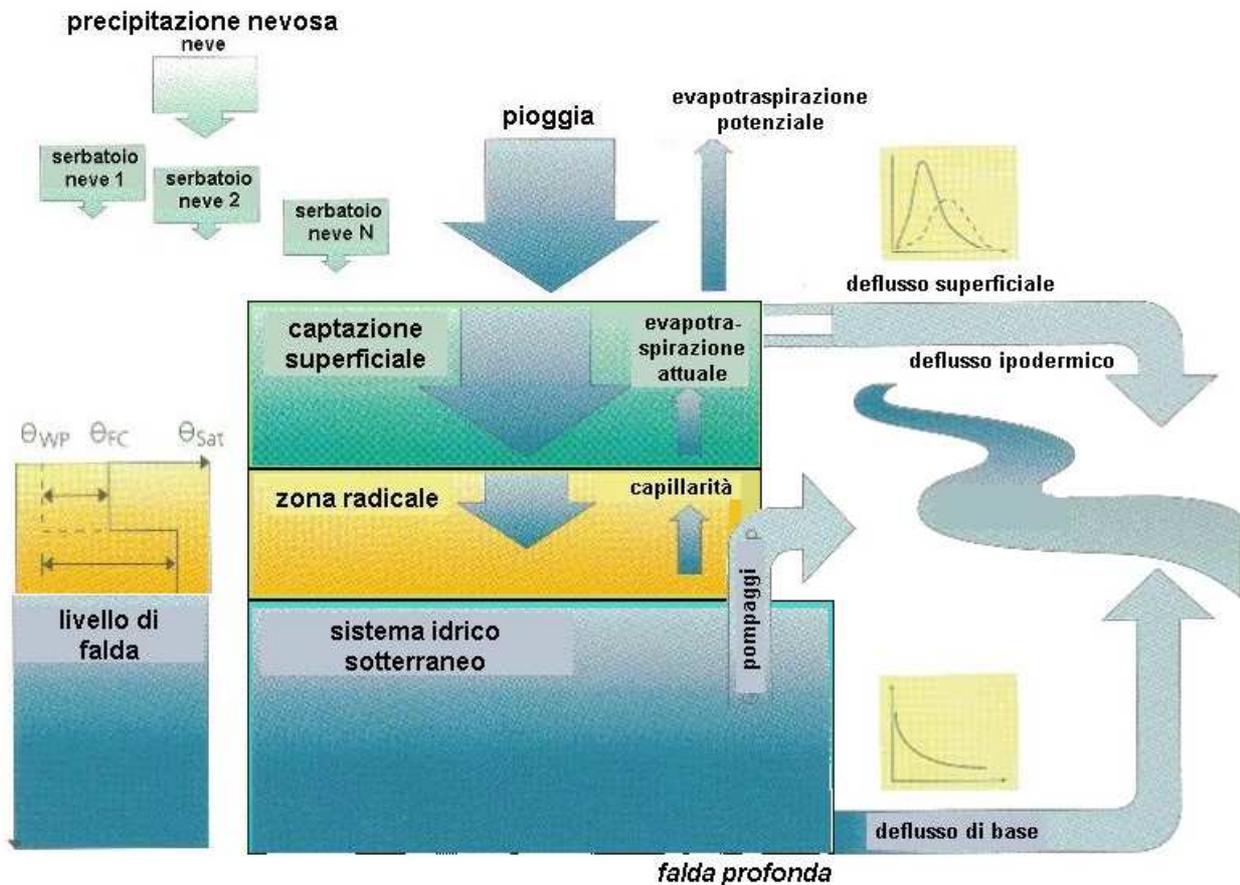


Figura 22 Schema del modulo afflussi-deflussi del modello Mike11.

Lungo la rete idrografica il moto dell'acqua ed i processi di composizione e traslazione delle onde di piena sono simulate dal modulo HD, che implementa le note equazioni di de St. Venant del moto non stazionario in sistemi idrici a pelo libero. I tratti della rete idrografica oggetto di simulazione sono rappresentati per mezzo di sezioni trasversali. Il modello HD riceve, compone e trasla i contributi di deflusso che derivano dai sottobacini idrologici calcolando e prevedendo l'andamento dell'onda di piena verso valle, in termini di variazioni nel tempo e nello spazio del livello idrometrico e della portata.

## HD – Hydrodynamic module

### DE ST. VENANT Equations

$$\frac{\partial(\rho Hb)}{\partial t} = -\frac{\partial(\rho Hb\bar{u})}{\partial x}$$

$$\frac{\partial(\rho Hb\bar{u})}{\partial t} = -\frac{\partial\left(\alpha'\rho Hb\bar{u}^2 + \frac{1}{2}\rho gbH^2\right)}{\partial x}$$

