

<b>ANALISI METEOROLOGICA E IDROLOGICA</b>	<b>3</b>
INTRODUZIONE	3
ANALISI METEOROLOGICA	5
<i>Premessa</i>	5
<i>Domenica 20 novembre 2016</i>	5
<i>Lunedì 21 novembre 2016</i>	7
<i>Martedì 22 novembre 2016</i>	11
<i>Mercoledì 23 novembre 2016</i>	15
<i>Giovedì 24 novembre 2016</i>	18
<i>Venerdì 25 novembre 2016</i>	22
ANALISI PLUVIOMETRICA	24
ANALISI NIVOMETRICA	45
ANALISI IDROMETRICA	49
<i>Premessa</i>	49
<i>L'evento di piena lungo la rete idrometrica principale</i>	50
<i>La piena del Fiume Tanaro</i>	57
<i>La piena del Fiume Po</i>	62
<i>Analisi statistica delle portate al colmo di piena</i>	67
<i>Volumi di piena e coefficienti di deflusso</i>	69
RICOSTRUZIONE DELLE PIOGGE DI INNESCO PER LE FRANE SUPERFICIALI	70
CONFRONTO CON EVENTI PRECEDENTI	77
<i>Confronto meteorologico</i>	77
<i>Confronto idrologico</i>	82

## ANALISI METEOROLOGICA E IDROLOGICA

### INTRODUZIONE

Nell'ultima decade del mese di novembre 2016, il Piemonte è stato interessato da un evento alluvionale con caratteristiche meteorologiche comuni con alcuni eventi del passato: una vasta area di bassa pressione nord-atlantica e un robusto campo di alta pressione sulle zone del Mediterraneo orientale. Questi due ingredienti sono fondamentali per l'innescò di precipitazioni persistenti e abbondanti sulla regione in quanto l'alta pressione viene a costituire un blocco alla normale traslazione della perturbazione atlantica verso est, la quale è costretta a scendere verso latitudini inferiori, raccogliendo aria calda e umida in risalita lungo il Tirreno.

Nei successivi capitoli, si riporta dettagliatamente l'analisi meteorologica, pluviometrica e idrologica dell'evento, sulla base dei dati acquisiti ed elaborati dal Centro Funzionale di Arpa Piemonte. Sono descritti inoltre, i processi e gli effetti causati dall'evento.

Vista l'eccezionalità dell'evento in termini di precipitazioni, propagazione delle piene e degli effetti sul territorio, è stato effettuato un confronto con alcuni eventi del passato in particolar modo novembre 1994 e ottobre 2000.

L'intera regione è stata interessata da precipitazioni forti e persistenti tra il 21 e il 25 novembre con particolare insistenza, inizialmente, nel cuneese e alessandrino al confine con la Liguria, e successivamente, il 22 e 23 novembre, nelle zone del vercellese, biellese e alto torinese. Le precipitazioni più intense di tutto l'evento sono state registrate il 24 sul settore occidentale e ancora al confine con la Liguria nell'alta val Tanaro. Durante la giornata del 25 le precipitazioni hanno ulteriormente coinvolto il torinese e l'alta provincia di Cuneo.

I massimi di precipitazione sono stati registrati nelle stazioni nell'alta val Tanaro a Piaggia (CN) con 632,6 mm complessivi, Ponte di Nava Tanaro (CN) 620,6 mm, Calizzano (SV) 612,4 mm. Nel bacino della Stura di Lanzo la stazione di Niquidetto, ubicata nel Comune di Viù (TO) con 609,6 mm ha registrato i quantitativi maggiori di pioggia, mentre nell'alto Po, il pluviometro di Barge (CN) ha registrato 593,4 mm. Tali valori rappresentano più del 50% della precipitazione media annua; a livello del bacino del Po chiuso alla confluenza con il Ticino il contributo medio di circa 210 mm, rappresenta il 20% circa della precipitazione totale annua.

Dal confronto con i due principali eventi che hanno interessato il Piemonte negli ultimi decenni, ovvero l'alluvione del 1994 e quella del 2000, si deduce che le precipitazioni medie, ragguagliate ai bacini idrografici, risultano più significative per Tanaro, Bormida, Orba e Stura di Demonte e nel Piemonte occidentale per l'alto Po, Pellice, Varaita, Maira e Dora Riparia.

La quota neve, inizialmente prossima ai 1500-1700 m, si è attestata sopra i 1800-2000 m su tutta la regione dalla giornata di martedì 22 mantenendosi pressoché costante fino al pomeriggio di giovedì 24, poi è nuovamente scesa di qualche centinaio di metri. I quantitativi di neve cumulati a 2500 m hanno raggiunto i 50-100 cm su A. Marittime e Cozie Sud, 120-170 cm su A. Cozie N e Graie, 80-150 cm su A. Pennine. L'attività valanghiva spontanea è iniziata dapprima sui settori settentrionali (A. Pennine di confine) e si è estesa successivamente alle A. Graie, A. Cozie, A. Marittime dove sono stati rilevati numerosi distacchi di valanghe di medie e localmente grandi dimensioni.

Le precipitazioni cadute nel corso dell'evento hanno generato significativi incrementi di livello dei corsi d'acqua del reticolo idrografico piemontese. Nel settore settentrionale i corsi d'acqua che hanno avuto le maggiori portate sono il Sesia e relativi affluenti, Orco, Malone, Stura di Lanzo, Ceronda e Dora Riparia. A sud di Torino si sono registrati marcati incrementi dei livelli idrometrici in particolare sul Chisone, Pellice, Varaita e Chisola e nei settori meridionali su Belbo, Bormida di Spigno e Bormida di Millesimo. In alcuni casi le portate al colmo sono state caratterizzate da tempi di ritorno anche superiori a 50 anni.

La piena del Tanaro e dei suoi affluenti nella parte alta del bacino (a monte della confluenza con lo Stura di Demonte) è stata caratterizzata da un tempo di ritorno di 200 anni ed è confrontabile, in termini di severità, a quella dell'alluvione del novembre 1994; a valle la piena è transitata con valori inferiori rispetto al 1994 ma comunque significativi collocandosi come la maggiore piena osservata negli ultimi 22 anni con un tempo di ritorno di circa 100 anni.

La piena lungo il fiume Po ha avuto un colmo molto lungo dovuto sostanzialmente allo sfasamento dei contributi dei suoi tributari e una portata con un tempo di ritorno di 50 anni fino a Valenza (AL) e 100 anni a Isola S. Antonio (AL) a causa del contributo del Tanaro. Nel tratto fino a Torino i valori registrati sono del tutto simili a quelli osservati nell'alluvione dell'ottobre 2000.

Attraverso l'analisi delle misure rilevate dai sistemi di monitoraggio gestiti da Arpa Piemonte, il presente rapporto fornisce un inquadramento meteorologico e idrologico dell'evento, mettendo in evidenza cause, intensità e distribuzione territoriale dei fenomeni.

## ANALISI METEOROLOGICA

### Premessa

Nell'ultima decade del mese di novembre 2016, il Piemonte è stato interessato da un evento alluvionale, con caratteristiche uniche rispetto agli eventi passati, ma con alcuni elementi meteorologici in comune a scala sinottica: una vasta area di bassa pressione che dal nord Atlantico si approfondisce dalle Isole Britanniche verso le coste del nord Africa e un robusto campo di alta pressione sulle zone del Mediterraneo orientale che si allunga verso i Balcani.

Questi due ingredienti sono stati fondamentali per l'innescò di precipitazioni persistenti e abbondanti sul Piemonte. L'alta pressione rappresenta un blocco alla normale traslazione della perturbazione atlantica verso est, la quale tende a persistere maggiormente sul Mediterraneo e, costretta a scendere verso latitudini inferiori, il flusso in risalita lungo il Tirreno raccoglie aria calda e umida, alimentando le piogge.

Di seguito è riportata l'analisi più dettagliata dell'evento, partendo dal giorno 20 novembre 2016.

### Domenica 20 novembre 2016

Lo scenario europeo è caratterizzato dalla presenza di un'estesa area depressionaria di origine polare marittima, che si insinua tra due aree di alta pressione, una di matrice nord africana posizionata sull'Europa centro-orientale ed estesa dall'Egitto fino alle regioni russe confinanti con l'Ucraina, l'altra associata all'anticiclone delle Azzorre presente sull'Atlantico. Simultaneamente, un minimo di pressione staziona tra il canale di Sicilia e il golfo della Sirte, richiamando verso latitudini inferiori la saccatura, che tende così ad approfondirsi e a portare il proprio centro di massa in prossimità della penisola Iberica (Figura 1).

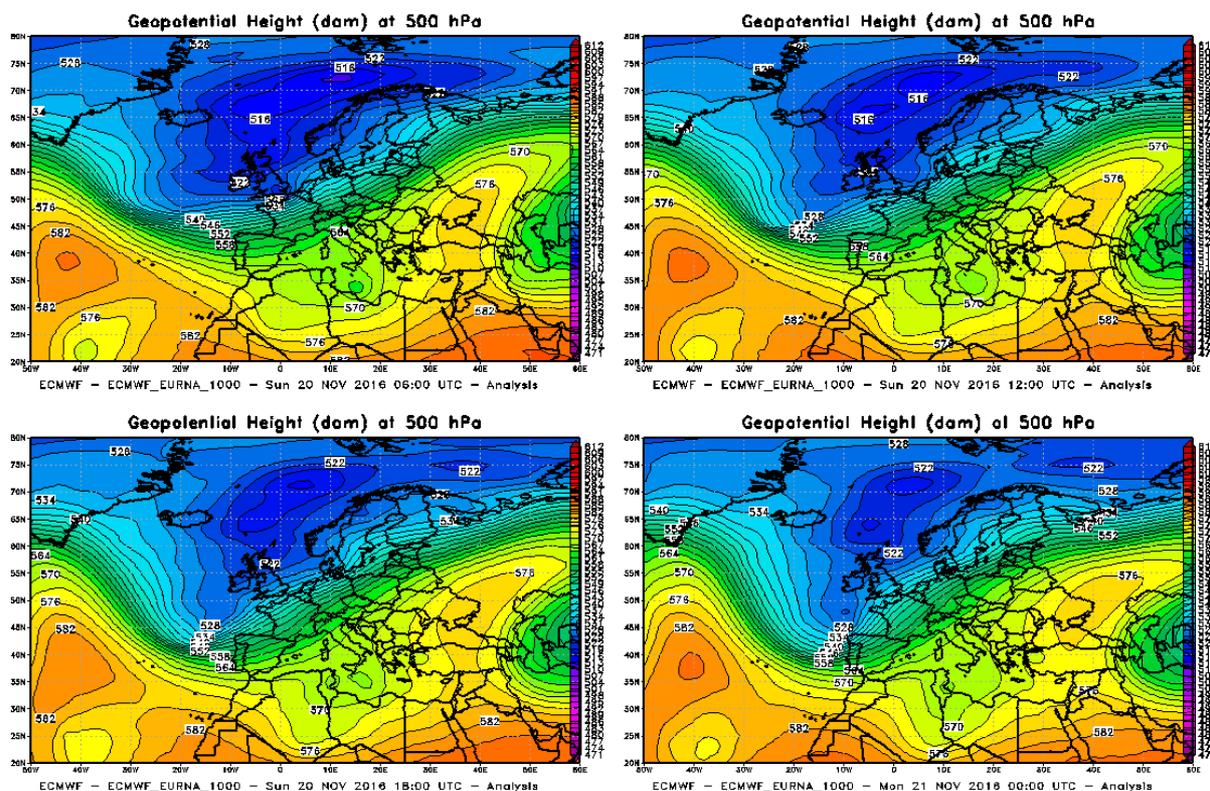


Figura 1. Analisi dell'evoluzione dell'altezza di geopotenziale a 500 hPa nella giornata del 20 novembre 2016, alle 06 UTC (in alto a sn), alle 12 UTC (in alto a dx), alle 18 UTC (in basso a sn) e il 21 novembre alle 00 UTC (in basso a dx)

Come risultante, i venti negli strati medi della troposfera tendono a disporsi da sudovest e a intensificarsi, determinando un continuo apporto di umidità in risalita dal Mediterraneo (Figura 2).

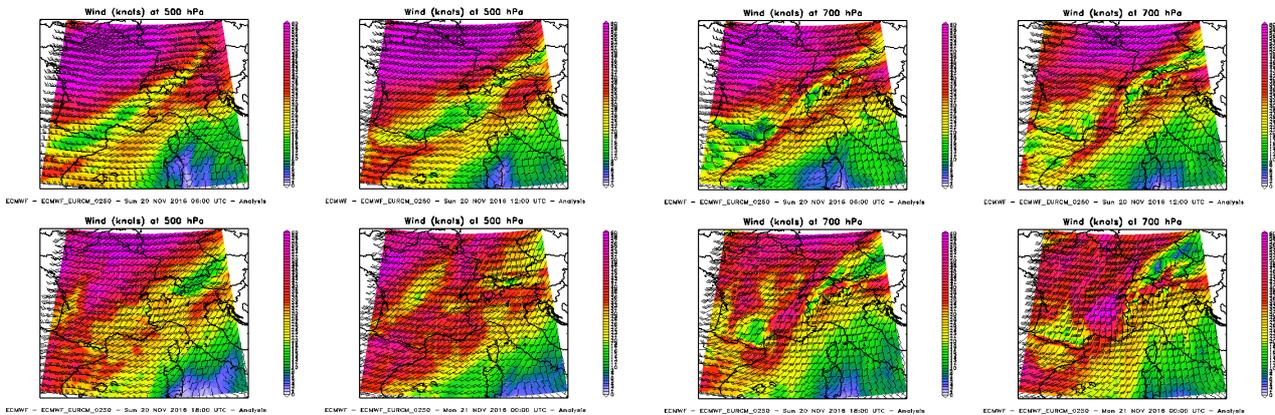


Figura 2. Analisi dei venti a 500 hPa (a sn) e 700 hPa (a dx) nella giornata del 20 novembre 2016

Le precipitazioni (Figura 3) durante la giornata risultano deboli e sparse sul basso Piemonte, tra Biellese e Verbano e sulle pianure orientali; valori localmente moderati sono stati registrati lungo le zone di confine meridionali del Cuneese (29,6 mm a Piaggia nella seconda parte della giornata), dell'Alessandrino (28,8 mm misurati dalla stazione di Ponzone Bric Berton nelle seconde 12 ore della giornata) e del Verbano (23,8 mm a Larecchio).

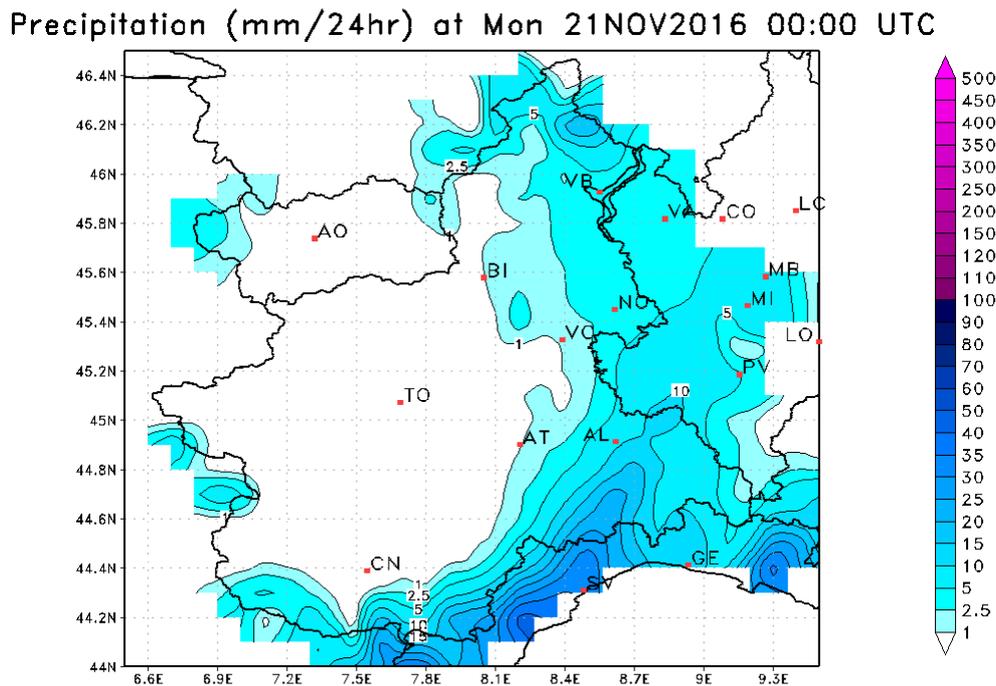


Figura 3. Precipitazioni cumulate durante la giornata del 20 novembre 2016

La quota delle nevicate (Figura 4) si attesta mediamente intorno ai 1200-1300 m sui settori alpini, localmente a quote inferiori sul Verbano, per poi risalire in serata fino ai 1500-1600 m. Sull'Appennino la quota neve raggiunge i 2000 m già nelle ore centrali della giornata e i fenomeni sono ovunque a carattere di pioggia.

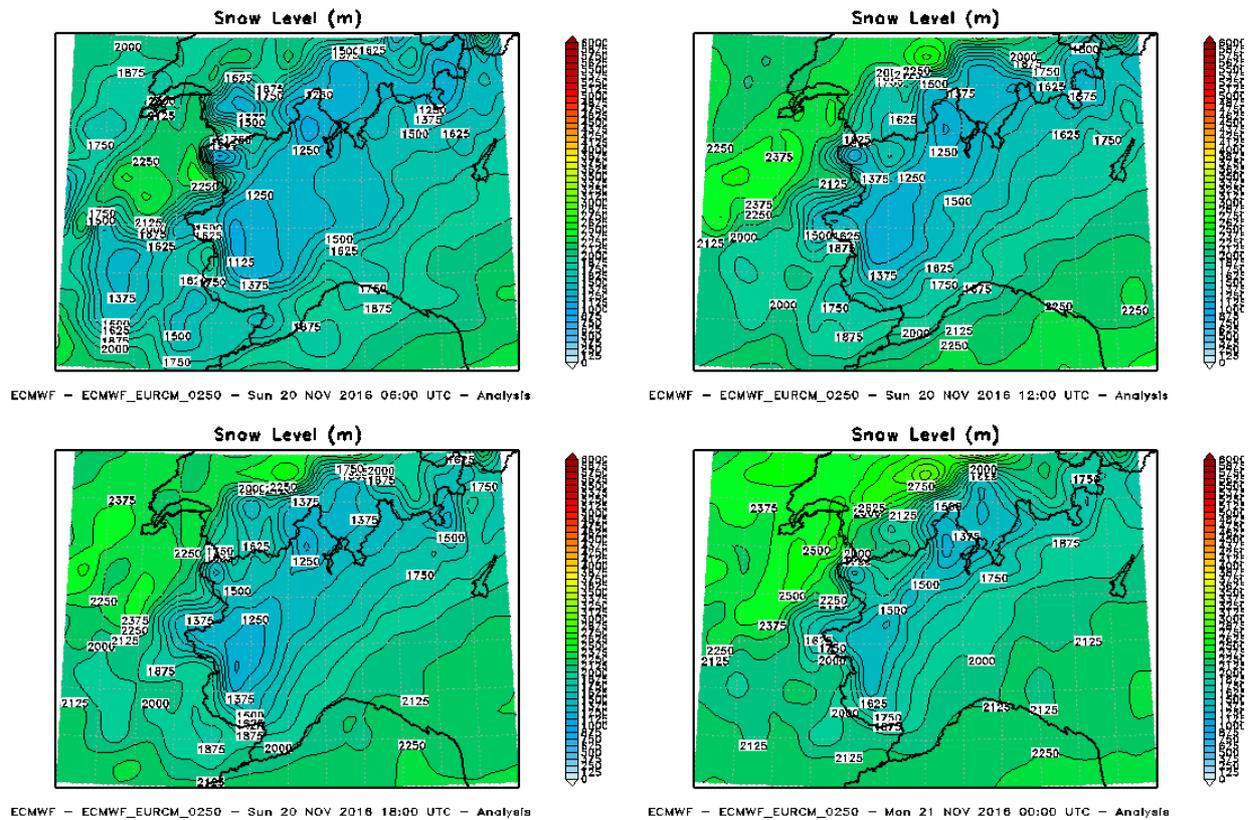


Figura 4. Analisi della quota neve per la giornata del 20 novembre 2016

## Lunedì 21 novembre 2016

Si viene a consolidare, su scala europea, quella che meteorologicamente si definisce una configurazione a omega rovesciata: le figure dominanti sono sempre i due estesi promontori, il primo sull'atlantico orientale proteso fino alla Groenlandia, il secondo di origine africana, che interessa l'area centro-orientale europea, intervallati da una vasta area depressionaria, composta da più minimi di pressione, disposti lungo l'asse di saccatura, che va dalla Scandinavia alla penisola Iberica, fino a spingersi a ridosso delle coste marocchine (Figura 5).