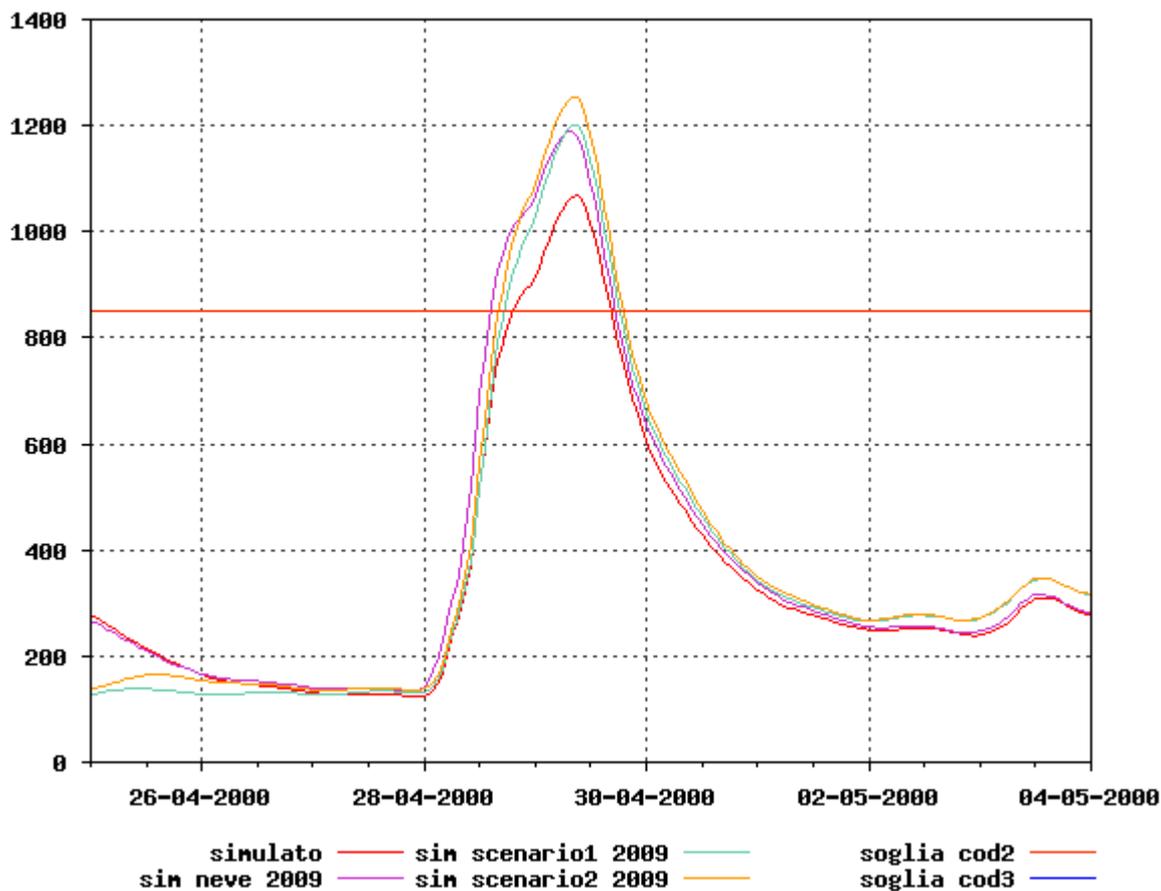
$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial\left(\alpha\frac{Q^2}{A}\right)}{\partial x} + gA\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2AR} = 0$$

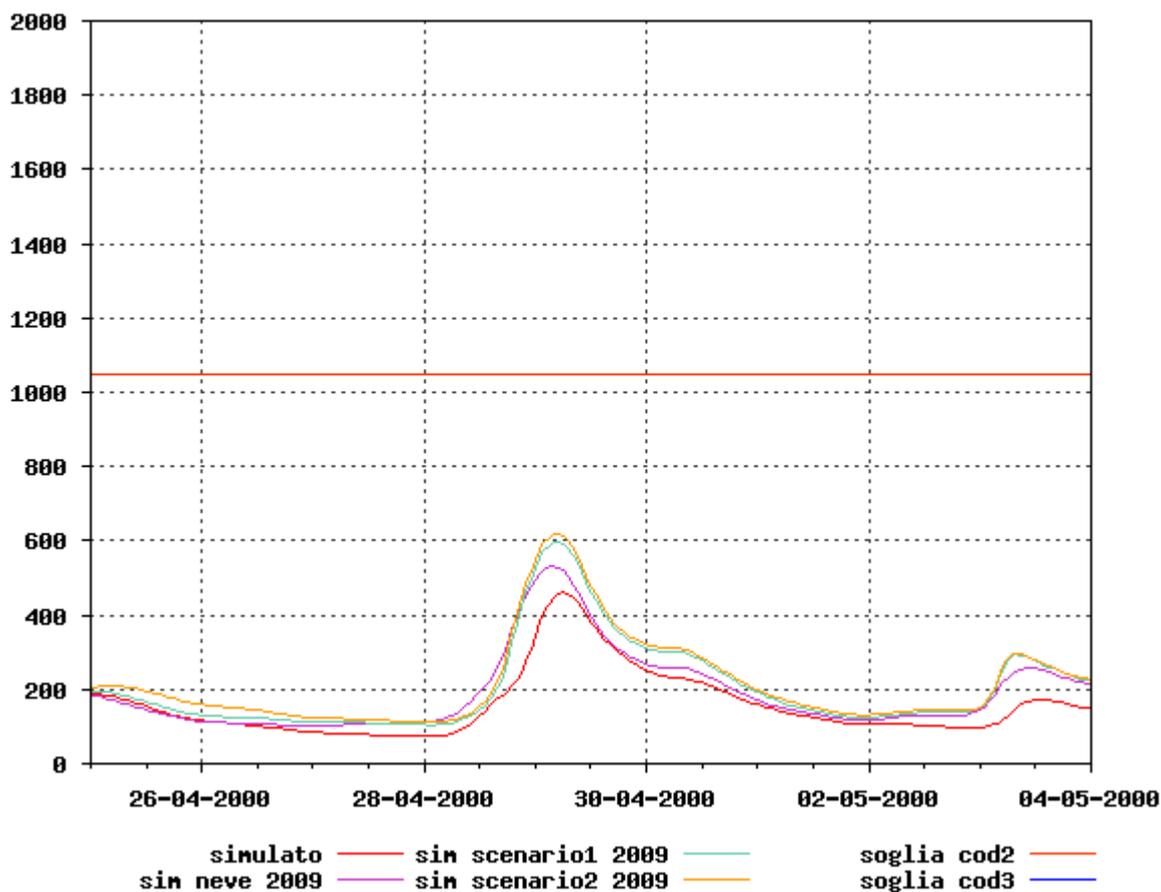
Figura 23 Schema del modulo idrodinamico del modello Mike11.

# 10 ALLEGATO 2 – IDROGRAMMI DELLE PIENE PIÙ RAPPRESENTATIVE

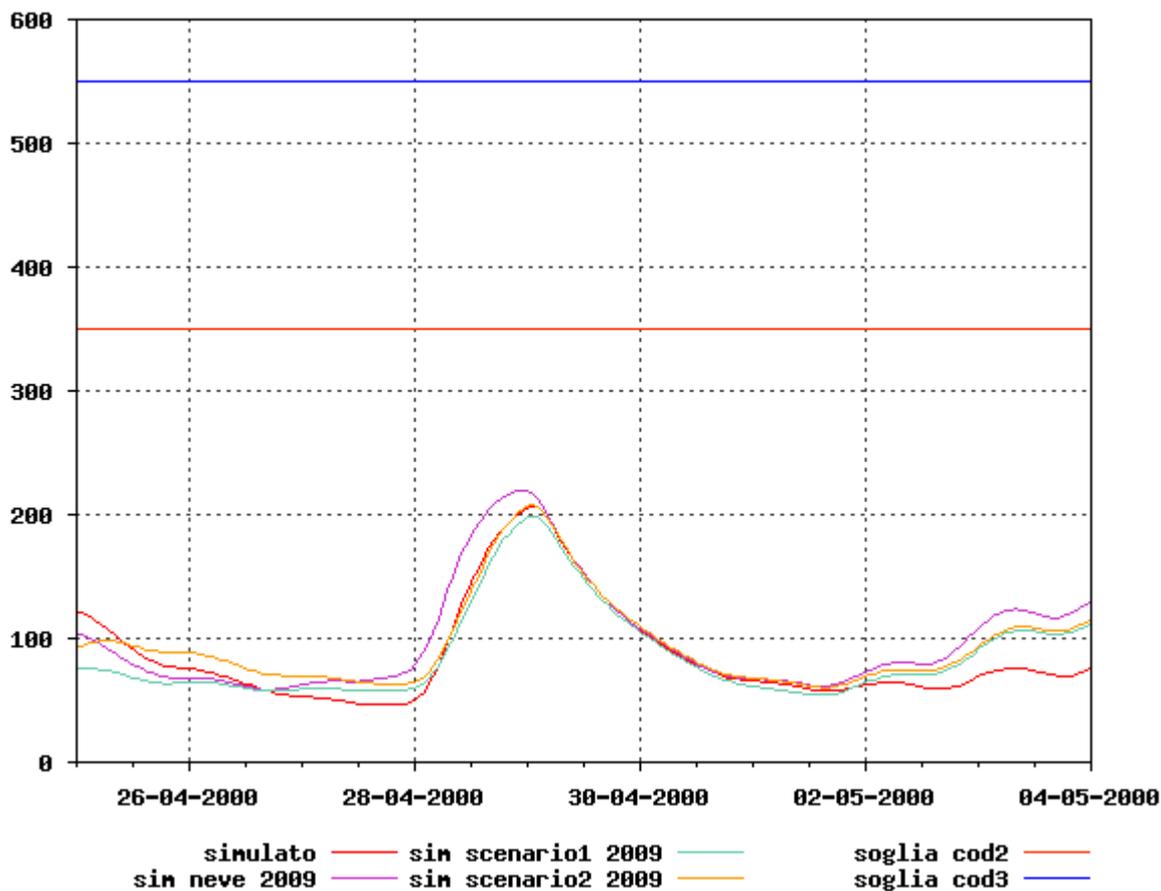
PO A TORINO MURAZZI