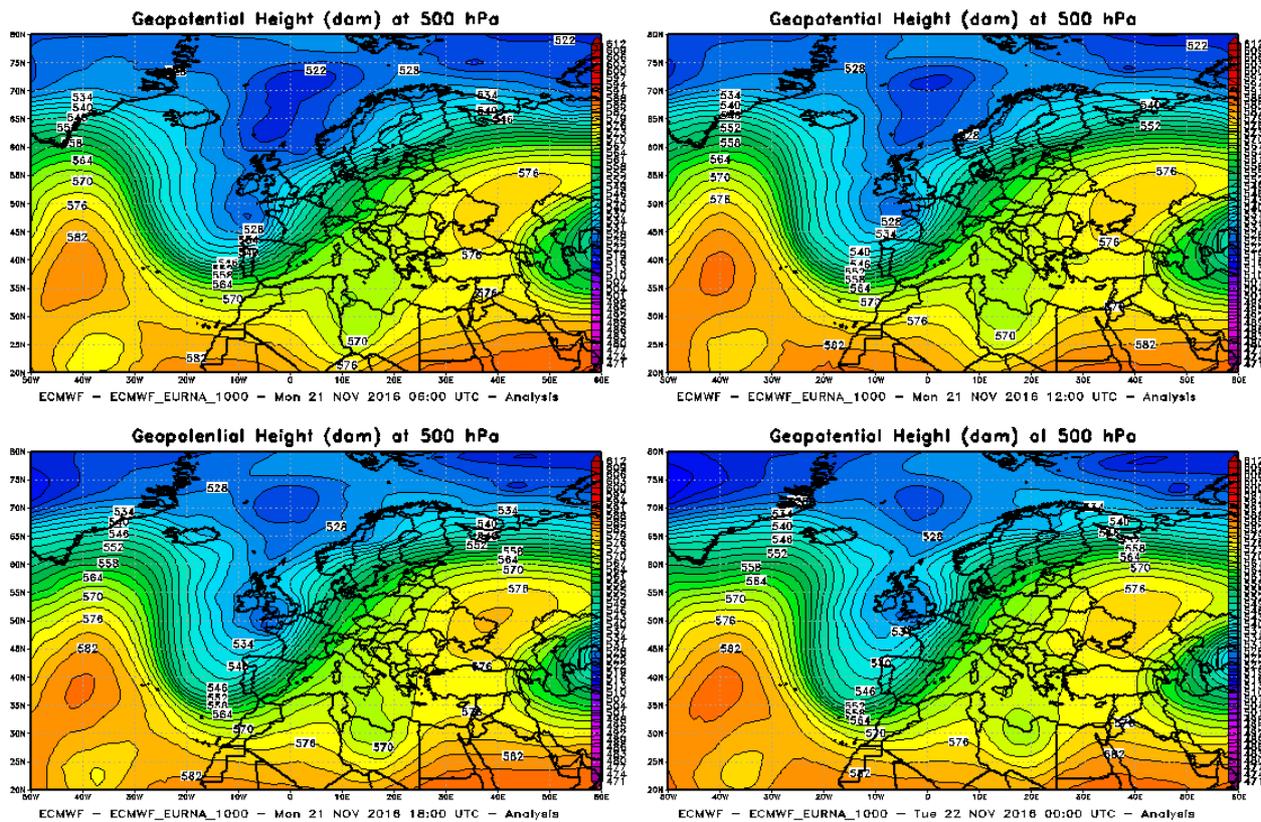


Figura 5. Analisi dell'altezza di geopotenziale a 500 hPa nella giornata del 21 novembre 2016, alle 06 UTC (in alto a sn), alle 12 UTC (in alto a dx), alle 18 UTC (in basso a sn) e del giorno 22 novembre alle 00 UTC (in basso a dx)

A seguito dell'ulteriore approfondimento della saccatura verso sud, il ramo ascendente della corrente a getto si porta sul nordovest italiano ed il gradiente di pressione a ridosso dei settori alpini occidentali diviene più marcato. Ciò determina il rinforzo dei venti a tutte le quote, che soffiano intensi da sudovest negli strati intermedi della troposfera (Figura 6) e dai quadranti orientali in quelli più bassi (Figura 7).

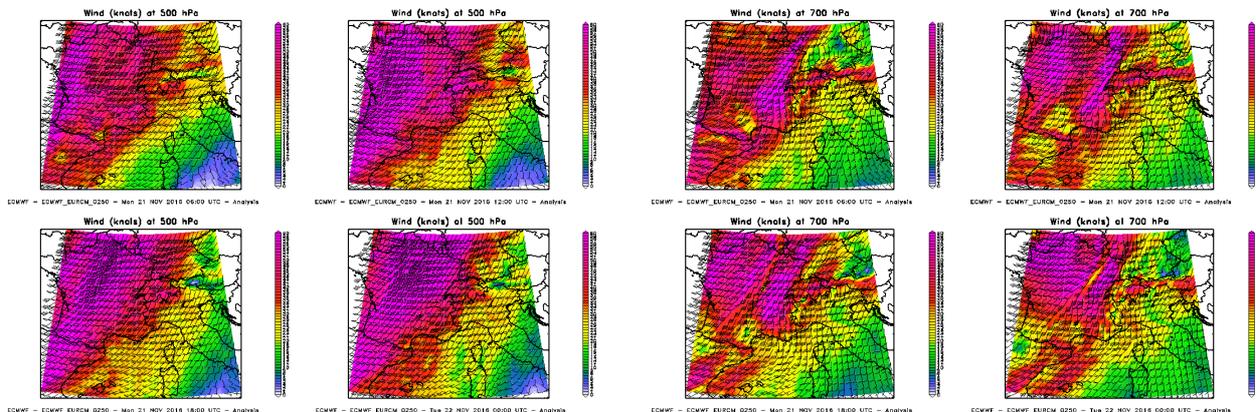


Figura 6. Analisi dei venti a 500 hPa (a sn) e 700 hPa (a dx) nella giornata del 21 novembre 2016

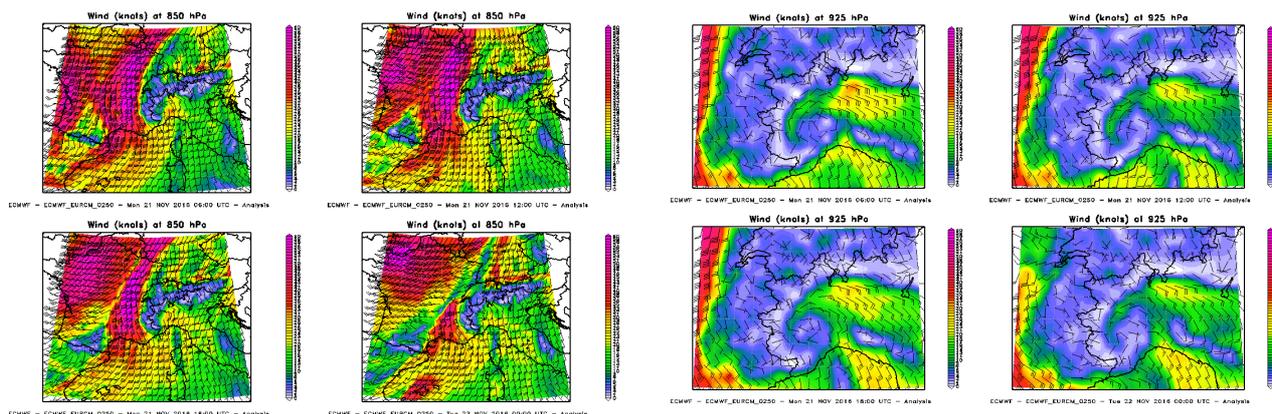


Figura 7. Analisi dei venti a 850 hPa (a sn) e 925 hPa (a dx) nella giornata del 21 novembre 2016

Il continuo apporto di aria calda e umida meridionale determina un'umidificazione del profilo dell'atmosfera che, quasi fino a circa 500 hPa risulta saturo, mentre è umido (umidità relativa superiore al 50%) fino alla tropopausa (Figura 8).

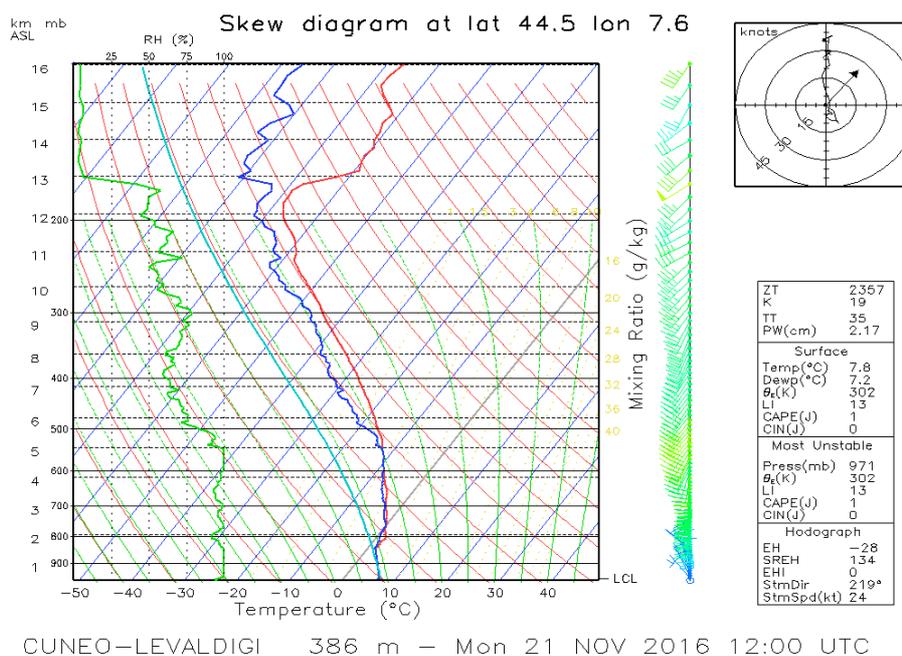


Figura 8. Radiosondaggio di Cuneo Levaldigi delle ore 12 UTC del 21 novembre 2016. Si registra un cospicuo apporto di umidità su tutta la colonna d'aria dal suolo fino a 500 hPa per venti prevalentemente di Libeccio

Tale flusso, interagendo con la topografia locale piemontese, determina, nella giornata del 21 novembre, precipitazioni abbondanti e intense, che interessano soprattutto le Alpi Marittime, Liguri e il settore appenninico: nel Cuneese e nell'Alessandrino si registrano cumulate giornaliere superiori localmente ai 200 mm. Nelle aree settentrionali, tra Verbanese e Biellese, le piogge risultano localmente forti o molto forti (Figura 9).

Precipitation (mm/24hr) at Tue 22NOV2016 00:00 UTC

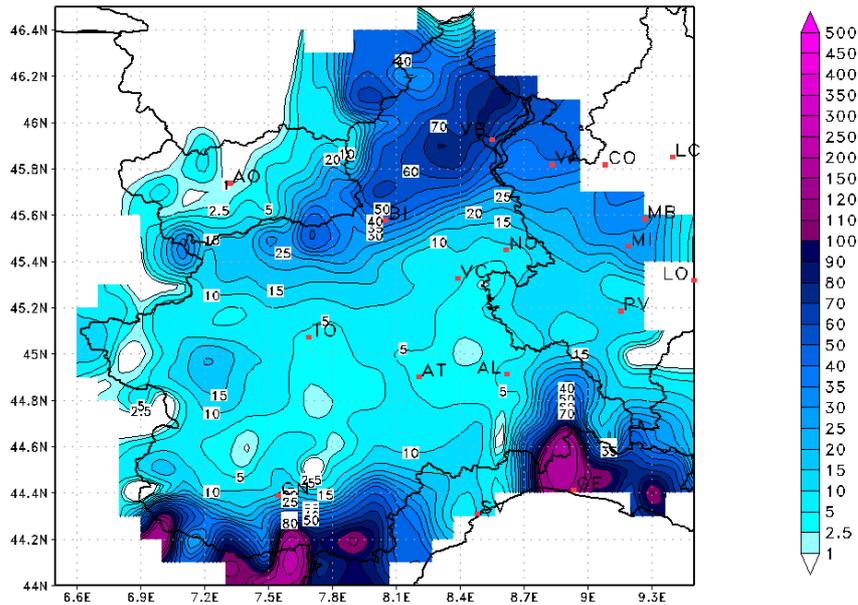


Figura 9. Precipitazioni cumulate durante la giornata del 21 novembre 2016

Va sottolineato come le piogge intense, persistenti e temporalesche, cadute al confine con savonese e genovese, siano da attribuire ad una marcata convergenza su tale zona dei venti sciroccali sulla parte del levante ligure e di tramontana in svalicamento dalla zona appenninica del colle di Cadibona (Figura 10).

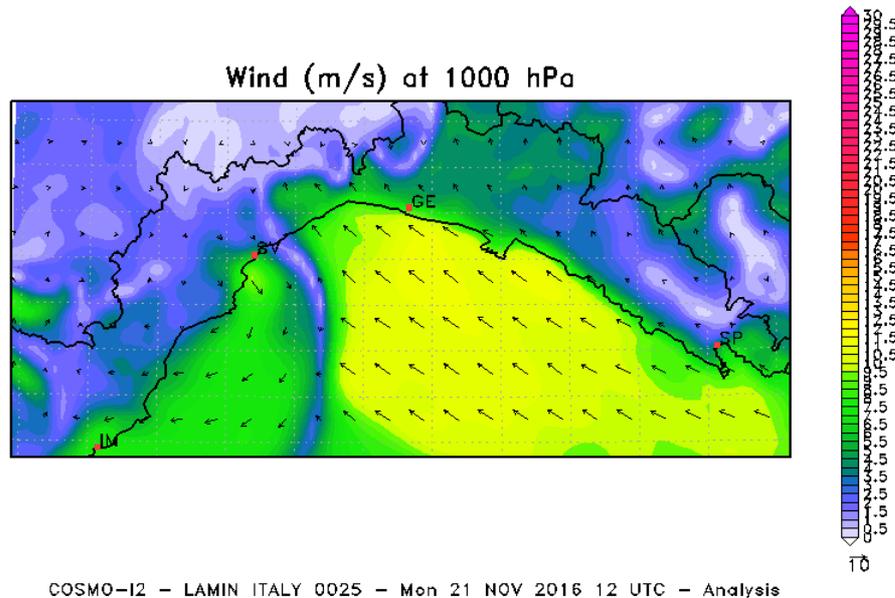


Figura 10. I venti in bassa quota (1000 hPa) alle 12 UTC del 21 novembre 2016 al confine con la Liguria. Si vede molto bene la zona di convergenza sul mare che attraversa il golfo ligure portandosi sul savonese

Da notare, inoltre, come l'intenso flusso caldo-umido determina un rialzo della quota delle nevicate, che, a fine giornata, si porta mediamente oltre i 1800-2000 m, con valori localmente più bassi solo nelle vallate settentrionali (Figura 11).

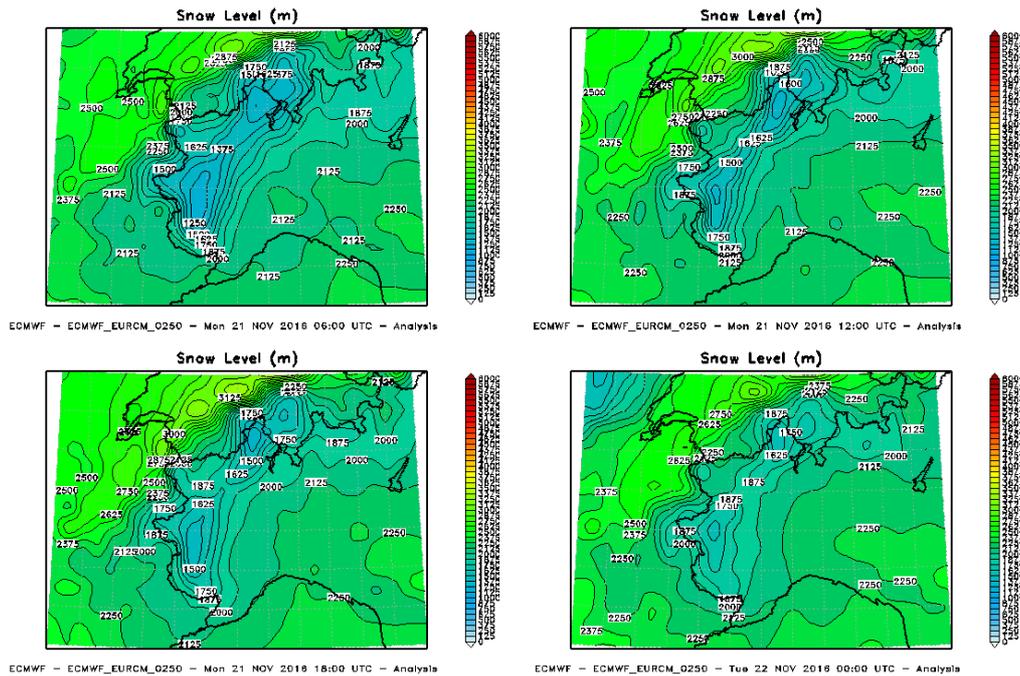


Figura 11. Analisi della quota neve per la giornata del 21 novembre 2016

## Martedì 22 novembre 2016

Il giorno successivo la configurazione di blocco continua a dominare lo scenario europeo: l'azione combinata dell'intenso flusso nord-occidentale sul bordo più settentrionale dell'anticiclone sull'Atlantico orientale e la presenza del promontorio di alta pressione sull'Europa centro-orientale portano la saccatura a subire uno stretching in prossimità delle isole britanniche (Figura 12), con conseguente formazione, a fine giornata, di una circolazione chiusa a tutte le quote (cut-off), dalle caratteristiche marcatamente barotropiche, con un corrispondente minimo al suolo che va a posizionarsi tra la penisola Iberica e le coste nordafricane.