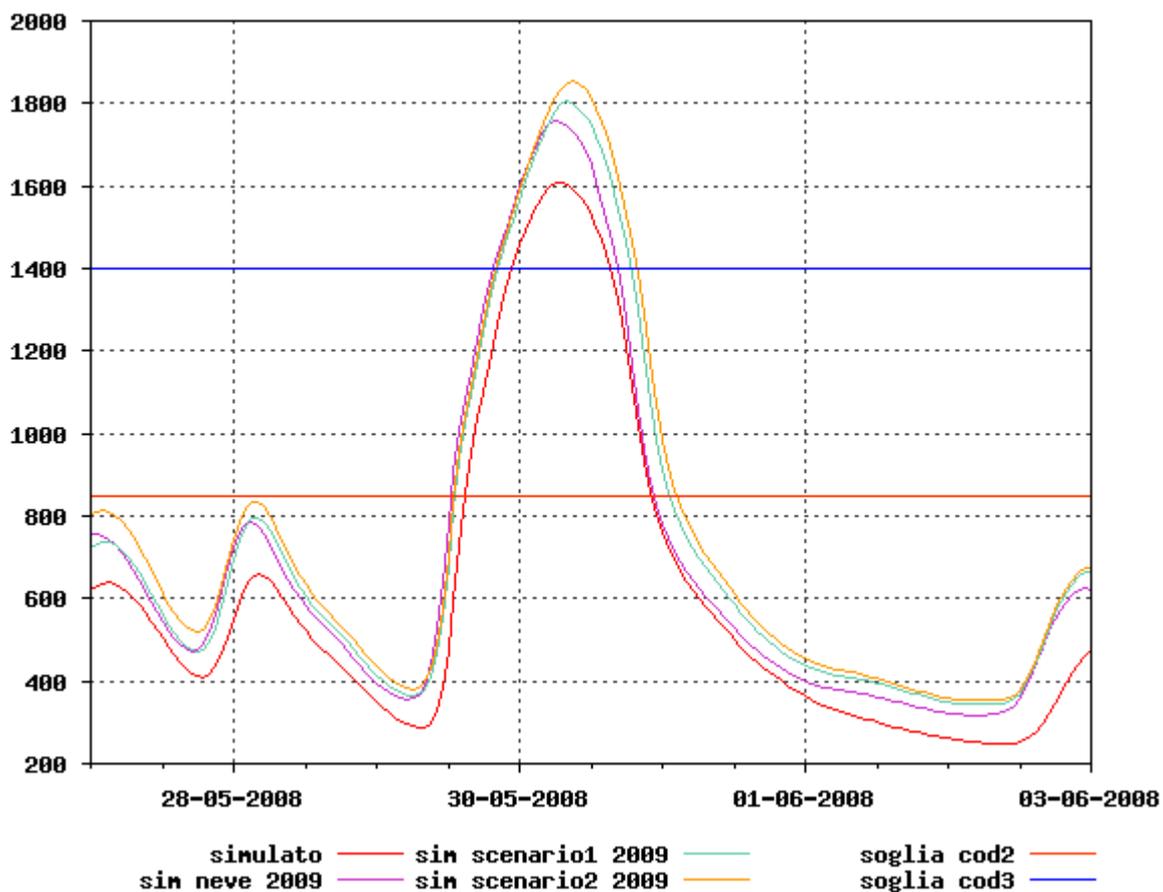
TANARO AD ALBA



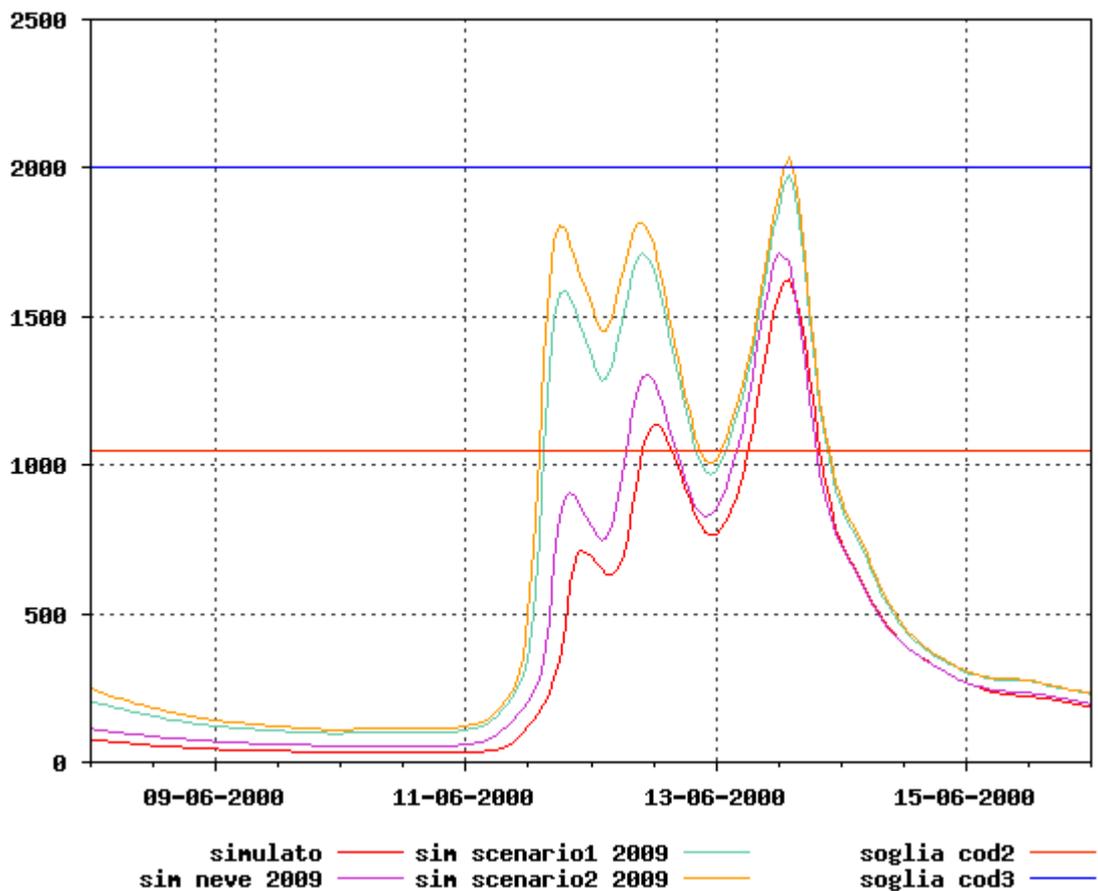
STURA DI DEMONTE A FOSSANO