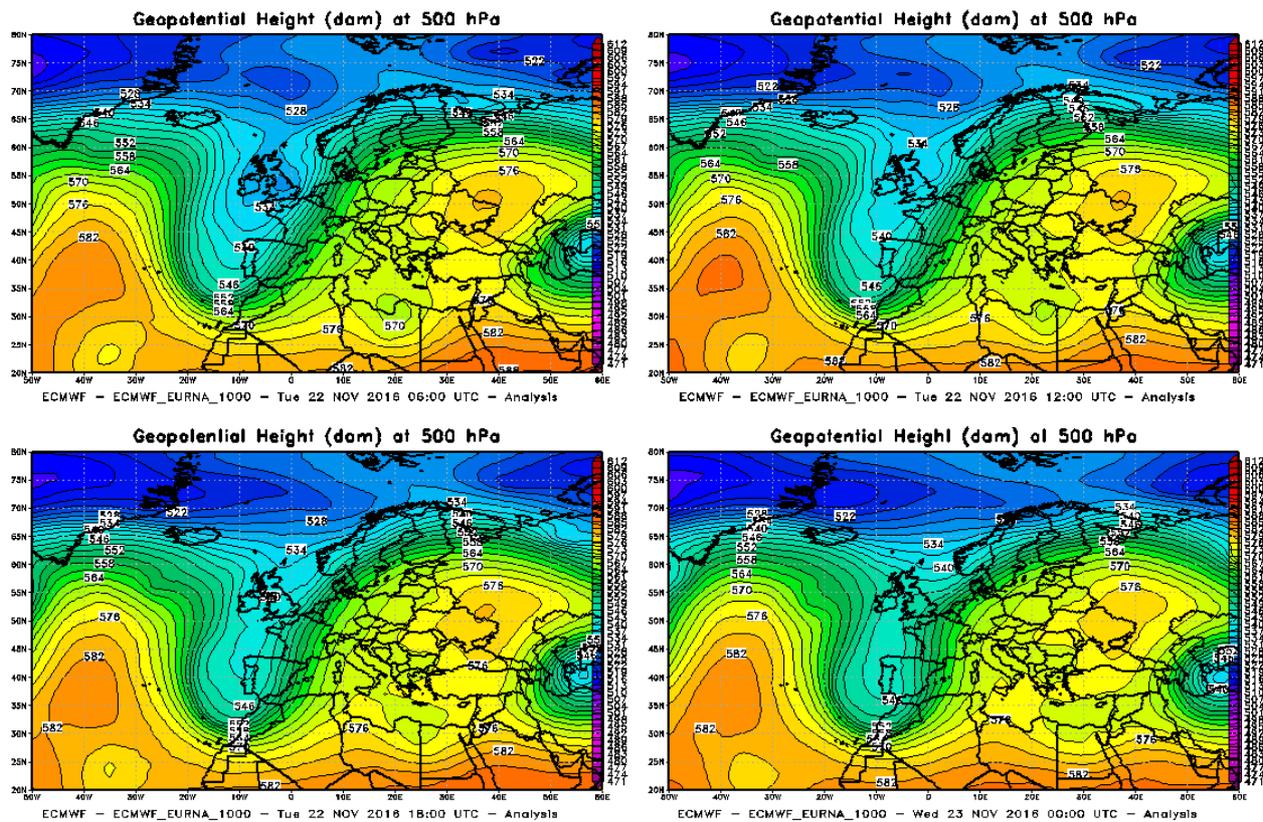


Figura 12. Analisi dell'altezza di geopotenziale a 500 hPa nella giornata del 22 novembre 2016

Il marcato gradiente di pressione, presente a tutte le quote in prossimità dell'arco alpino occidentale, mantiene negli strati medi dell'atmosfera, intense correnti di Libeccio, che tendono a disporsi da sud-sudest a fine giornata (Figura 13), mentre in quota si mantiene il jet da sudovest sulla Francia e le zone più occidentali del Piemonte.

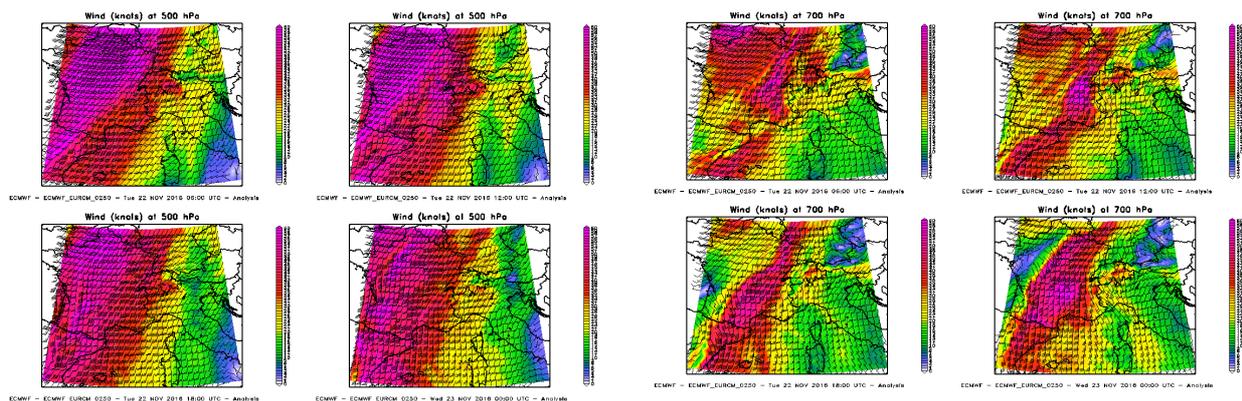


Figura 13. Analisi dei venti a 500 hPa (sinistra) e 700 hPa (destra) nella giornata del 22 novembre 2016

Come per il giorno precedente, alle quote inferiori i venti sciroccali in risalita dal golfo ligure interagiscono con le umide correnti in ingresso da est sulla Pianura Padana che, aggirando i settori collinari tra Torinese, Astigiano e Alessandrino, hanno determinato una circolazione chiusa ciclonica sulla pianura piemontese e si sono disposte da nordest in prossimità dei rilievi appenninici.

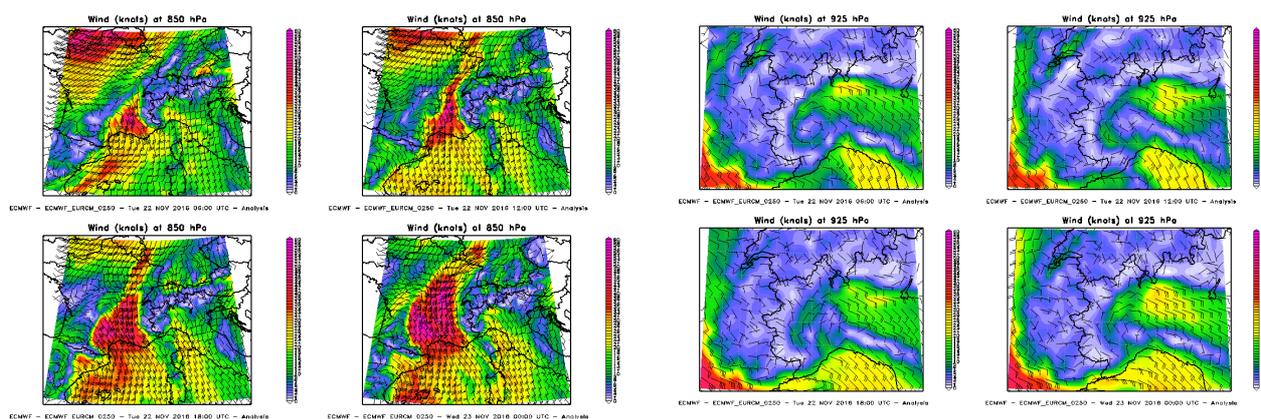


Figura 14. Analisi dei venti a 850 hPa (a sn) e 925 hPa (a dx) nella giornata del 22 novembre 2016

Questa circolazione nei bassi strati ha contribuito a mantenere la vasta area di convergenza nel genovese (Figura 15), a ridosso della quale i fenomeni precipitativi si sono presentati con maggior intensità e persistenza (Figura 16).

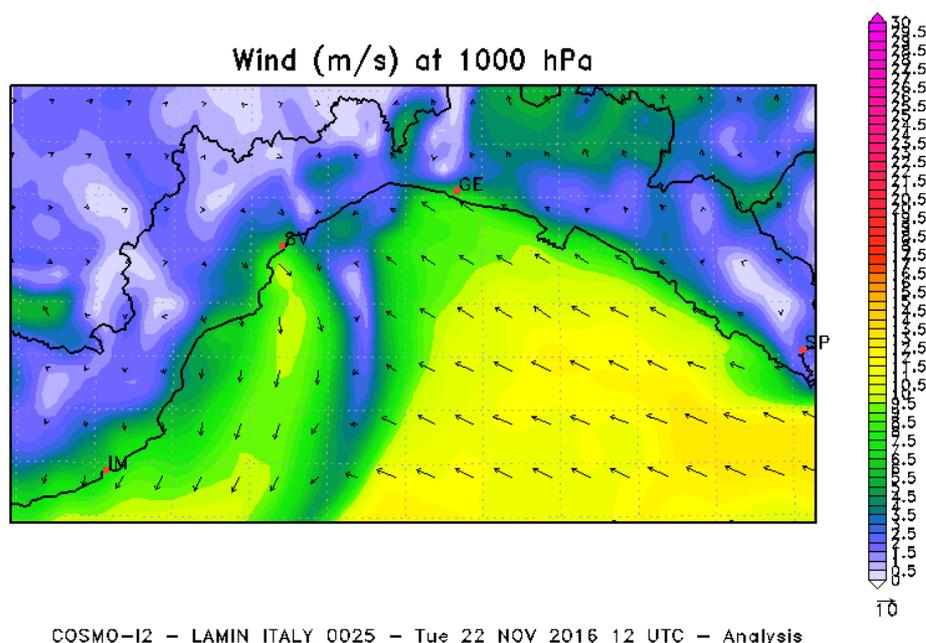


Figura 15. Venti nei bassi strati dell'atmosfera (1000 hPa) alle 12:00 UTC del 22 novembre 2016

Nella giornata del 22 si sono registrate precipitazioni molto forti sull'Alessandrino, con intensità locali oltre i 200 mm/24h (legate alla convergenza delle correnti nei bassi strati sul golfo di Genova), sul Cuneese, con valori puntuali intorno agli 80 mm/24h, e tra Verbanese e Biellese, dove localmente sono stati superati i 100 mm/24h (Figura 16).

Precipitation (mm/24hr) at Wed 23NOV2016 00:00 UTC

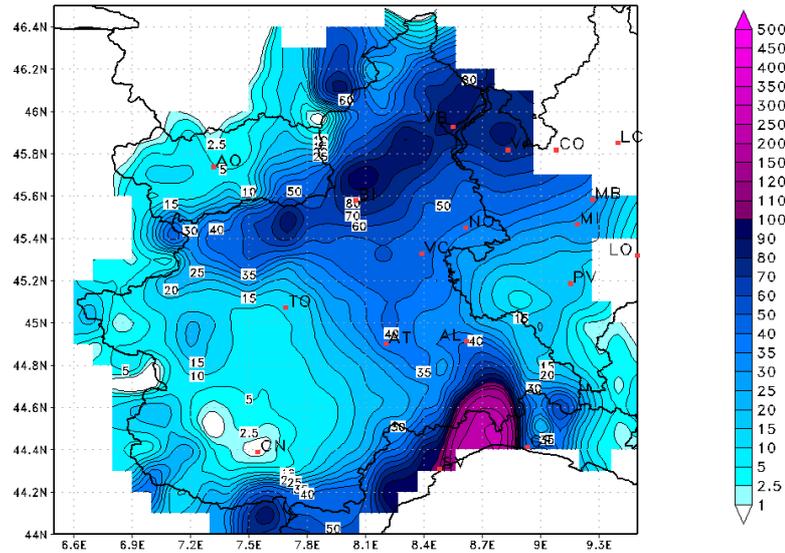


Figura 16. Precipitazioni cumulate durante la giornata del 22 novembre 2016

Le precipitazioni sono state a carattere di pioggia fino a quote di alta montagna. Infatti, la quota delle nevicate mediamente si è attestata tra i 2000 e i 2200 m a ridosso della fascia montana sudoccidentale e meridionale, inizialmente tra i 1600 m e i 1800 m sui restanti settori alpini, ma anche qui in risalita fino ai 2000 m in serata (Figura 17).

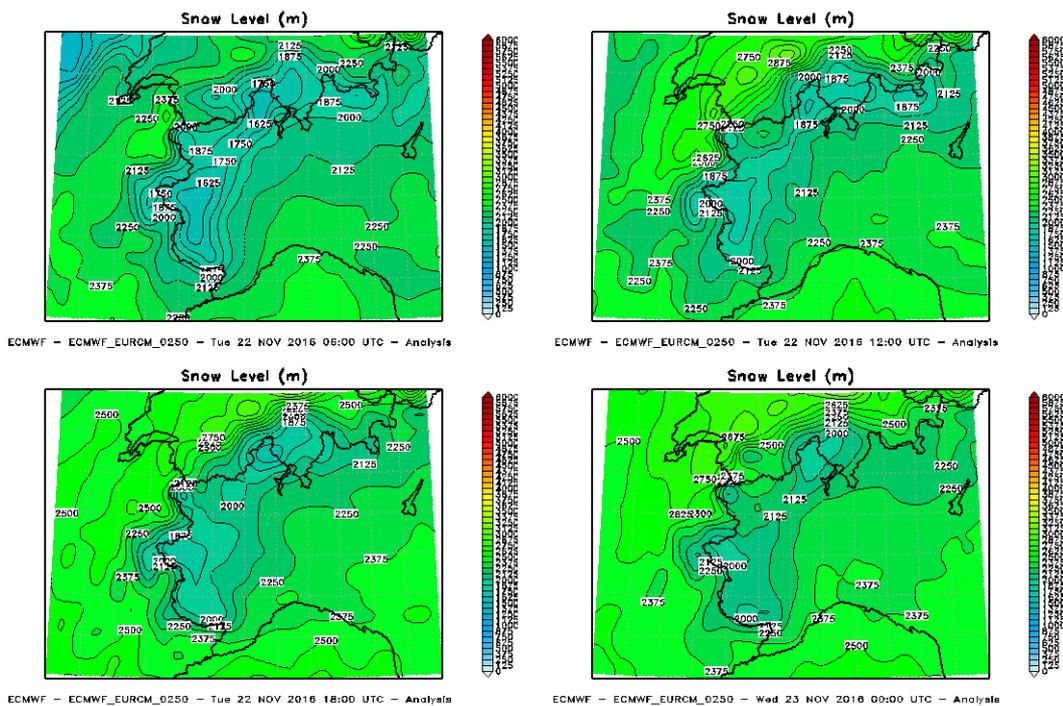


Figura 17. Analisi della quota neve per la giornata del 22 novembre 2016

## Mercoledì 23 novembre 2016

A scala sinottica la configurazione non presenta un'evoluzione significativa. La vasta saccatura rimane stazionaria sull'Europa occidentale, con l'asse che si estende dalla Scandinavia fino alle coste marocchine. L'ulteriore azione di stretching dei due campi di alta pressione, presenti ad ovest e ad est della saccatura, isola sempre più sulla penisola iberica il cut-off (Figura 18), che a fine giornata comincia ad interessare il nordovest della penisola italiana.

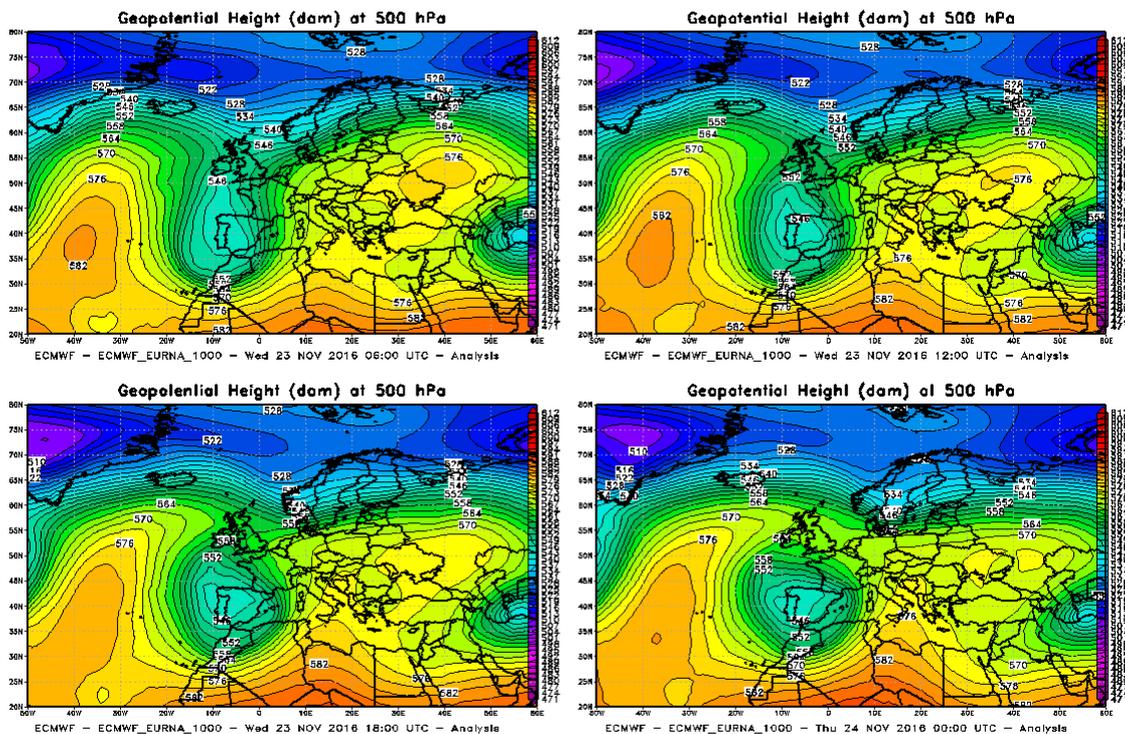


Figura 18. Analisi dell'altezza di geopotenziale a 500 hPa nella giornata del 23 novembre 2016

Al minimo è associata un'intensa Warm Conveyor Belt, alla quale è legata un'avvezione di aria calda e umida dalle coste africane sull'Europa centrale che, scorrendo lungo il Tirreno, investe le regioni occidentali italiane. La struttura è caratterizzata anche da un fronte freddo instabile che dalla Francia si allunga sul Tirreno (Figura 19).

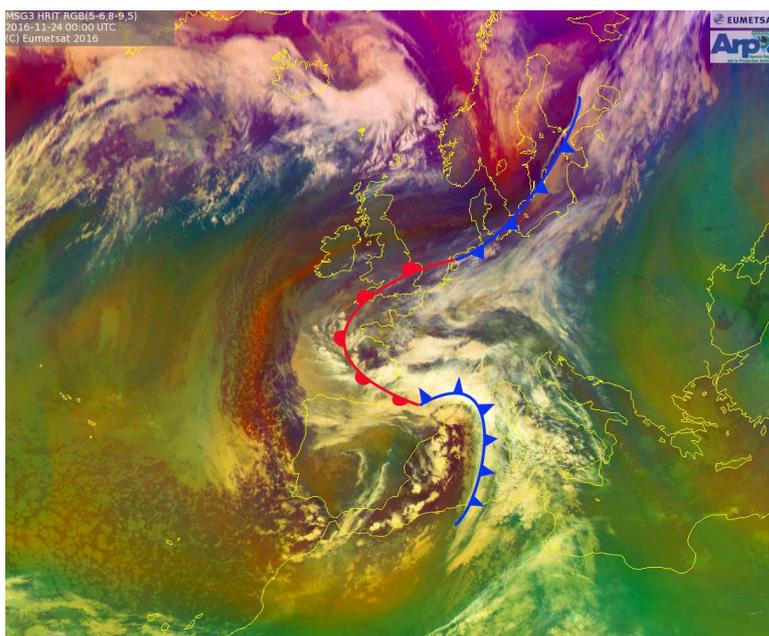


Figura 19. Immagine Meteosat (airmass, composizione di bande di infrarosso) alle 00 UTC del 24 novembre 2016 con mappa dei fronti

Il minimo al suolo, corrispondente al cut-off sulla penisola iberica, sulle isole Baleari ad inizio giornata, tende a spostarsi verso nord, intensificando ulteriormente le correnti di scirocco sul Piemonte (Figura 20). La persistente interazione con i venti orientali sulla Pianura Padana (Figura 21) mantiene l'estesa area di convergenza nei bassi strati atmosferici, a ridosso delle zone di confine con la Liguria e creando un deciso shear del vento con la quota.

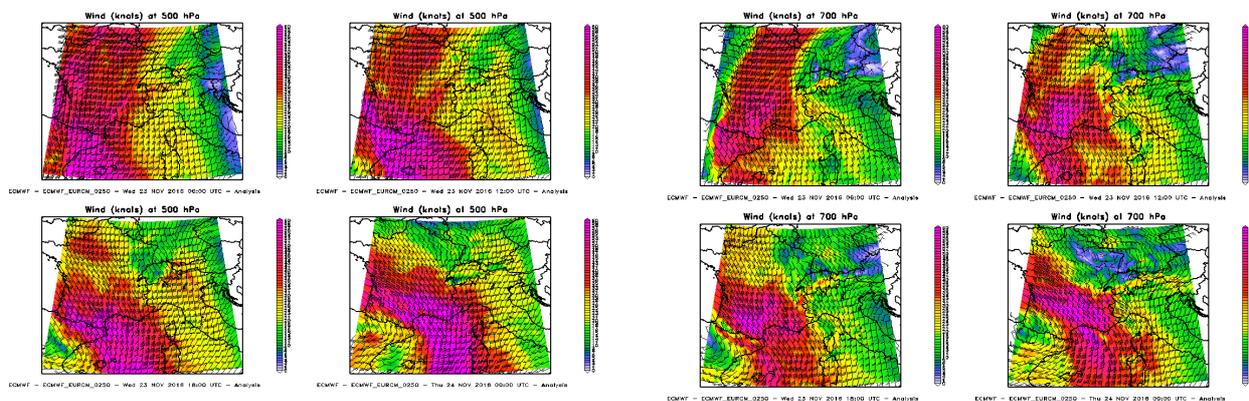


Figura 20. Analisi dei venti a 500 hPa (a sn) e 700 hPa (a dx) nella giornata del 23 novembre 2016

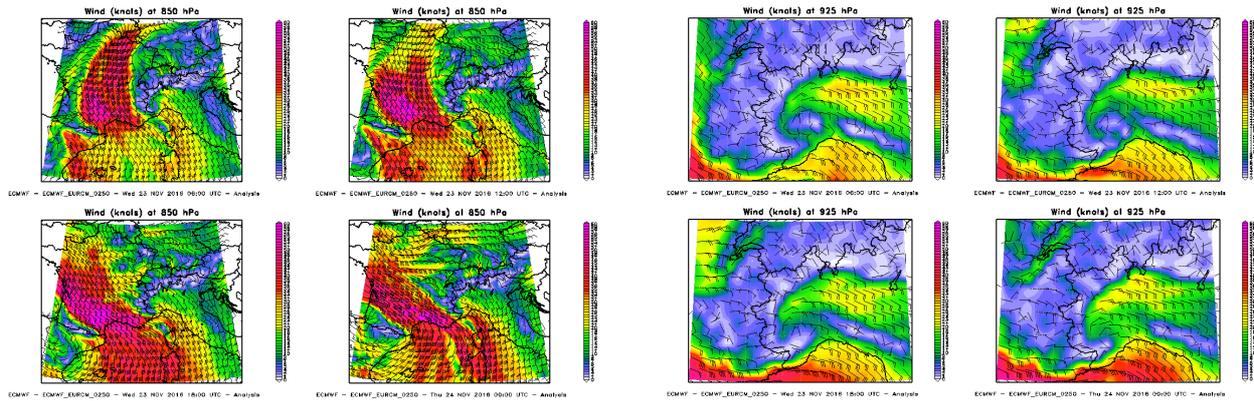


Figura 21. Analisi dei venti a 850 hPa (a sn) e 925 hPa (a dx) nella giornata del 23 novembre 2016

I fenomeni precipitativi associati a questa configurazione fortemente instabile sono abbondanti tra Verbanco e Biellese, con valori puntuali cumulati sulle 24 ore superiori ai 150 mm; localmente forti o molto forti anche nelle vallate alpine occidentali e nordoccidentali del torinese, con cumulate tra gli 80 mm ed i 100 mm circa; forti sull'Appennino occidentale al mattino, in successiva attenuazione. Le precipitazioni sono invece persistenti e intense sulle Alpi Liguri per tutta la giornata, dove la zona di convergenza è più attiva, alla fine della quale si registrano cumulate puntuali superiori ai 160 mm (stazione meteo di Piaggia) (Figura 22).

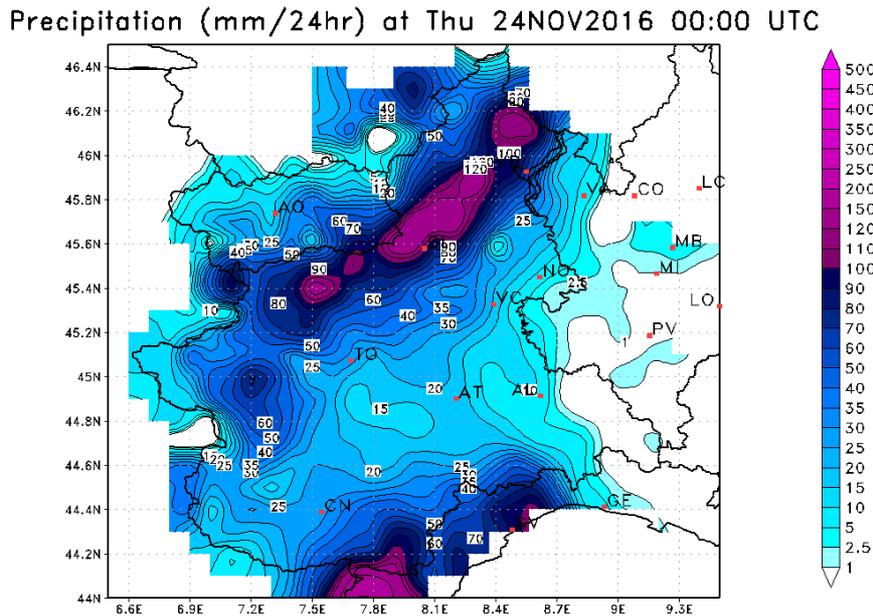


Figura 22. Precipitazioni cumulate durante la giornata del 23 novembre 2016

Per tutta la giornata l'intensa avvezione calda mantiene la quota neve su valori relativamente alti per il periodo: mediamente superiori ai 2000 m su tutto il territorio regionale.

## Giovedì 24 novembre 2016

Prosegue l'azione sul nordovest italiano della circolazione depressionaria chiusa, centrata a ridosso della penisola Iberica, che risulta ancora alimentata da un flusso secondario in uscita dalla depressione principale, che scorre alle latitudini più alte (Figura 23).

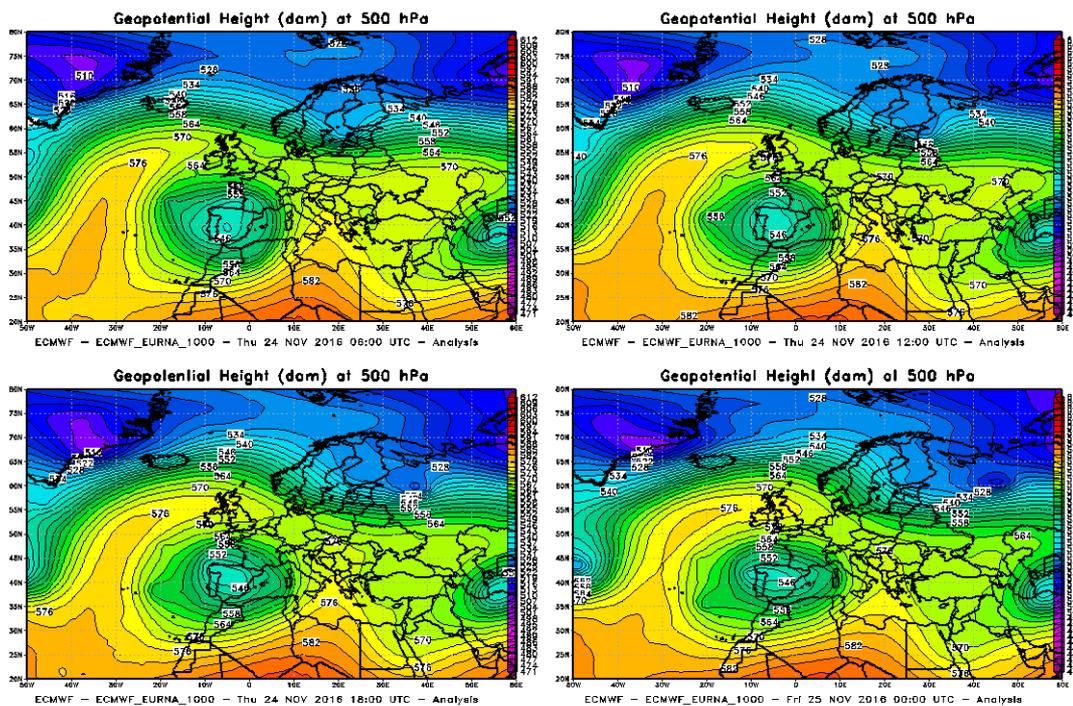


Figura 23. Analisi dell'altezza di geopotenziale a 500 hPa nella giornata del 24 novembre 2016

Si rafforza ulteriormente, nel corso della giornata del 24, l'intensa avvezione calda che precede il fronte freddo a causa del rafforzamento dei due promontori anticiclonici tra cui il minimo è inserito (Figura 24).

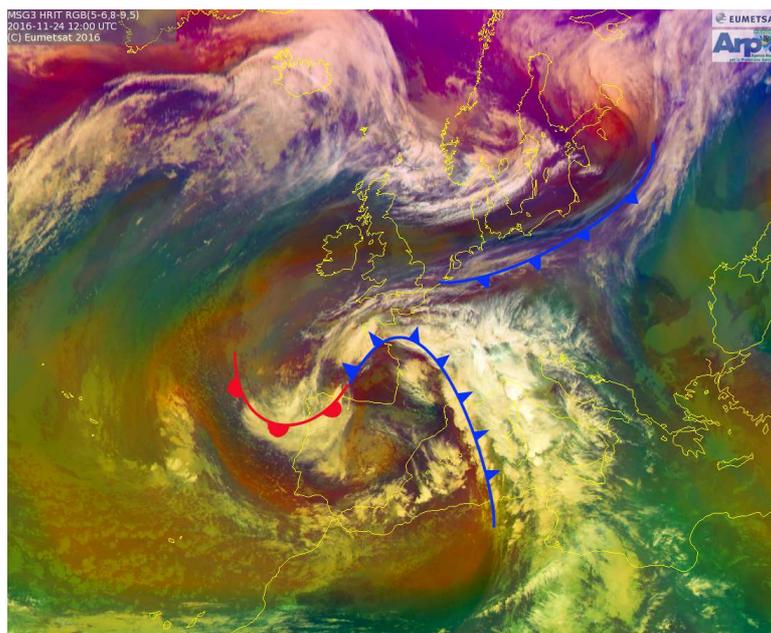


Figura 24. Immagine Meteosat (airmass, composizione di bande di infrarosso) alle 12 UTC del 24 novembre 2016 con mappa dei fronti

Le correnti sciroccali in risalita dalle coste nordafricane, in seno alle quali scorrono masse d'aria umida e perturbata sono molto intense a tutte le quote e la loro rotazione da sudest si evidenzia a tutte le quote (Figura 25).

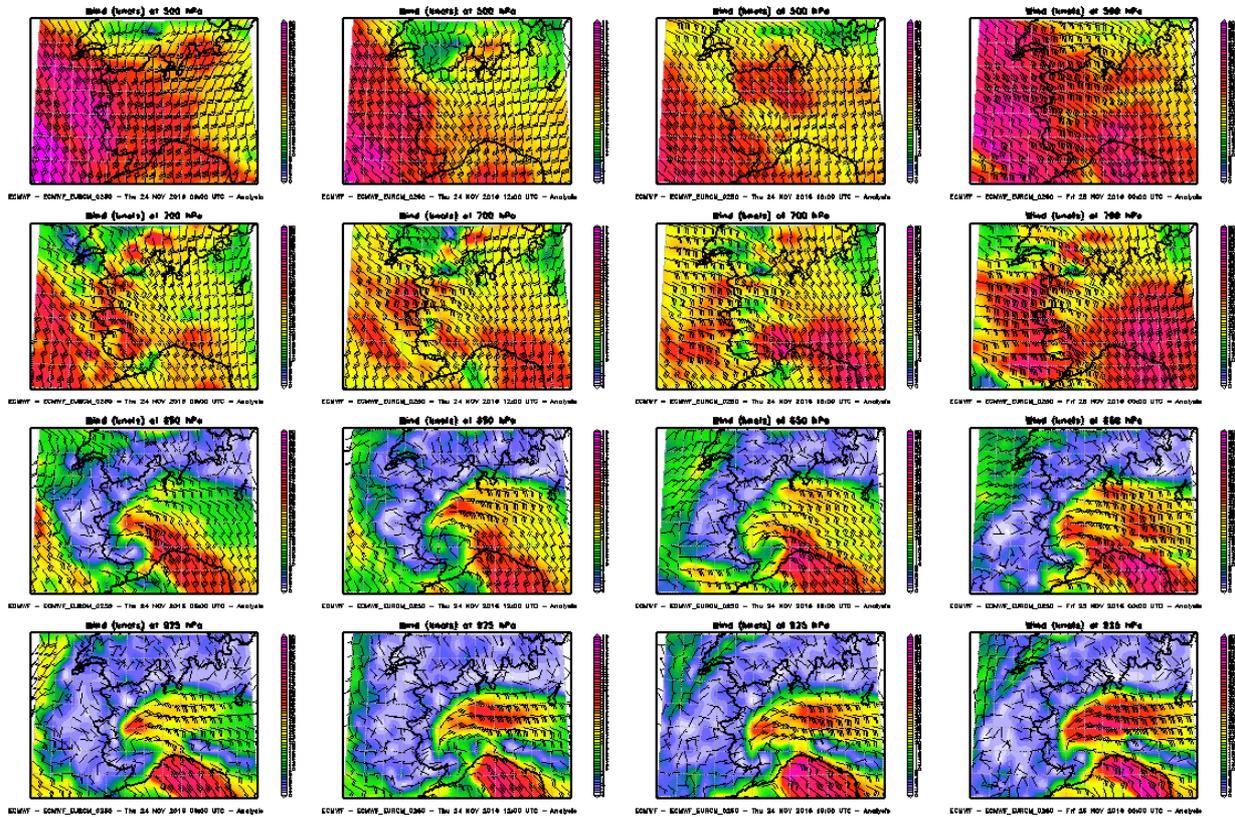


Figura 25. Analisi dei venti alle quote sinottiche principali nella giornata del 24 novembre 2016

L'interazione delle correnti con l'orografia apporta i maggiori quantitativi di precipitazione nelle vallate alpine occidentali e sudoccidentali, dove il flusso impatta maggiormente (Figura 26).

### Precipitation (mm/24hr) at Fri 25NOV2016 00:00 UTC

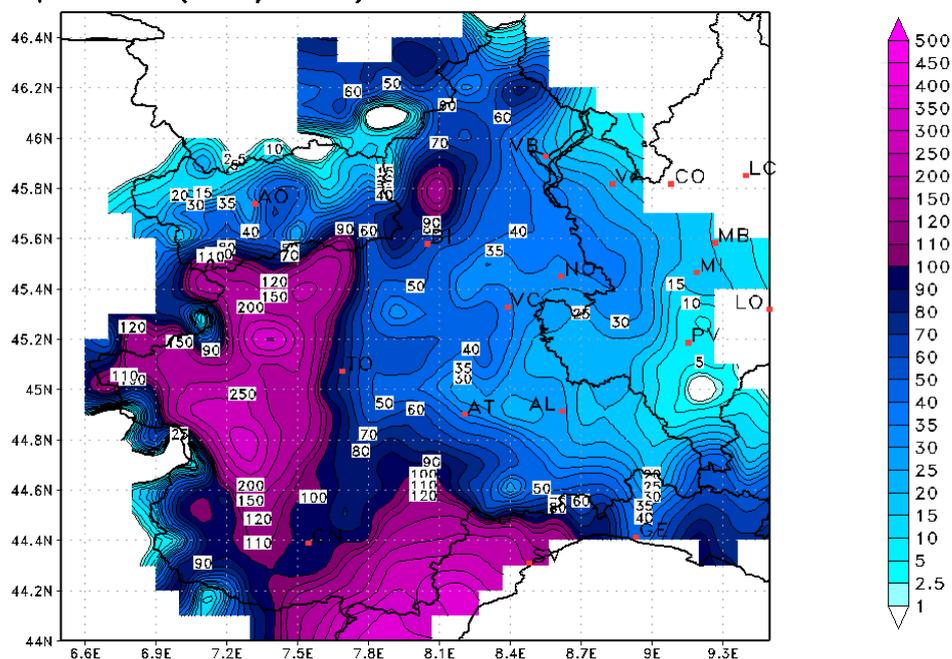


Figura 26. Precipitazioni cumulate durante la giornata del 24 novembre 2016

Le precipitazioni più abbondanti nella giornata del 24 interessano tutte le zone montane e pedemontane fino ai primi tratti di pianura adiacenti comprese tra Alpi Graie, Cozie, Marittime orientali, Liguri ed Appennino occidentale, con valori cumulati superiori anche ai 350 mm su alcune stazioni del Torinese e del Cuneese (363 mm a Niquidetto e 351 mm a Viù nel Torinese, 385 mm a Barge, 347 a Ponte di Nava nel Cuneese).

Durante la giornata la quota delle nevicate si mantiene tra i 1800 m ed i 2000 m, scendendo localmente intorno ai 1600 m dove le precipitazioni sono più intense.

È importante notare come le correnti nei bassi strati atmosferici si intensifichino cospicuamente (superiori a 30 m/s anche al di sotto dei 1000 m di quota) e si dispongano dai quadranti nordorientali sulla pianura padana, contribuendo ad un trasporto del vapore acqueo dell'atmosfera verso le zone pedemontane di torinese e cuneese (Figura 27).