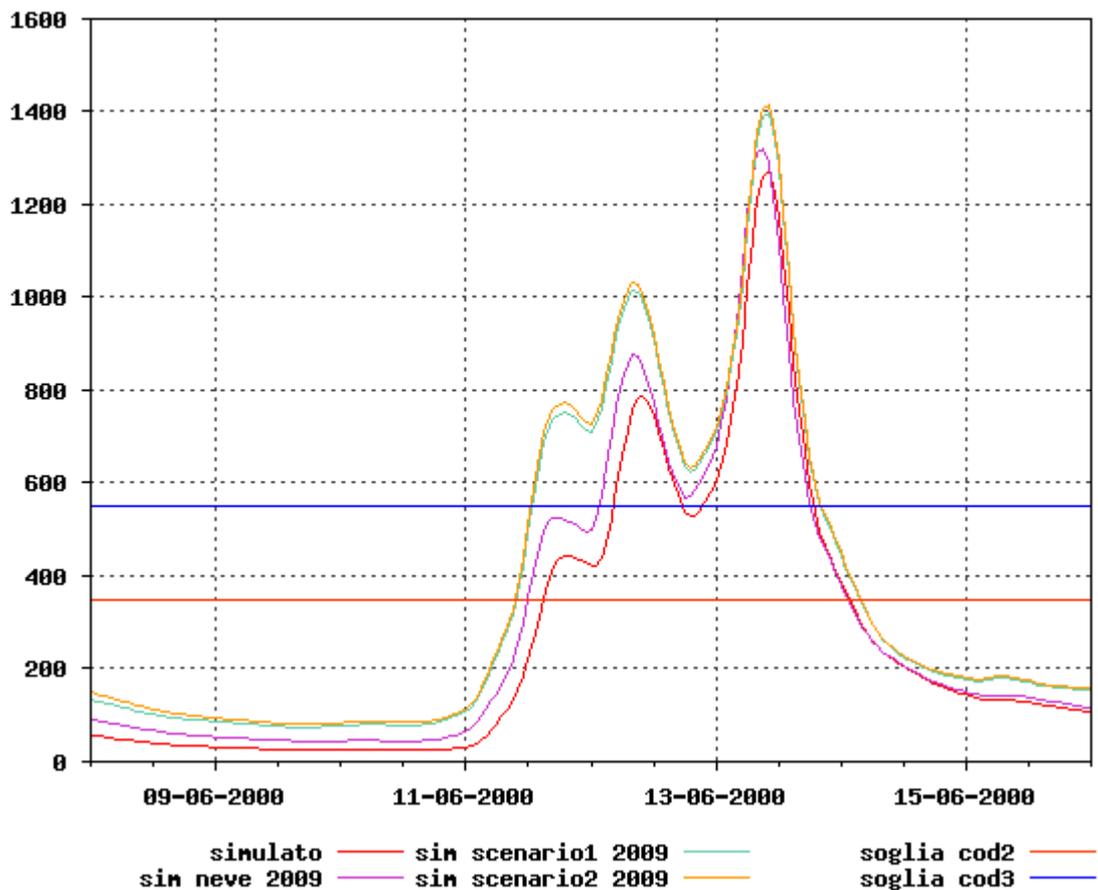
PO A TORINO MURAZZI



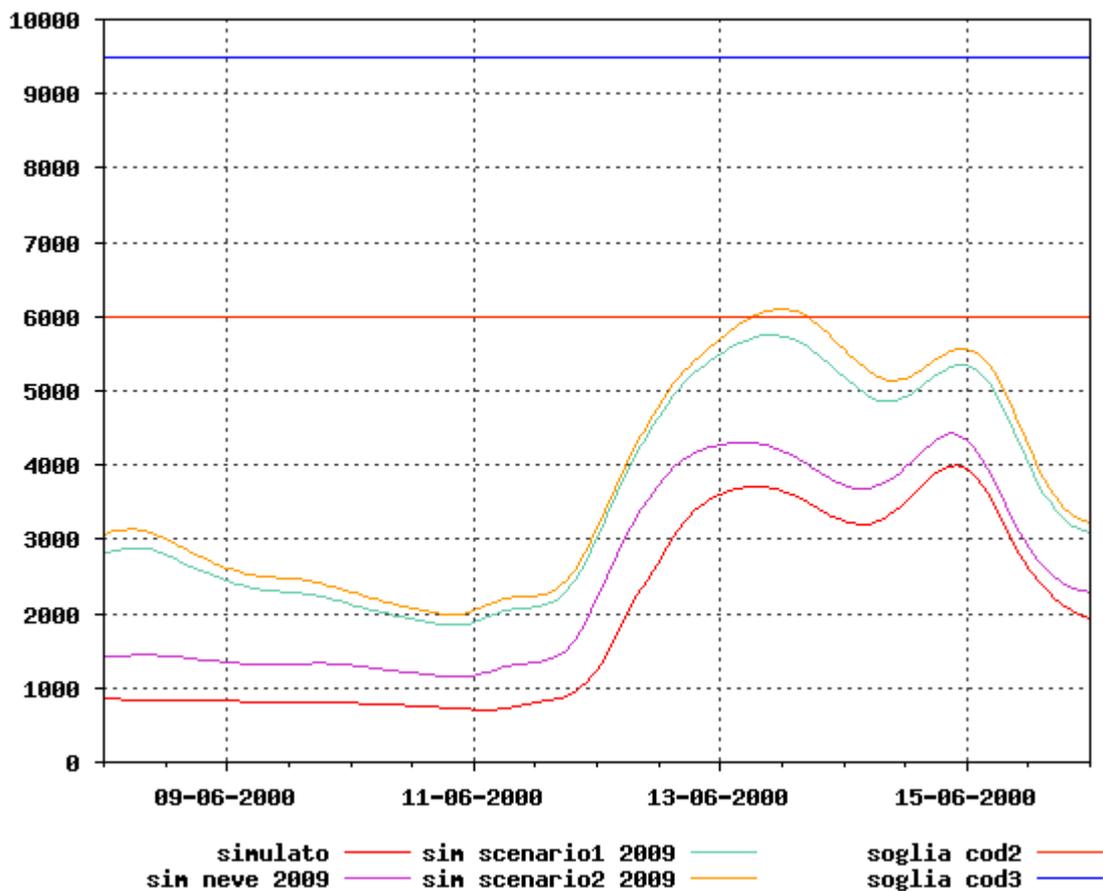
TANARO AD ALBA