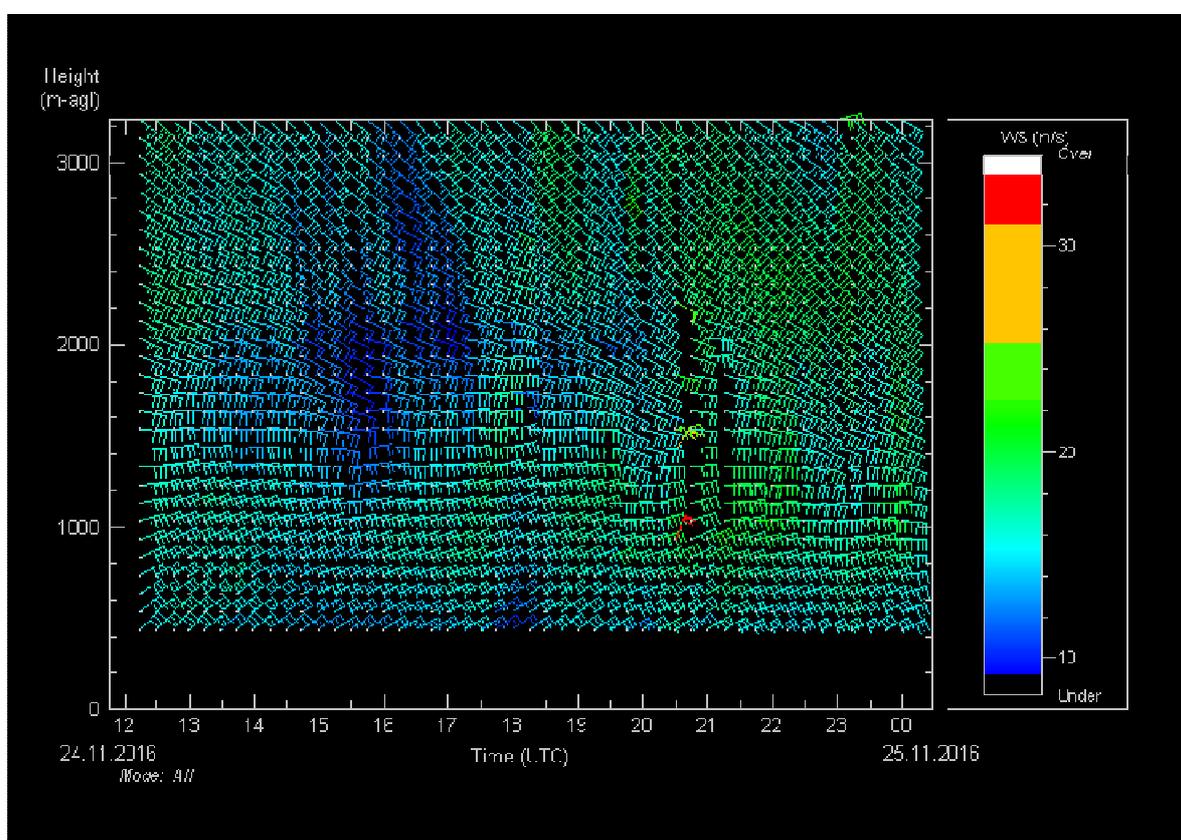
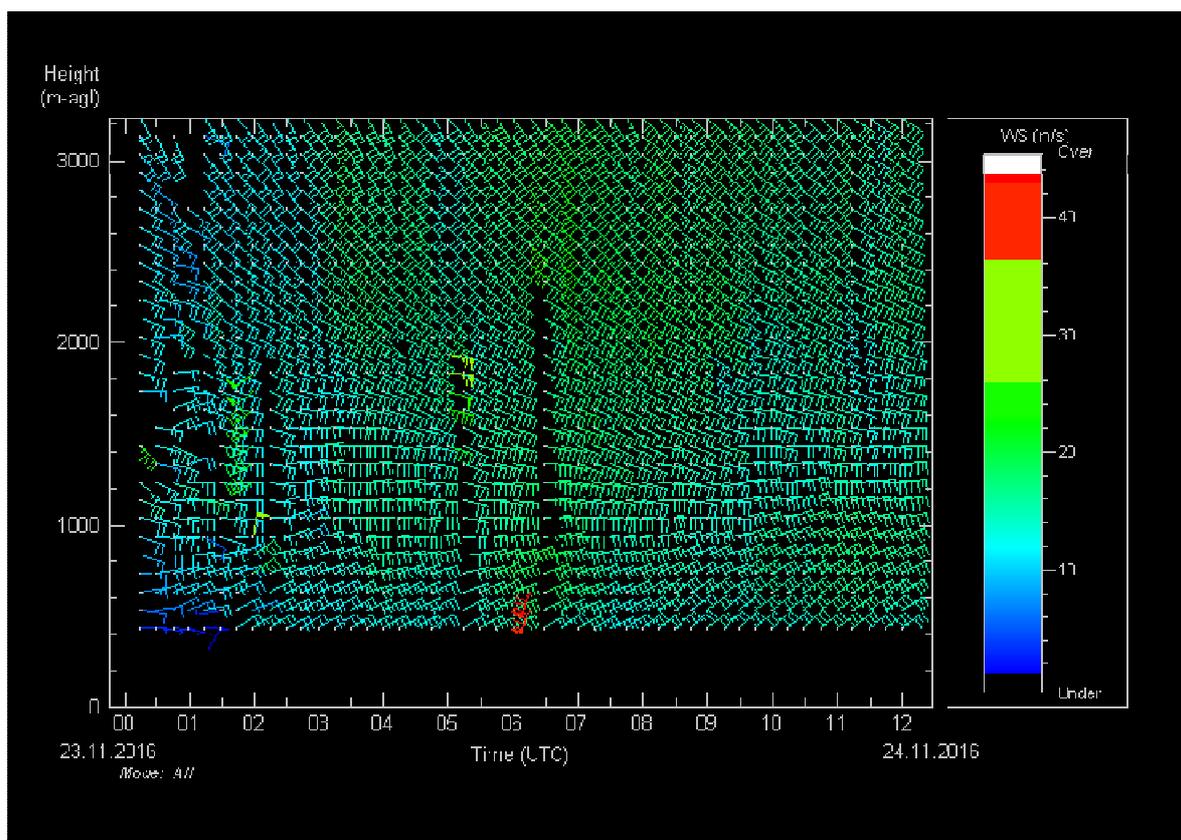


Figura 27. Osservazioni da remoto del vento fino a 3000 m mediante il wind profiler posizionato a Torino in corso Stati Uniti nella giornata del 24 novembre 2016

## Venerdì 25 novembre 2016

La circolazione depressionaria mantiene ancora tempo diffusamente perturbato sulla regione fino al primo mattino (Figura 28). Successivamente, il minimo tende a espandersi e colmarsi gradualmente, attenuando il gradiente di pressione. Le correnti a tutte le quote vanno indebolendosi in maniera significativa, favorendo dapprima un'attenuazione delle precipitazioni sul basso Piemonte e poi un esaurimento su questi settori nel corso della mattinata.

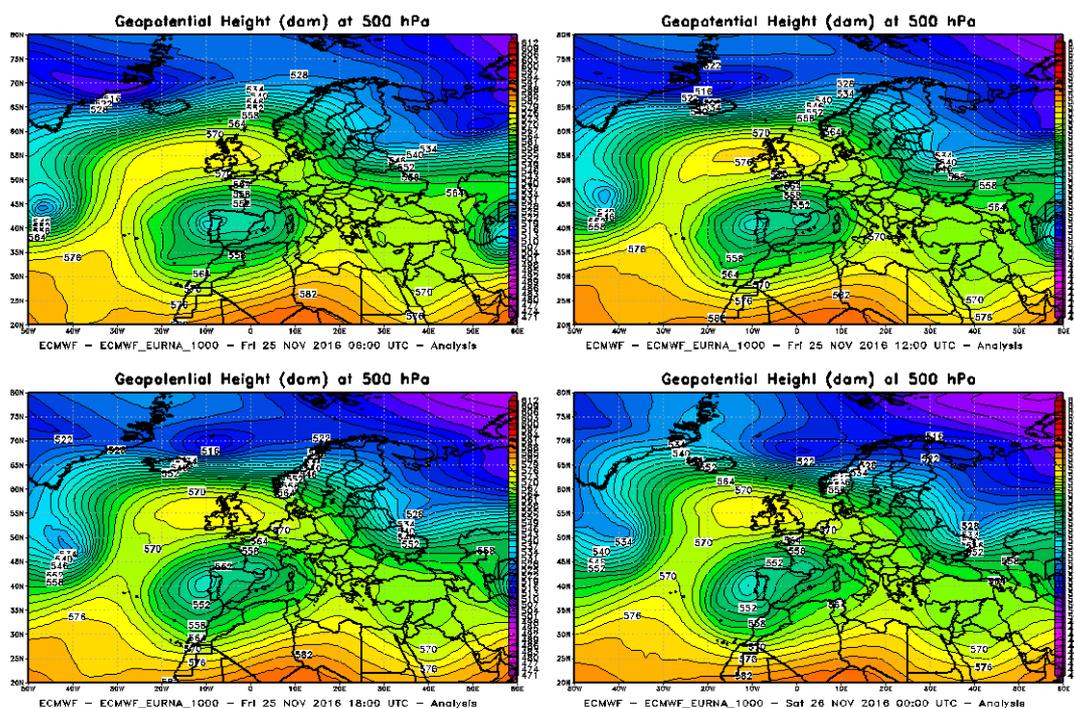
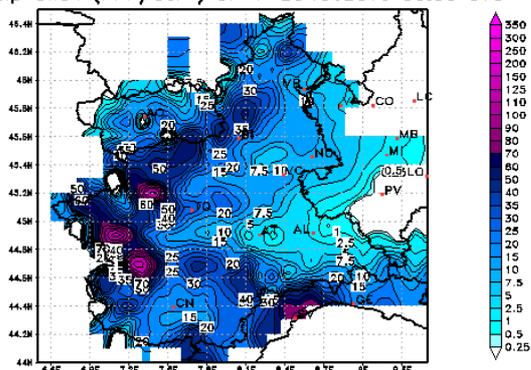


Figura 28. Analisi dell'altezza di geopotenziale a 500 hPa nella giornata del 25 novembre 2016

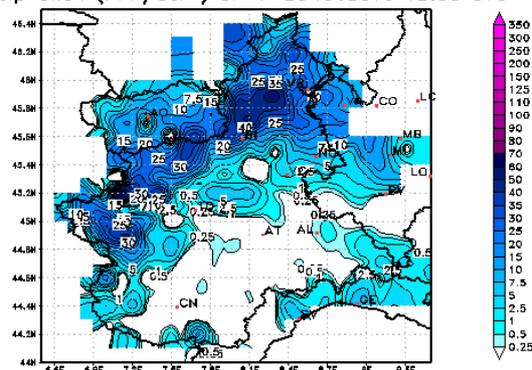
Le precipitazioni interessano invece ancora il settore alpino nordoccidentale e settentrionale nella prima parte della giornata (Figura 29), con valori localmente anche molto forti: tra Alpi Graie e Cozie le precipitazioni cumulate sulle 24 ore sono comprese tra i 130 mm ed i 160 mm, sul Biellese si evidenziano i 110 mm misurati nella stazione di Campariet. Su Alpi Liguri e Appennino occidentale, le cumulate risultano molto inferiori (intorno ai 40 mm), dato l'esaurimento delle precipitazioni su questi settori al primo mattino.

Dal pomeriggio rimangono sulla regione condizioni di spiccata variabilità, sino a quando un minimo secondario in quota, in formazione sui Pirenei, convoglia aria relativamente instabile. Gli effetti di questa situazione si traducono in rovesci sparsi, al più moderati, sui settori occidentale e settentrionale del Piemonte.

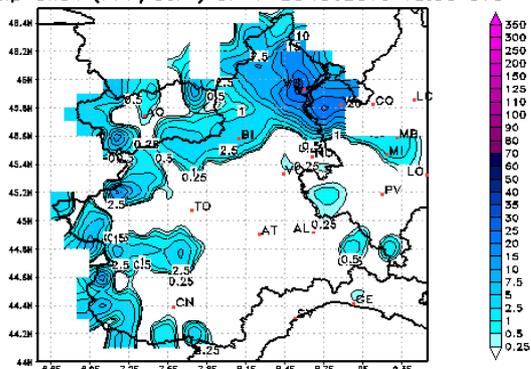
Precipitation (mm/06hr) at Fri 25NOV2016 06:00 UTC



Precipitation (mm/06hr) at Fri 25NOV2016 12:00 UTC



Precipitation (mm/06hr) at Fri 25NOV2016 18:00 UTC



Precipitation (mm/06hr) at Sat 26NOV2016 00:00 UTC

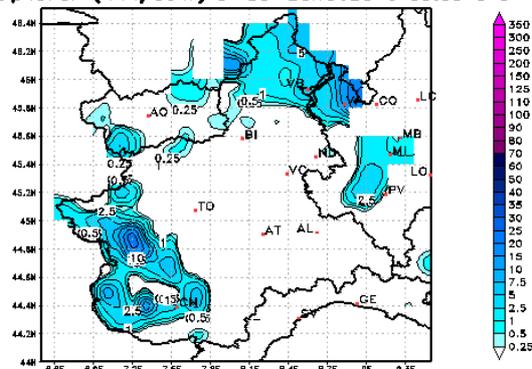


Figura 29. Precipitazioni cumulate esaorarie durante la giornata del 25 novembre 2016

Anche in quest'ultima fase dell'evento la quota delle nevicate si mantiene tra i 1800 m ed i 2000 m, scendendo localmente intorno ai 1600 m sotto le precipitazioni più intense del mattino.

## ANALISI PLUVIOMETRICA

Tra il 21 e il 25 novembre 2016 il Piemonte è stato interessato da precipitazioni molto forti che hanno interessato l'intera regione con particolare insistenza, inizialmente, nel cuneese ed alessandrino al confine con la Liguria, e successivamente nelle zone del vercellese, biellese e alto torinese. Le precipitazioni più intense di tutto l'evento sono state registrate il 24 novembre sul settore occidentale della regione e ancora al confine con la Liguria nell'alta val Tanaro. Durante la giornata del 25 novembre le precipitazioni hanno ulteriormente coinvolto il torinese e l'alta provincia di Cuneo con valori puntuali significativi.

Nella (Tabella 1) vengono riportate le piogge medie areali giornaliere e totali sui bacini idrografici piemontesi (Figura 30) durante l'evento del 21–25 novembre 2016.

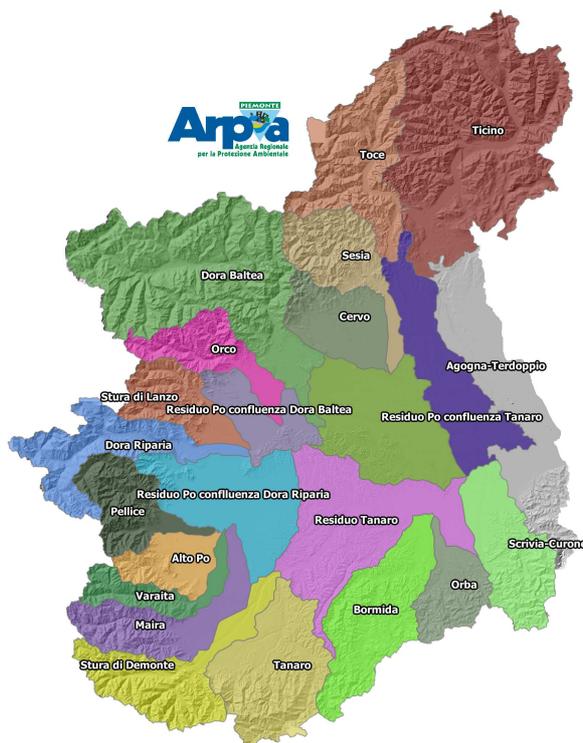


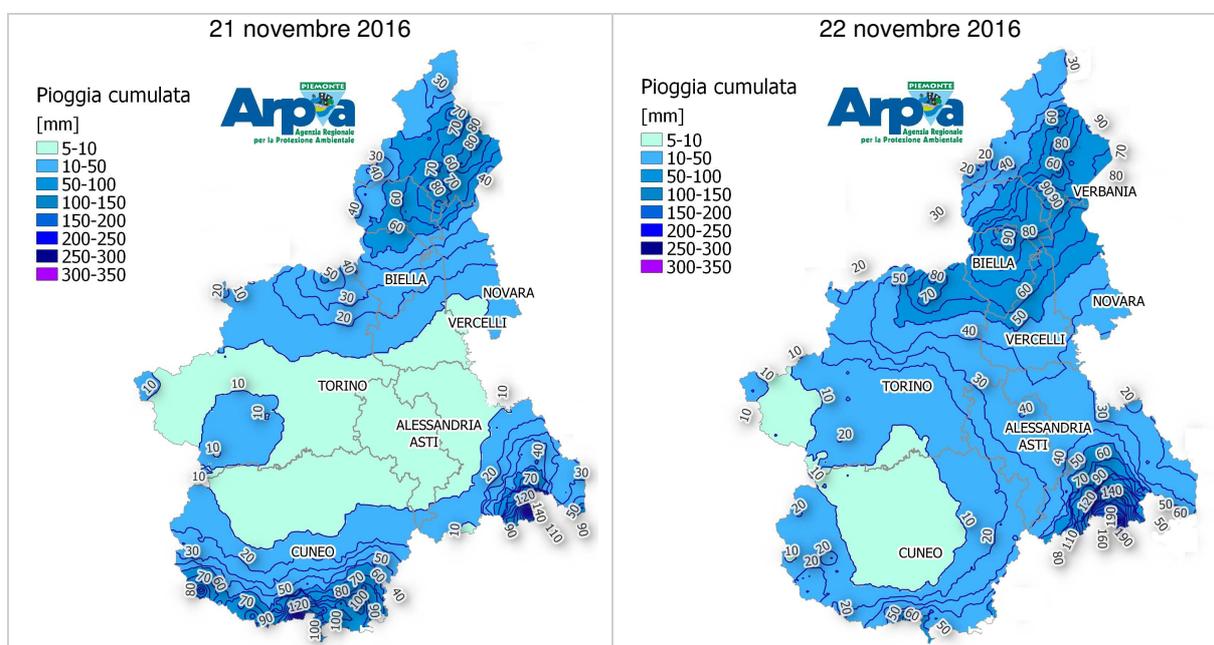
Figura 30. Bacini idrografici piemontesi

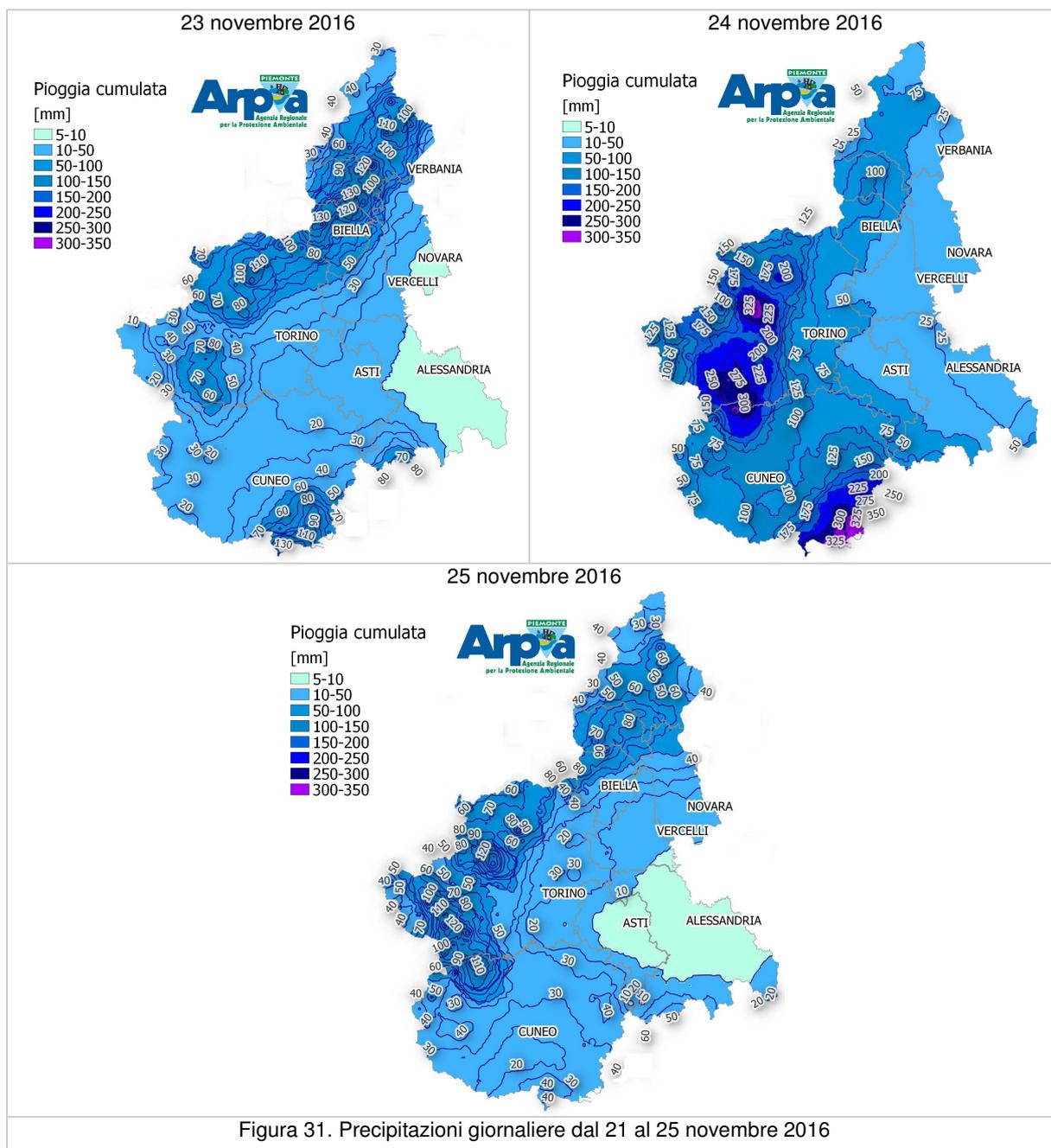
Tabella 1. Totali di pioggia espressi in millimetri nelle giornate dell'evento.

Bacino	Precipitazione [mm]					
	21 novembre	22 novembre	23 novembre	24 novembre	25 novembre	Totale
Alto Po	6,5	6,3	35,2	186,6	74,9	309,4
Pellice	10,6	10,9	49,1	219,9	88,4	378,9
Varaita	7,8	9,0	25,5	107,9	42,3	192,5
Maira	13,1	9,0	26,8	99,7	33,3	181,9
Residuo Po confluenza Dora Riparia	6,1	12,7	26,8	120,4	29,0	194,9
Dora Riparia	6,1	10,6	28,5	144,5	53,9	243,4
Stura di Lanzo	11,1	30,5	65,7	188,3	76,5	372,0
Orco	20,0	44,3	72,3	119,0	58,4	314,0
Residuo Po confluenza Dora Baltea	10,6	32,3	47,4	95,6	36,9	222,8

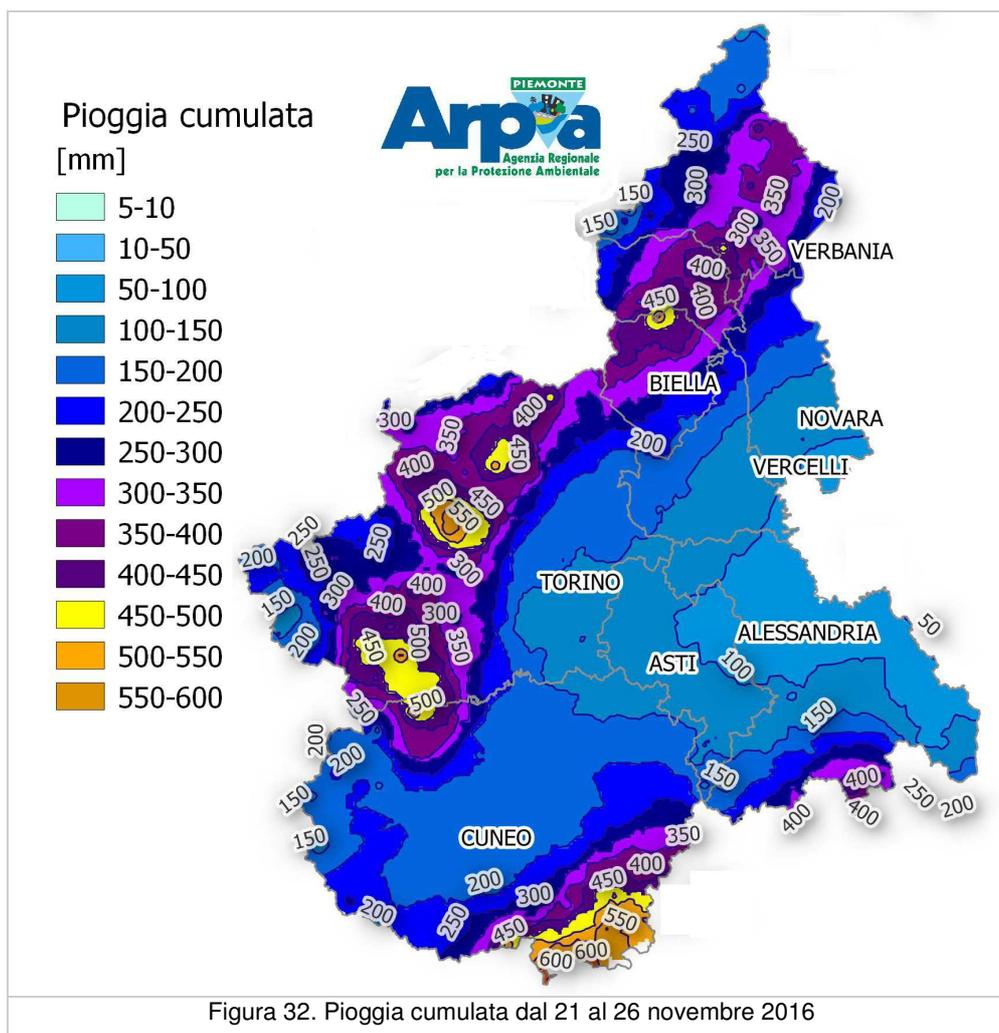
Bacino	Precipitazione [mm]					
	21 novembre	22 novembre	23 novembre	24 novembre	25 novembre	Totale
Dora Baltea	15,3	25,5	40,5	51,3	33,8	166,5
Cervo	31,1	69,1	77,7	56,1	36,7	270,7
Sesia	47,0	65,6	82,6	69,4	59,7	324,3
Residuo Po confluenza Tanaro	7,0	39,1	18,0	35,5	11,1	110,7
Stura di Demonte	46,1	17,0	28,7	96,7	24,8	213,2
Tanaro	52,1	23,6	61,7	191,8	27,8	357,0
Bormida	17,1	50,3	45,0	137,0	27,4	276,7
Orba	48,2	125,9	22,8	53,1	19,2	269,3
Residuo Tanaro	7,4	30,2	15,1	55,5	12,7	120,9
Scrivia Curone	47,9	32,5	0,6	29,8	9,5	120,4
Agogna Terdoppio	16,5	37,3	12,9	31,4	18,2	116,3
Toce	50,6	46,8	61,4	52,4	49,4	260,6
Ticino svizzero	49,4	57,3	33,9	16,7	28,8	186,1
<b>Bacino del Po a Ponte Becca (PV)</b>	<b>25,7</b>	<b>35,9</b>	<b>35,6</b>	<b>78,5</b>	<b>32,8</b>	<b>208,5</b>

Come si può notare dalla Tabella 1, nella sola giornata del 24 novembre sono caduti 220 mm sul bacino del Pellice e 192 mm sull'alto Tanaro. Nella Figura 31 si riportano le mappe delle piogge cumulate giornaliere sul Piemonte dal 21 al 25 novembre 2016.





Nella Figura 32 si evidenziano le zone dove le precipitazioni sono state più intense: Tanaro, Alto Po, Pellice e Canavese.



La Tabella 2 contiene i valori più significativi di pioggia giornaliera per le stazioni pluviometriche della rete automatica di monitoraggio gestita da Arpa Piemonte dal 21 al 25 novembre ed il totale dei 5 giorni (in grassetto evidenziate le stazioni che hanno registrato il totale maggiore, una per ogni zona di allerta).

Tabella 2. Pioggia cumulata giornaliera e totale evento per le stazioni più significative, valori espressi in millimetri.

Zona di allerta	Bacino	Comune	Provincia	Stazione	21 novembre	22 novembre	23 novembre	24 novembre	25 novembre	Totale
<b>A</b>	<b>TICINO</b>	<b>VALSTRONA</b>	<b>VB</b>	<b>SAMBUGHETTO</b>	82,2	91,0	152,0	64,0	90,6	479,8
A	TICINO	MONTECRESTESE	VB	LARECCHIO	82,0	68,4	129,2	102,6	97,2	479,4
A	TICINO	TRONTANO	VB	MOTTAC	78,0	86,4	131,8	68,0	68,2	432,4
A	TICINO	CESARA	VB	CESARA	88,4	95,6	108,0	52,4	72,6	417,0
A	TICINO	COSSOGNO	VB	CICOGNA	95,8	96,6	108,2	34,4	64,8	399,8
<b>B</b>	<b>SESIA</b>	<b>TRIVERO</b>	<b>BI</b>	<b>CAMPARIENT</b>	64,8	105,2	166,0	139,4	115,8	591,2
B	DORA BALTEA	TRAVERSELLA	TO	TRAVERSELLA	60,4	89,0	126,0	149,0	84,6	509,0
B	SESIA	BIELLA	BI	OROPA	51,2	83,2	150,8	84,8	76,2	446,2
B	DORA BALTEA	PONTOBOSSET	AO	PONTOBOSSET-FOURNIER	31,2	51,6	104,2	154,4	99,6	441,0
B	SESIA	TRIVERO	BI	TRIVERO	54,6	95,8	130,6	80,4	68,0	429,4

Zona di allerta	Bacino	Comune	Provincia	Stazione	21 novembre	22 novembre	23 novembre	24 novembre	25 novembre	Totale
B	SESIA	PIEDICAVALLO	BI	PIEDICAVALLO	60,4	75,8	128,6	78,2	79,6	422,6
B	SESIA	SABBIA	VC	SABBIA	68,0	78,2	105,0	68,2	80,0	399,4
B	SESIA	FOBELLO	VC	FOBELLO	58,4	56,2	107,2	88,8	88,2	398,8
B	DORA BALTEA	LILLIANES	AO	LILLIANES-GRANGES	27,6	46,6	138,4	87,0	94,4	394,0
B	SESIA	VARALLO	VC	VARALLO	63,6	78,4	116,4	56,0	79,6	394,0
B	SESIA	BOCCIOLETO	VC	BOCCIOLETO	52,8	49,6	91,2	113,4	84,8	391,8
<b>C</b>	<b>STURA DI LANZO</b>	<b>VIU'</b>	<b>TO</b>	<b>NIQUIDETTO</b>	<b>2,8</b>	<b>18,0</b>	<b>69,2</b>	<b>353,4</b>	<b>166,2</b>	<b>609,6</b>
C	PO	CORIO	TO	PIANO AUDI	19,4	51,0	129,4	248,6	130,6	579,0
C	STURA DI LANZO	VARISELLA	TO	VARISELLA	7,2	23,8	88,0	281,8	79,8	480,6
C	ORCO	SPARONE	TO	SPARONE	22,8	57,2	123,2	192	70,4	465,6
C	PO	COAZZE	TO	COAZZE	20,2	22,6	94,2	256,4	72,2	465,6
C	STURA DI LANZO	LEMIE	TO	LEMIE	7,0	23,6	66,4	249,2	111,2	457,4
C	STURA DI LANZO	BALME	TO	BALME	17,0	38,2	65,6	207,0	103,2	431,0
C	PO	PINEROLO	TO	TALUCCO	15,0	13,4	47,6	252,0	78,0	406
C	STURA DI LANZO	ALA DI STURA	TO	ALA DI STURA	15,0	35,4	80,4	185,0	87,6	403,4
C	ORCO	COLLERETTO CASTELNUOVO	TO	COLLERETTO	23,6	73,0	77,2	132,2	77,2	383,2
<b>D</b>	<b>ALTO PO</b>	<b>BARGE</b>	<b>CN</b>	<b>BARGE</b>	<b>8,6</b>	<b>10,4</b>	<b>56</b>	<b>375,6</b>	<b>142,8</b>	<b>593,4</b>
D	PELLICE	ANGROGNA	TO	VACCERA	18,0	22,6	71,8	320,8	147,2	580,4
D	PELLICE	PRALI	TO	PRALY	11,0	7,6	48,8	273,4	159,6	500,4
D	PELLICE	LUSERNA SAN GIOVANNI	TO	LUSERNA S. GIOVANNI	14,0	12,6	53,2	278,0	94,6	452,4
D	PELLICE	MASSELLO	TO	MASSELLO	12,6	14,2	56,2	247,2	115,0	445,2
D	ALTO PO	PAESANA	CN	PAESANA ERASCA	5,6	3,6	39,0	232	116,6	396,8
<b>E</b>	<b>TANARO</b>	<b>LIMONE PIEMONTE</b>	<b>CN</b>	<b>LIMONE PANCANI</b>	<b>216,8</b>	<b>75,6</b>	<b>62,8</b>	<b>152,6</b>	<b>38,4</b>	<b>546,2</b>
E	TANARO	VINADIO	CN	VINADIO S, BERNOLFO	116,6	34,0	15,6	88,2	22,0	276,4
<b>F</b>	<b>TANARO</b>	<b>BRIGA ALTA</b>	<b>CN</b>	<b>PIAGGIA</b>	<b>93,0</b>	<b>59,2</b>	<b>164,2</b>	<b>295,8</b>	<b>51,0</b>	<b>663,2</b>
F	TANARO	ORMEA	CN	PONTE DI NAVA TANARO	87,8	43,6	126,6	343,0	31,6	632,6
F	TANARO	GARESSIO	CN	MONTE BERLINO	121,4	48,6	113,6	307,8	29,2	620,6
F	TANARO	BRIGA ALTA	CN	UPEGA	71,0	42,2	137,8	303,6	29,0	583,6
F	TANARO	VIOLA	CN	VIOLA	87,4	29,8	98,8	264,8	28,4	509,2
F	TANARO	FRABOSA SOTTANA	CN	BORELLO	109,6	38,0	79,8	246,4	27,2	501,0
F	TANARO	GARESSIO	CN	COLLE SAN BERNARDO	59,4	45,0	63,8	287,8	25,6	481,6
F	TANARO	PAMPARATO	CN	PAMPARATO	56,2	19,6	86,2	273,6	29,8	465,4
F	TANARO	ROCCAFORTE MONDOVI'	CN	RIFUGIO MONDOVI'	112,2	60,0	63,0	150,6	64,4	450,2
F	TANARO	PERLO	CN	PERLO	49,6	27,0	48,4	243,6	29,4	398,0
<b>G</b>	<b>TANARO</b>	<b>CALIZZANO</b>	<b>SV</b>	<b>SETTEPANI</b>	<b>41,0</b>	<b>95,4</b>	<b>81,2</b>	<b>350,8</b>	<b>44,0</b>	<b>612,4</b>
G	TANARO	CALIZZANO	SV	CALIZZANO	38,6	45,2	63,6	383,8	29,6	560,8
G	TANARO	OSIGLIA	SV	OSIGLIA	41,0	72,6	72,2	275,4	41,4	502,6
G	TANARO	SASSELLO	SV	PIAMPALUDO	5,2	204,0	94,0	121,6	68,0	492,8
G	TANARO	MALLARE	SV	MALLARE	18,6	84,2	68,2	256,8	49,0	476,8

Zona di allerta	Bacino	Comune	Provincia	Stazione	21 novembre	22 novembre	23 novembre	24 novembre	25 novembre	Totale
G	TANARO	BOSIO	AL	CAPANNE MARCAROLO	113	234,0	12,8	76,6	26,2	462,6
G	TANARO	CAIRO MONTENOTTE	SV	MONTENOTTE INFERIORE	9,8	86,8	87,4	199,8	77,4	461,2
G	TANARO	MURIALDO	SV	MURIALDO BORMIDA DI MILLESIMO	34,0	51,0	62,2	247	30,4	424,6
G	TANARO	CAIRO MONTENOTTE	SV	CAIRO MONTENOTTE	21,0	44,8	57,8	223,2	39,4	386,2
H	SCRIVIA	FRACONALTO	AL	FRACONALTO	235	75,2	2,0	38,0	14,0	364,2
I	DORA BALTEA	VIALFRE'	TO	VIALFRE'	23,4	49,2	70	60,8	32,4	235,8
I	DORA BALTEA	PARELLA	TO	PARELLA CHIUSELLA	26,0	51,6	71,8	54,2	30,6	234,2
L	PELLICE	PINEROLO	TO	SAN MARTINO CHISONE	16,0	13,0	55,0	249,2	57,0	390,2
L	PO	PINEROLO	TO	PINEROLO	10,6	11,4	44,4	223,8	44,4	334,6
M	PELLICE	VILLAFRANCA PIEMONTE	TO	VILLAFRANCA PELLICE	7,0	5,4	27,4	168,8	32,2	240,8
M	ALTO PO	SALUZZO	CN	SALUZZO	4,4	4,4	24,6	121	39,6	194,0

Le stazioni caratterizzate dalle precipitazioni più intense sono state: Piaggia (CN) con 633 mm, Ponte di Nava Tanaro (CN) con 621 mm e Calizzano (SV) con 612 mm nell'Alto Tanaro.

Nel bacino della Stura di Lanzo, la stazione Niquidetto, ubicata nel Comune di Viù (TO), con 610 mm ha registrato i quantitativi maggiori di pioggia mentre nell'Alto Po, il pluviometro di Barge (CN) ha registrato 593 mm.

Tali valori rappresentano a livello di stazione più del 50% della precipitazione media annuale; a livello del bacino del Po chiuso a Ponte Becca (PV), e quindi comprendendo il Ticino Svizzero e la Valle D'Aosta, il contributo totale, di circa 210 mm, rappresenta il 20% circa della precipitazione totale annua.

Nella tabella 3 si riportano i valori massimi di pioggia per le durate da 1 a 24 ore registrati dalle stazioni pluviometriche. Anche da quest'analisi si evidenziano le intensità molto elevate delle precipitazioni in particolare per durate di 24 ore.

Tabella 3. Massimi di pioggia per diverse durate per le stazioni più significative, valori espressi in millimetri.

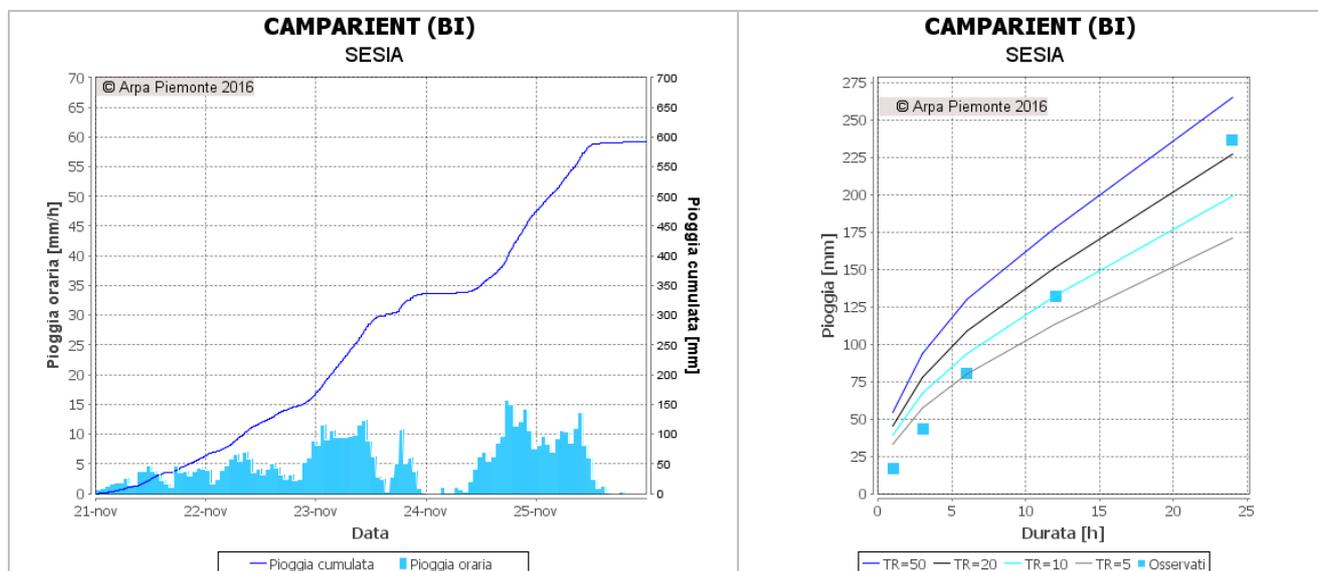
Zona di allerta	Bacino	Comune	Provincia	Stazione	Max 1 h	Max 3 h	Max 6 h	Max 12 h	Max 24 h
A	TICINO	VALSTRONA	VB	SAMBUGHETTO	12,8	34	53,4	95,2	161,0
A	TICINO	MONTECRETESE	VB	LARECCHIO	10,2	26,4	42,6	79,2	143,8
A	TICINO	TRONTANO	VB	MOTTAC	10,8	23,4	44,4	73,4	136,6
B	SEZIA	TRIVERO	BI	CAMPARIENT	16,4	43	80,6	132	236,2
B	DORA BALTEA	PONTBOSET	AO	PONTBOSET-FOURNIER	17	35,8	59,8	115	208,8
B	DORA BALTEA	TRAVERSELLA	TO	TRAVERSELLA	16,2	41,4	72,2	124,6	207,6
C	STURA DI LANZO	VIU'	TO	NIQUIDETTO	26,4	74	130,2	237,8	403,6
C	STURA DI LANZO	VARISELLA	TO	VARISELLA	23	52,8	90,6	158	307,0
C	PO	CORIO	TO	PIANO AUDI	19,8	50,2	86,8	159,4	296,2
C	PO	PINEROLO	TO	TALUCCO	15,2	43,8	82,8	151	270,4