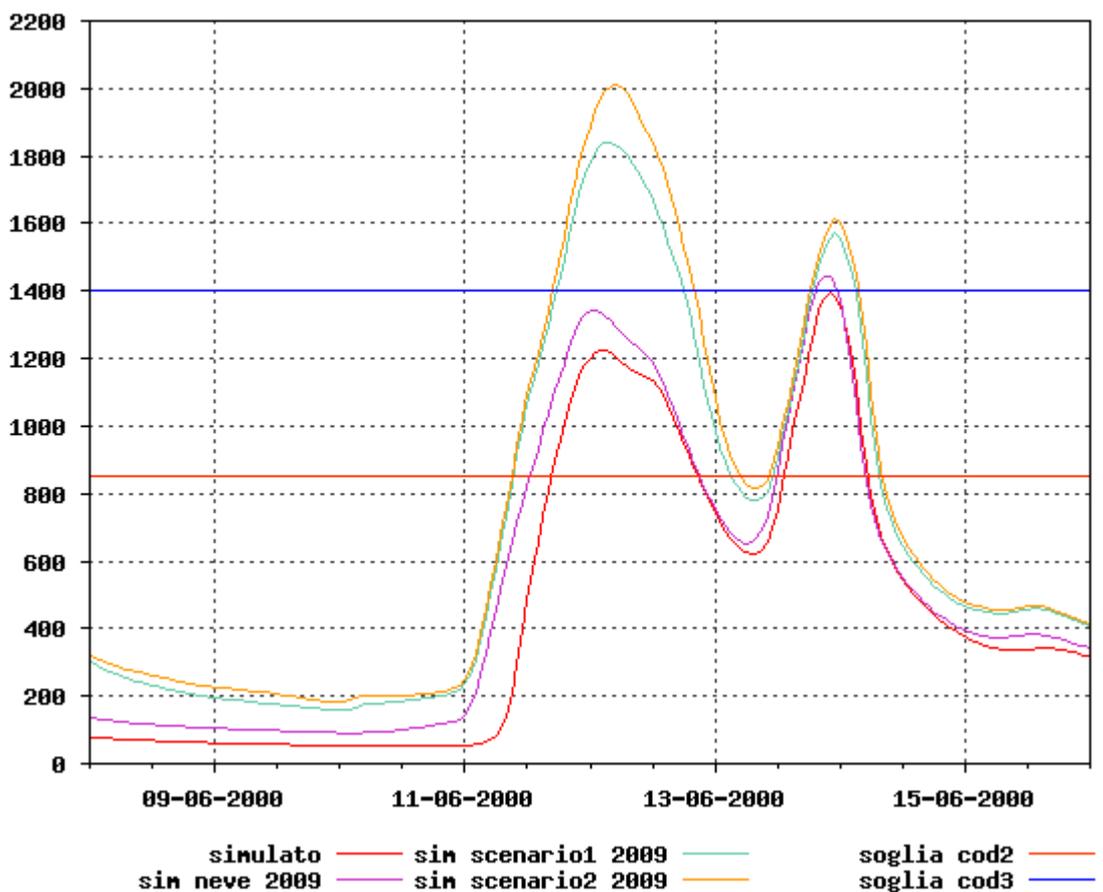
STURA DI DEMONTE A FOSSANO



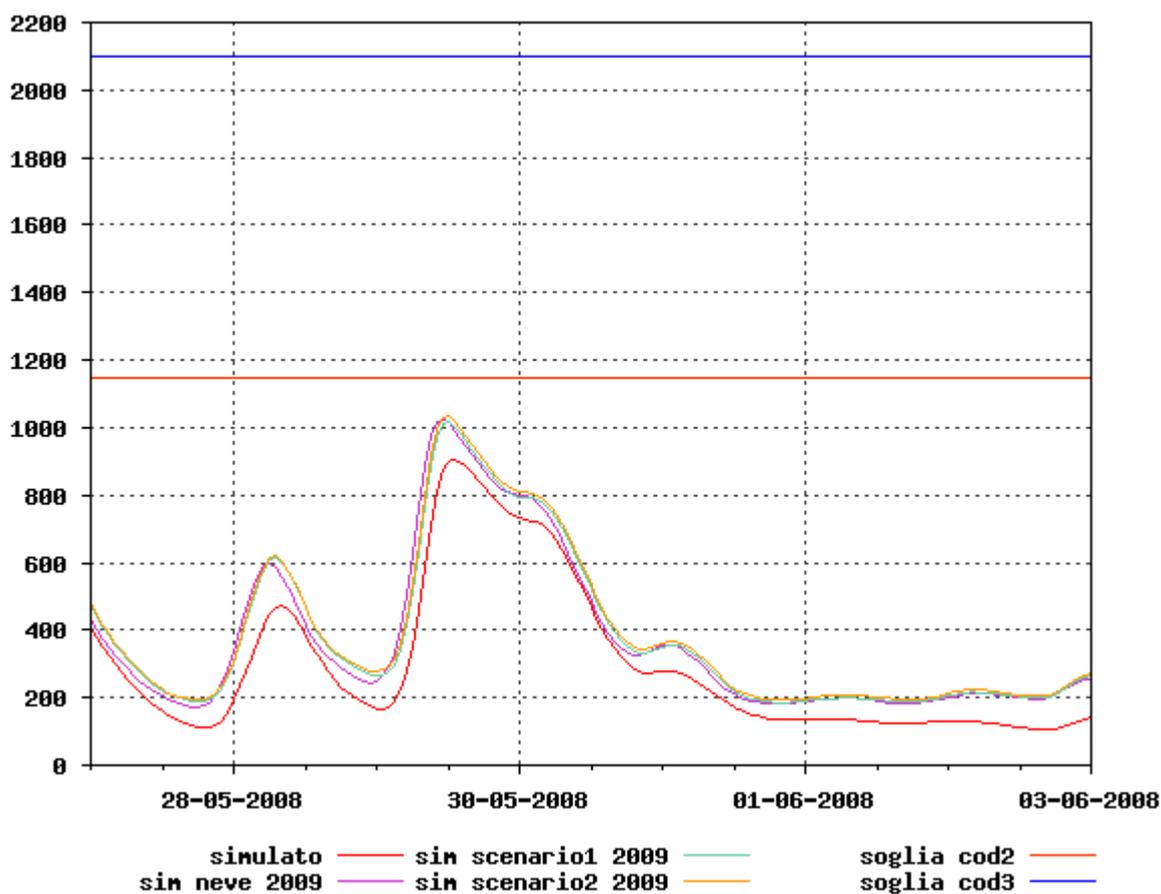
PO A PONTE BECCA.