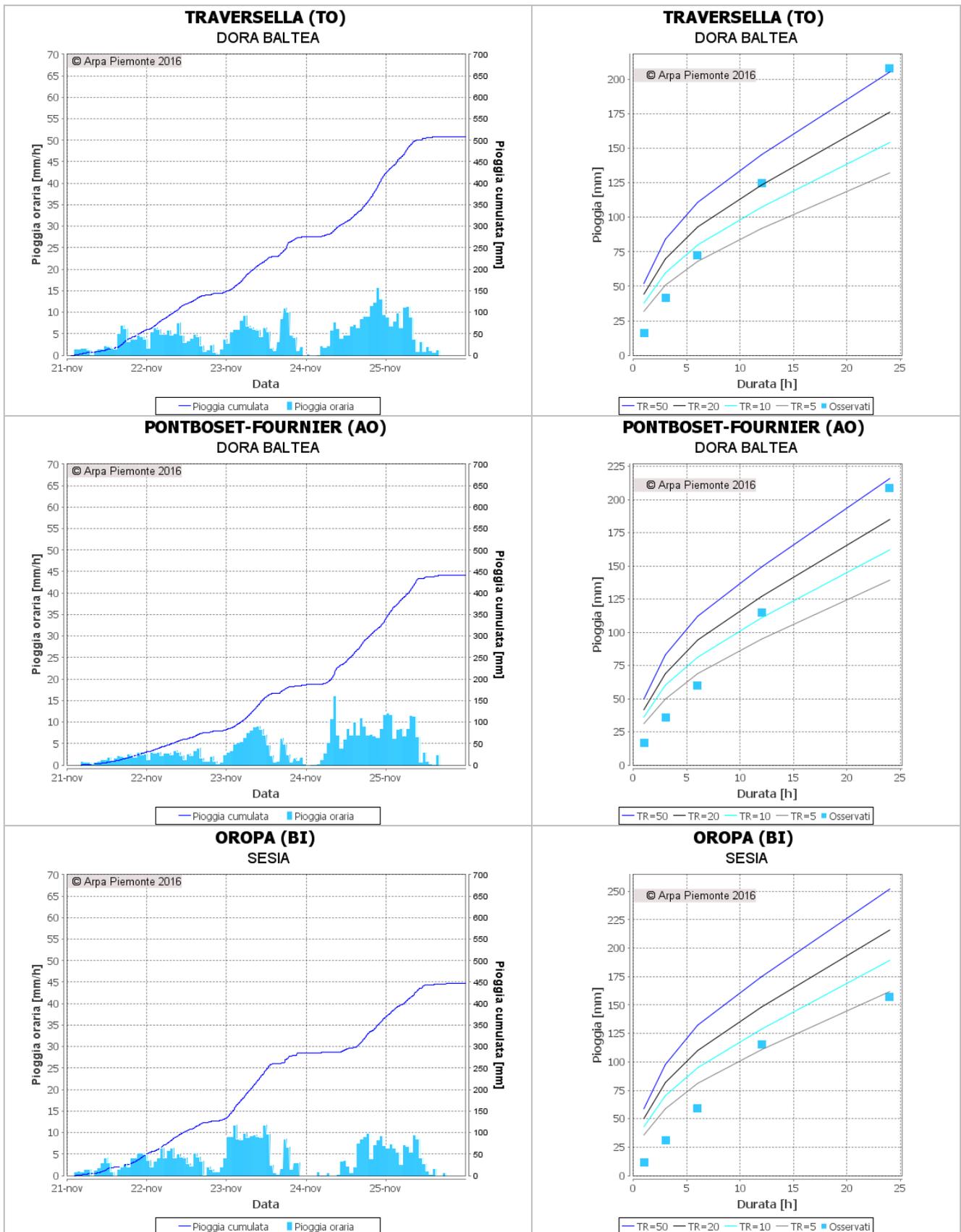
Zona di allerta	Bacino	Comune	Provincia	Stazione	Max 1 h	Max 3 h	Max 6 h	Max 12 h	Max 24 h
C	PO	COAZZE	TO	COAZZE	18	38	70	134,2	263,8
C	STURA DI LANZO	LEMIE	TO	LEMIE	14,8	41,6	80,4	143,2	262,6
C	STURA DI LANZO	BALME	TO	BALME	14,6	36,4	66,8	125	226,6
C	ORCO	SPARONE	TO	SPARONE	14,8	38,4	70,4	125,6	223,6
C	STURA DI LANZO	ALA DI STURA	TO	ALA DI STURA	13,4	35,6	63,6	117	209,4
D	ALTO PO	BARGE	CN	BARGE	29	71,4	138,8	244,2	433,8
D	PELLICE	ANGROGNA	TO	VACCERA	21,4	58,6	98,4	184,8	330,6
D	PELLICE	PRALI	TO	PRALY	23,8	64,4	122	205,6	327,6
D	ALTO PO	PAESANA	CN	PAESANA ERASCA	26,2	66,2	112,8	170,4	292,6
D	PELLICE	LUSERNA SAN GIOVANNI	TO	LUSERNA S. GIOVANNI	17,6	39,4	75,6	140,6	278,6
D	ALTO PO	PAESANA	CN	PAESANA	26,6	68,2	108,2	161,2	261,8
D	PELLICE	MASSELLO	TO	MASSELLO	14,2	41,2	77,4	137,4	258,4
D	PELLICE	BOBBIO PELLICE	TO	BOBBIO PELLICE	12,6	35,6	67	127,4	235,0
D	PELLICE	PRAGELATO	TO	CLOT DELLA SOMA	12,6	34,2	63	115,2	216,8
D	DORA RIPARIA	CHIOMONTE	TO	FINIERE	12,6	36,6	64,6	121,6	213,6
D	DORA RIPARIA	SALBERTRAND	TO	SALBERTRAND	13,8	34	61,8	104,6	205,8
D	PELLICE	PERRERO	TO	PERRERO GERMANASCA	13,2	31,2	57,4	104,8	202,6
E	TANARO	LIMONE PIEMONTE	CN	LIMONE PANCANI	16,8	46,4	80,6	135,6	226,2
F	TANARO	ORMEA	CN	PONTE DI NAVA TANARO	28,2	71,8	124,8	216,4	354,2
F	TANARO	BRIGA ALTA	CN	PIAGGIA	33,2	79,6	135,6	187,4	330,0
F	TANARO	BRIGA ALTA	CN	UPEGA	30,2	76,2	121,2	175,6	317,6
F	TANARO	GARESSIO	CN	MONTE BERLINO	32,6	74,8	118,4	188	316,4
F	TANARO	GARESSIO	CN	COLLE SAN BERNARDO	31,2	85,8	121,2	217,4	302,8
F	TANARO	PAMPARATO	CN	PAMPARATO	32,8	77	121,4	171	289,8
F	TANARO	VIOLA	CN	VIOLA	31,4	62,8	96	150,6	277,8
F	TANARO	FRABOSA SOTTANA	CN	BORELLO	31,2	72,2	118,8	173	263,6
F	TANARO	PERLO	CN	PERLO	33,8	67	110,2	156,8	258,4
F	TANARO	MOMBASIGLIO	CN	MOMBASIGLIO MONGIA	27,2	64	95,4	140,6	230,2
F	TANARO	MONTALDO DI MONDOVI'	CN	FRABOSA SOPRANA CORSAGLIA	27,8	62	94	141,6	223,6
F	TANARO	PRIERO	CN	PRIERO	26,8	53,8	81,4	144,2	221,4
F	TANARO	CEVA	CN	CEVA	22,4	53,2	82	123,4	211,0
G	TANARO	CALIZZANO	SV	SETTEPANI	43,6	117,6	173,2	320,4	396,6
G	TANARO	CALIZZANO	SV	CALIZZANO	50	128,2	182,4	273,8	395,8
G	TANARO	OSIGLIA	SV	OSIGLIA	42,2	111	151,2	246,2	315,8
G	TANARO	MALLARE	SV	MALLARE	43	100,2	147,6	239,6	308,0
G	TANARO	SASSELLO	SV	PIAMPALUDO	20,2	54,2	100	181,6	280,0
G	TANARO	CAIRO MONTENOTTE	SV	MONTENOTTE INFERIORE	54,8	104,6	157	213,6	279,2
G	TANARO	BOSIO	AL	CAPANNE MARCAROLO	31,4	67	95,8	149,4	273,0
G	TANARO	MURIALDO	SV	MURIALDO BORMIDA DI MILLESIMO	34,6	87,2	117	205	264,6
G	TANARO	CAIRO MONTENOTTE	SV	CAIRO MONTENOTTE	40	95,2	133	195,8	254,4
G	TANARO	SALICETO	CN	BERGALLI	32,4	68,4	93,2	154	229,4

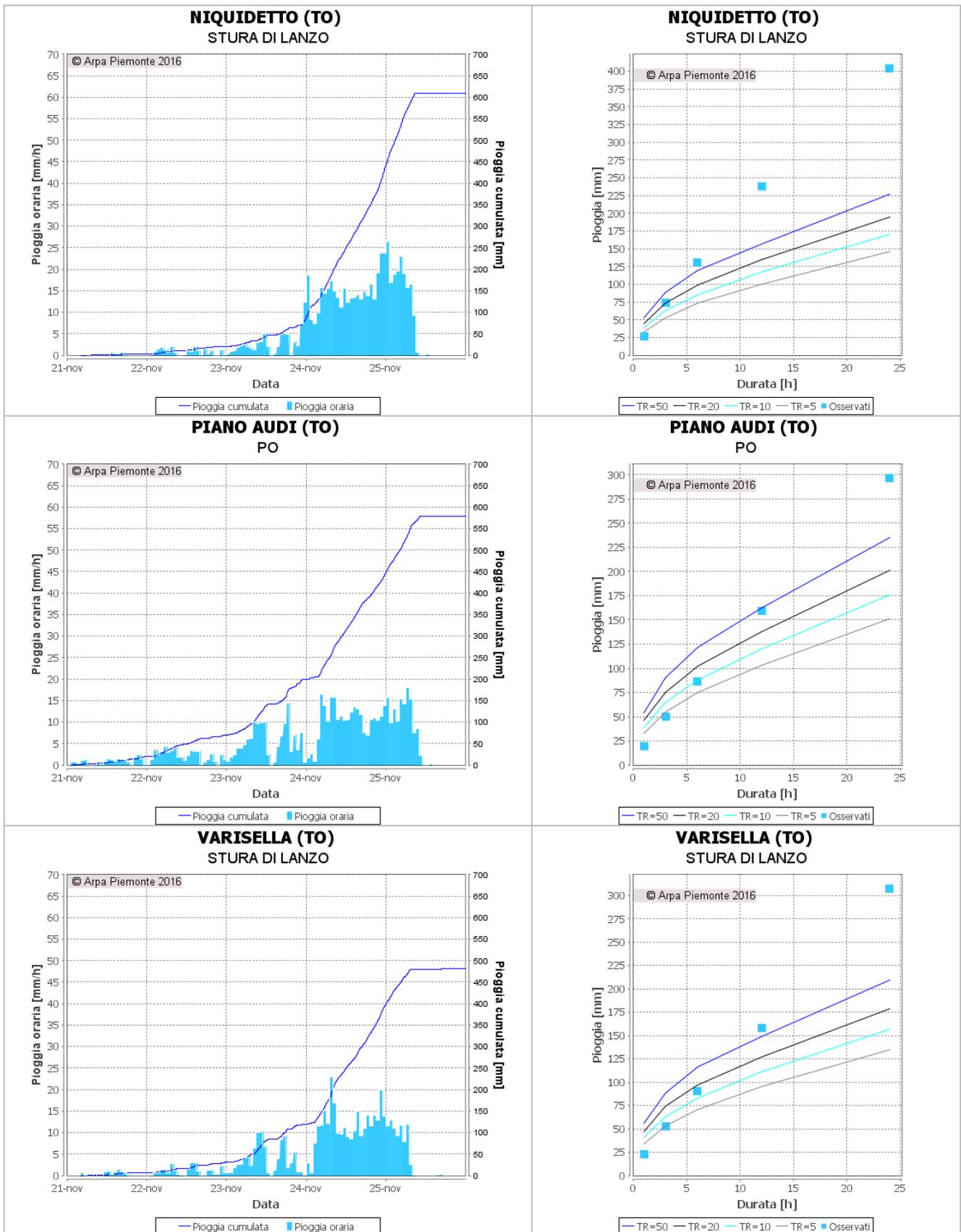
Zona di allerta	Bacino	Comune	Provincia	Stazione	Max 1 h	Max 3 h	Max 6 h	Max 12 h	Max 24 h
G	TANARO	ROSSIGLIONE	GE	ROSSIGLIONE	16,2	45,4	79,6	130,8	205,6
H	SCRIVIA	FRACONALTO	AL	FRACONALTO	46,4	112	126,8	175,8	256,2
I	TICINO	PARUZZARO	NO	PARUZZARO	8,8	19,2	33,6	46,8	92,0
L	PELLICE	PINEROLO	TO	SAN MARTINO CHISONE	16,2	38,2	65,8	125,4	249,2
L	DORA RIPARIA	RIVOLI	TO	RIVOLI LA PEROSA	15	37,4	70	124,2	230,8
L	PO	PINEROLO	TO	PINEROLO	17,2	40,8	65	119,6	227,0
L	PO	TRANA	TO	TRANA SANGONE	13,4	34,6	63,6	111,6	211,2
M	PELLICE	VILLAFRANCA PIEMONTE	TO	VILLAFRANCA PELLICE	16	37,4	66,4	113,2	174,8

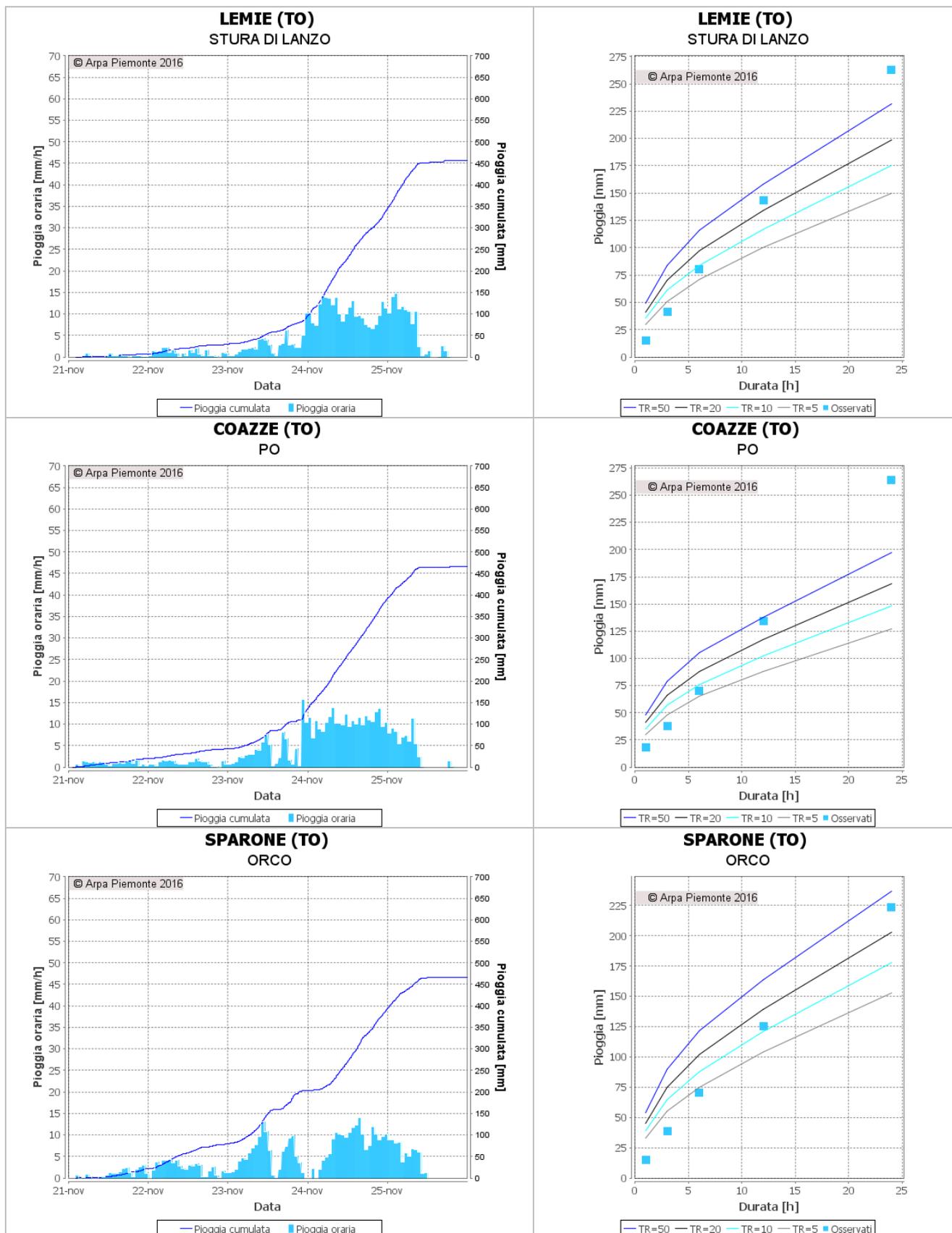
La caratterizzazione in termini statistici dell'evento si effettua mediante il confronto dei valori di altezza e durata delle precipitazioni registrate in corso d'evento con quelli relativi alle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP) utilizzate nel sistema di allerta regionale

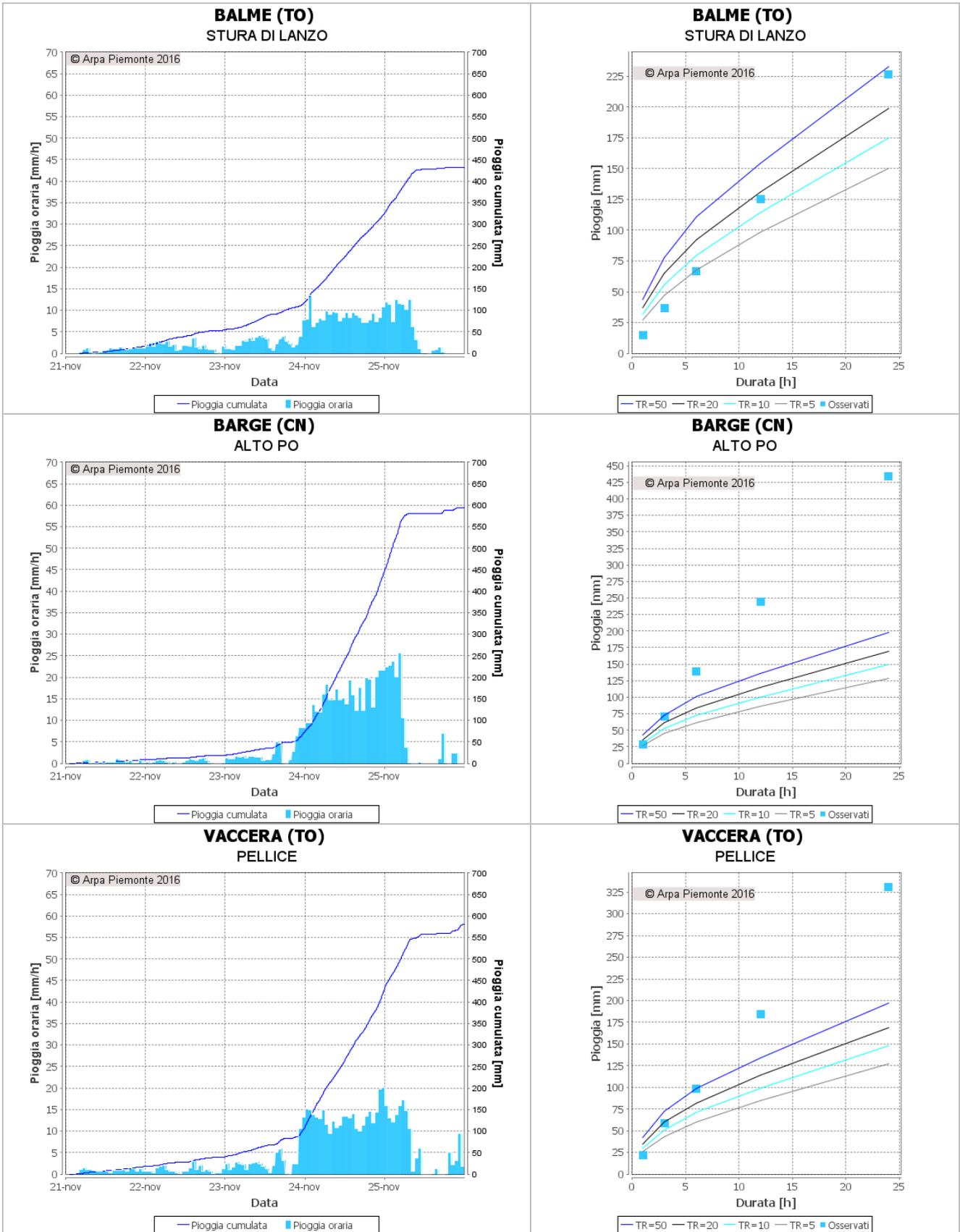
Nei grafici seguenti (Figura 33) sono riportati, per alcune stazioni ritenute più significative, gli ietogrammi a sinistra e a destra le altezze di pioggia dell'evento (asse delle ordinate), espresse in funzione delle diverse durate (1, 3, 6, 12, 24 ore - asse delle ascisse) confrontate con le curve di possibilità pluviometrica di assegnato tempo di ritorno (5, 10, 20 e 50 anni). Questo tipo di confronto consente innanzitutto di capire quali siano le durate maggiormente critiche e permettono la determinazione del tempo di ritorno del fenomeno. Nelle stazioni maggiormente coinvolte dalle precipitazioni i tempi di ritorno stimati per le durate di 24 superano abbondantemente i 50 anni.