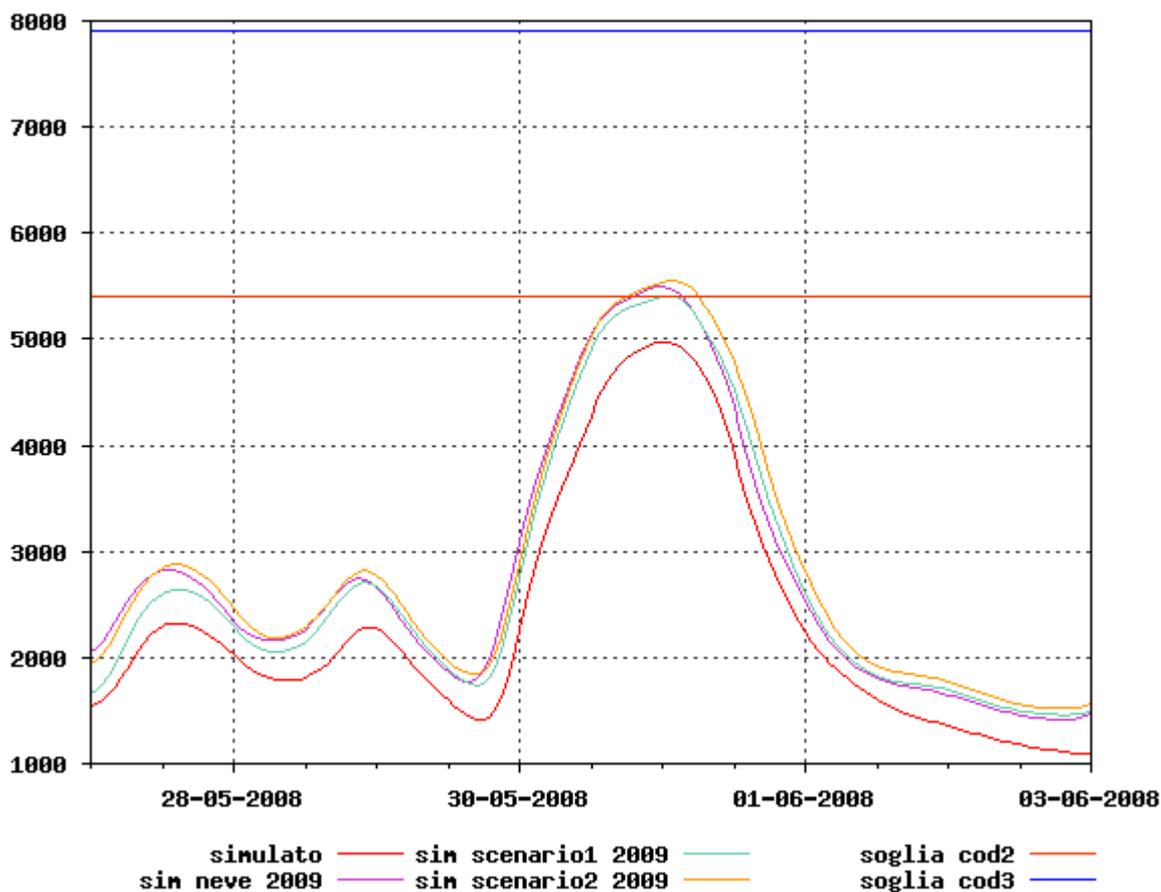
PO A TORINO MURAZZI



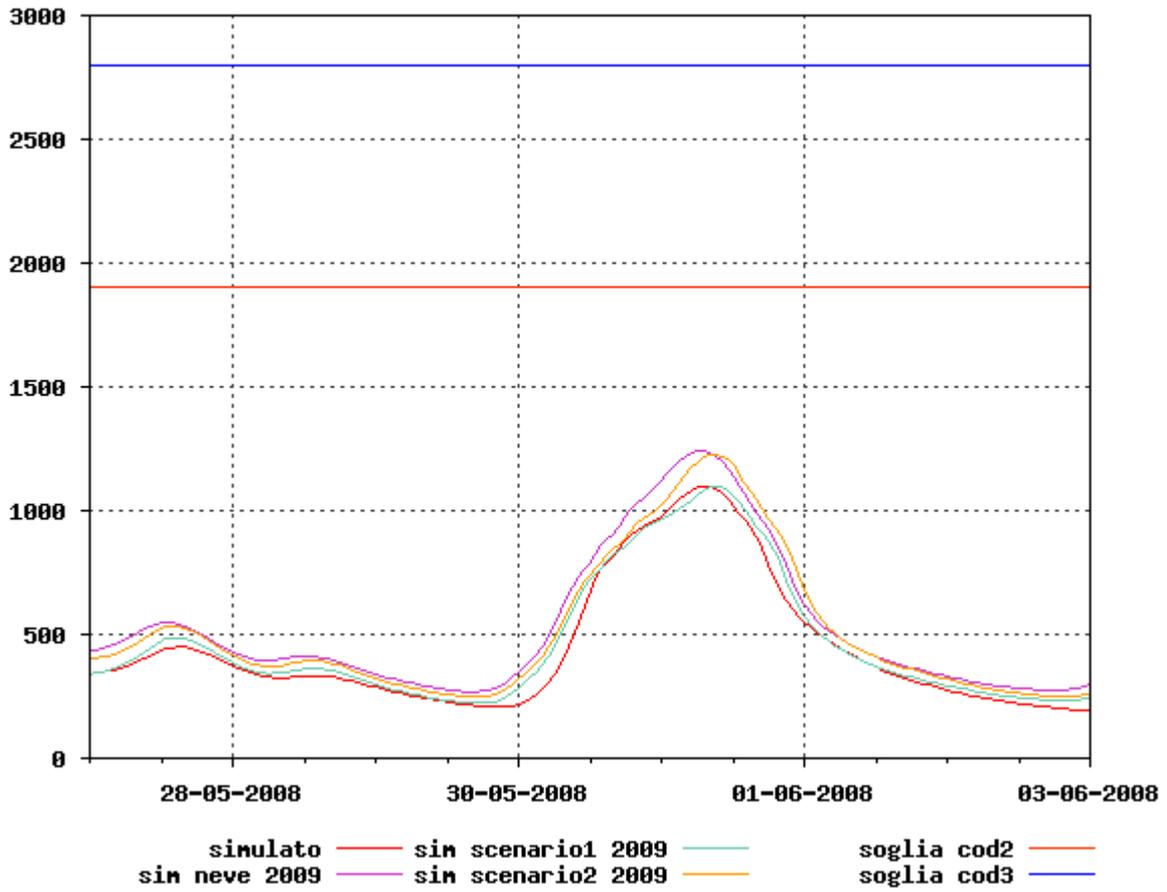
**TOCE A CANDOGLIA**



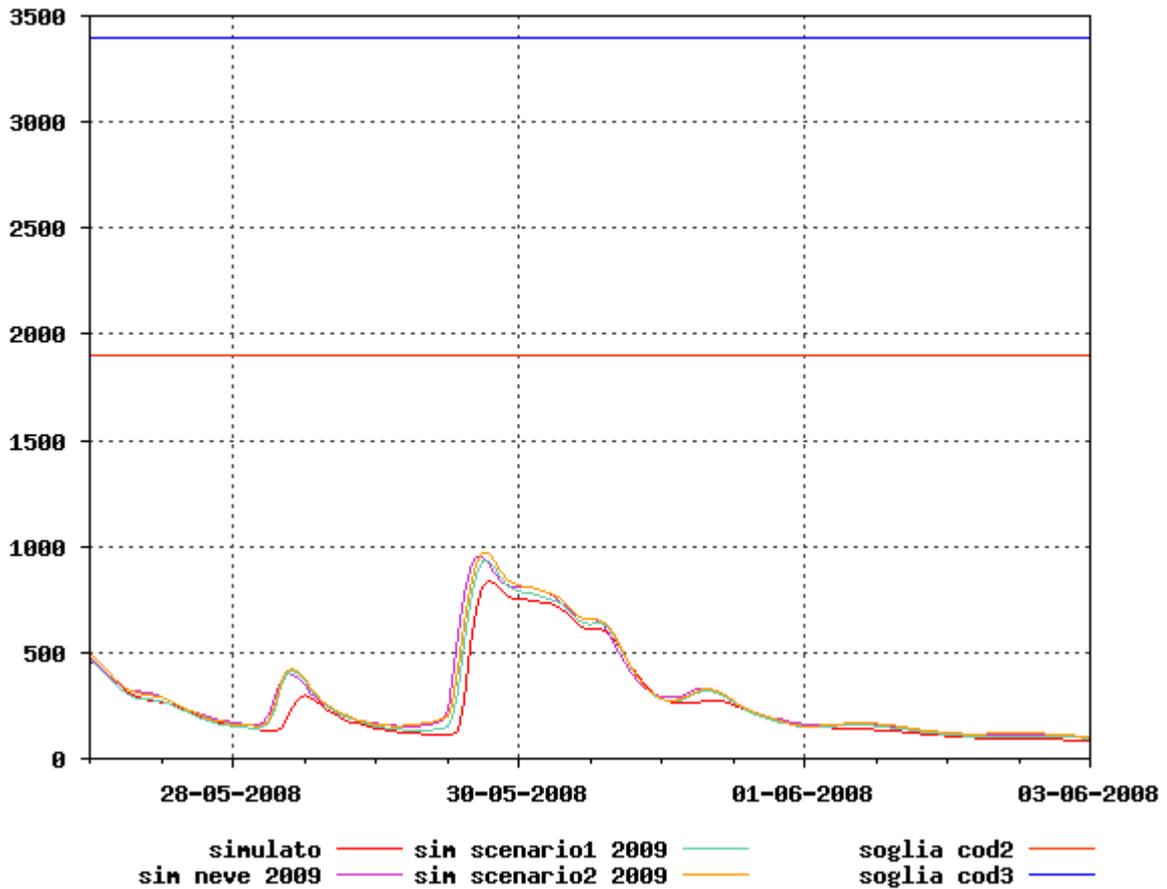
**PO A ISOLA S.ANTONIO**



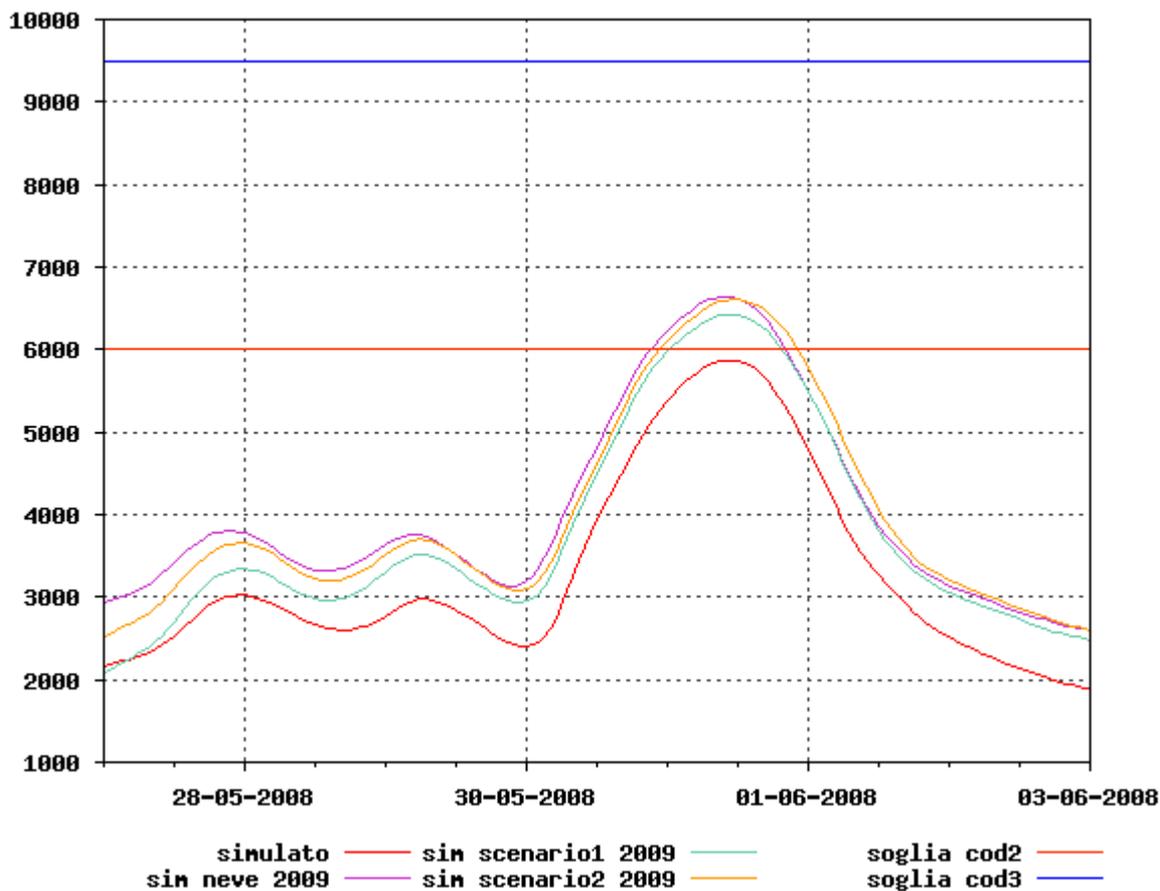
TANARO A MONTECASTELLO



SESA A PALESTRO



PO A PONTE BECCA



PO A PONTE BECCA.