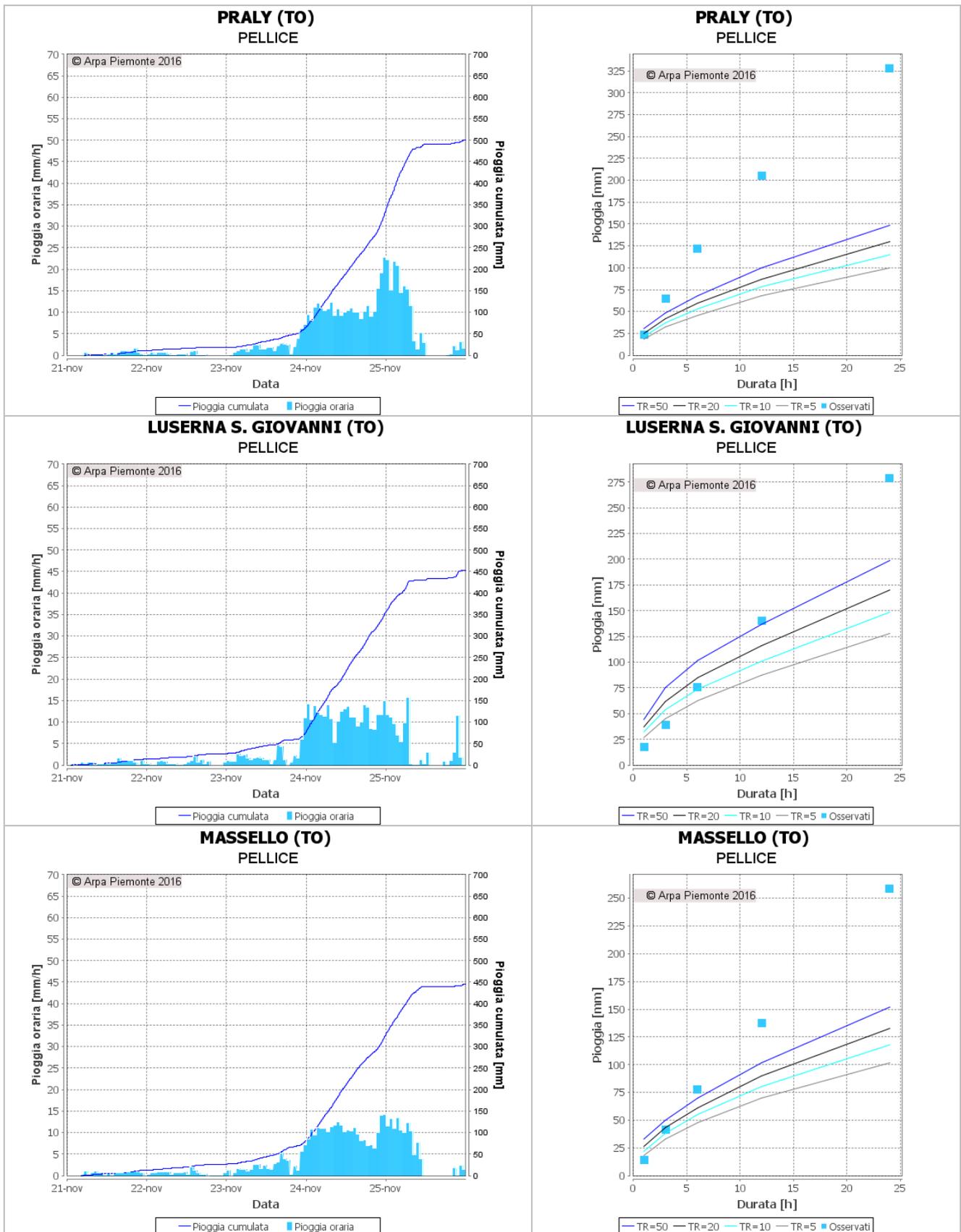


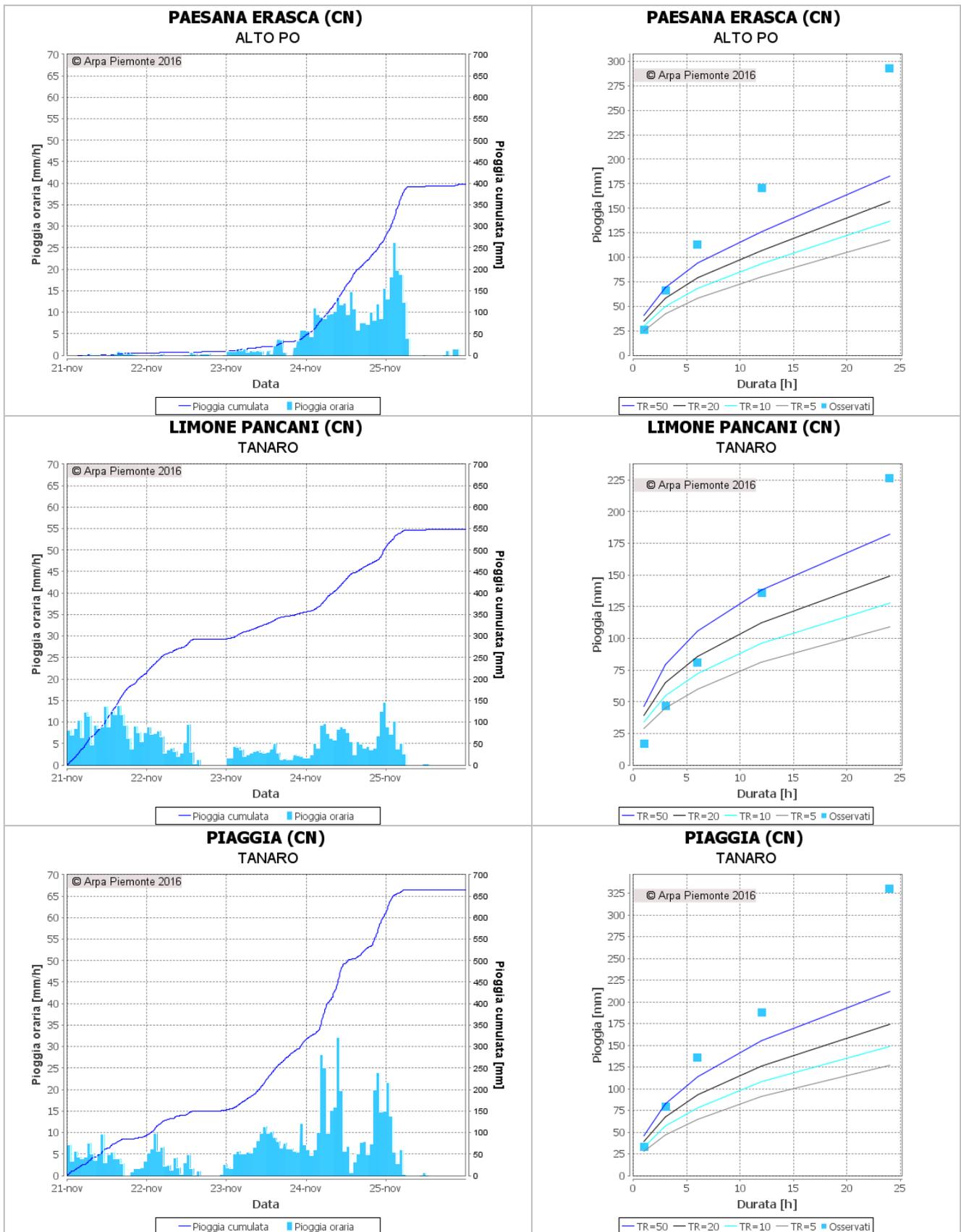


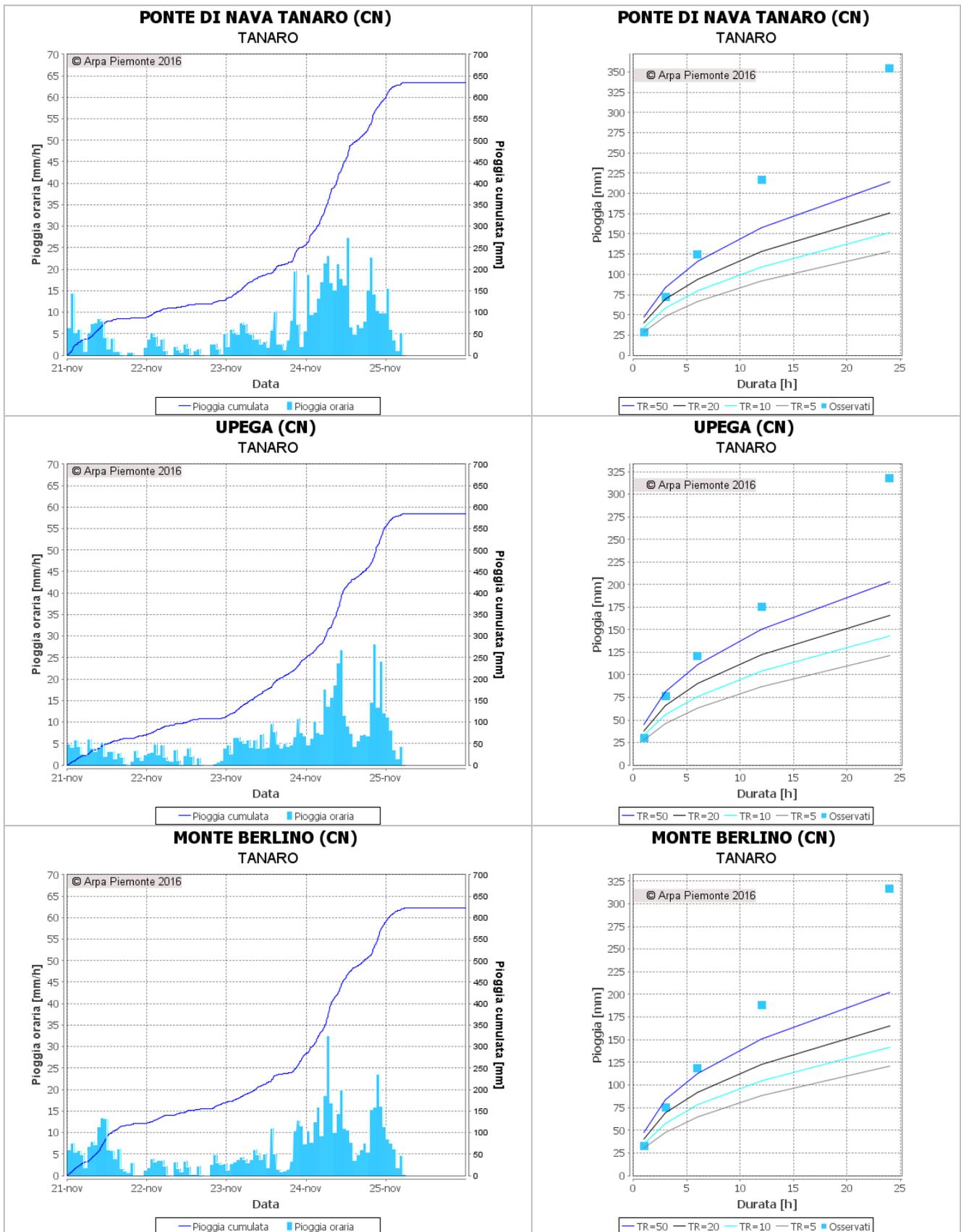


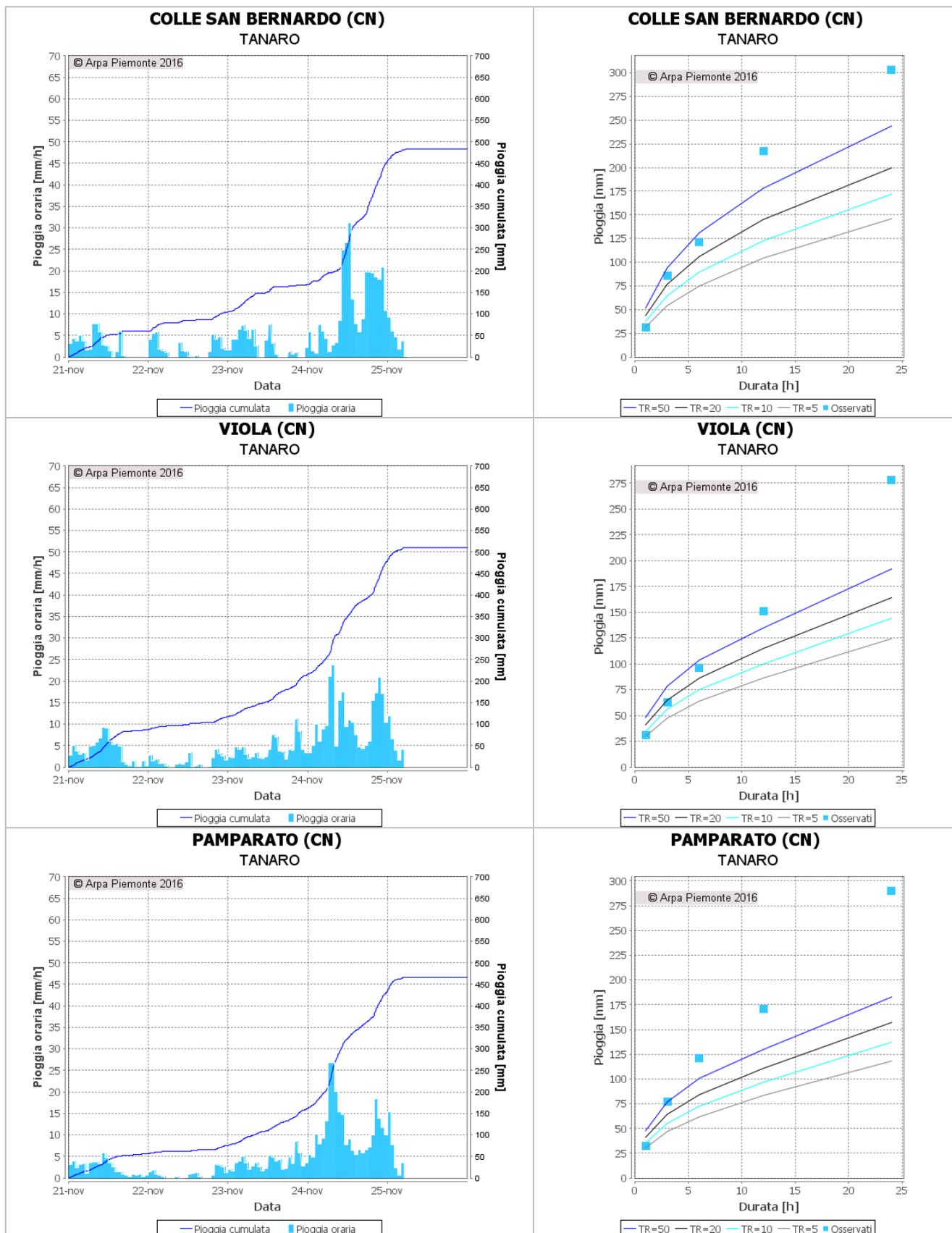


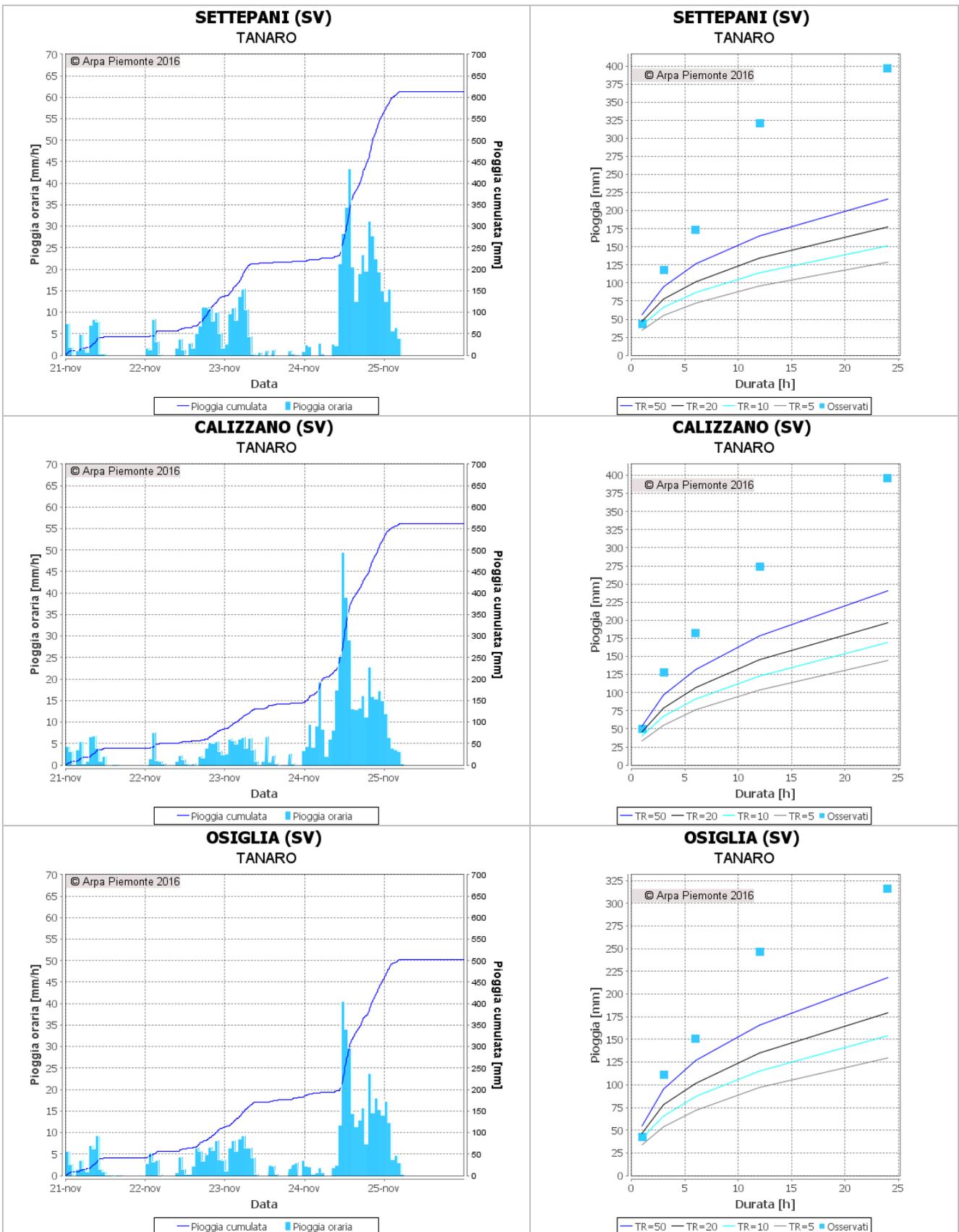












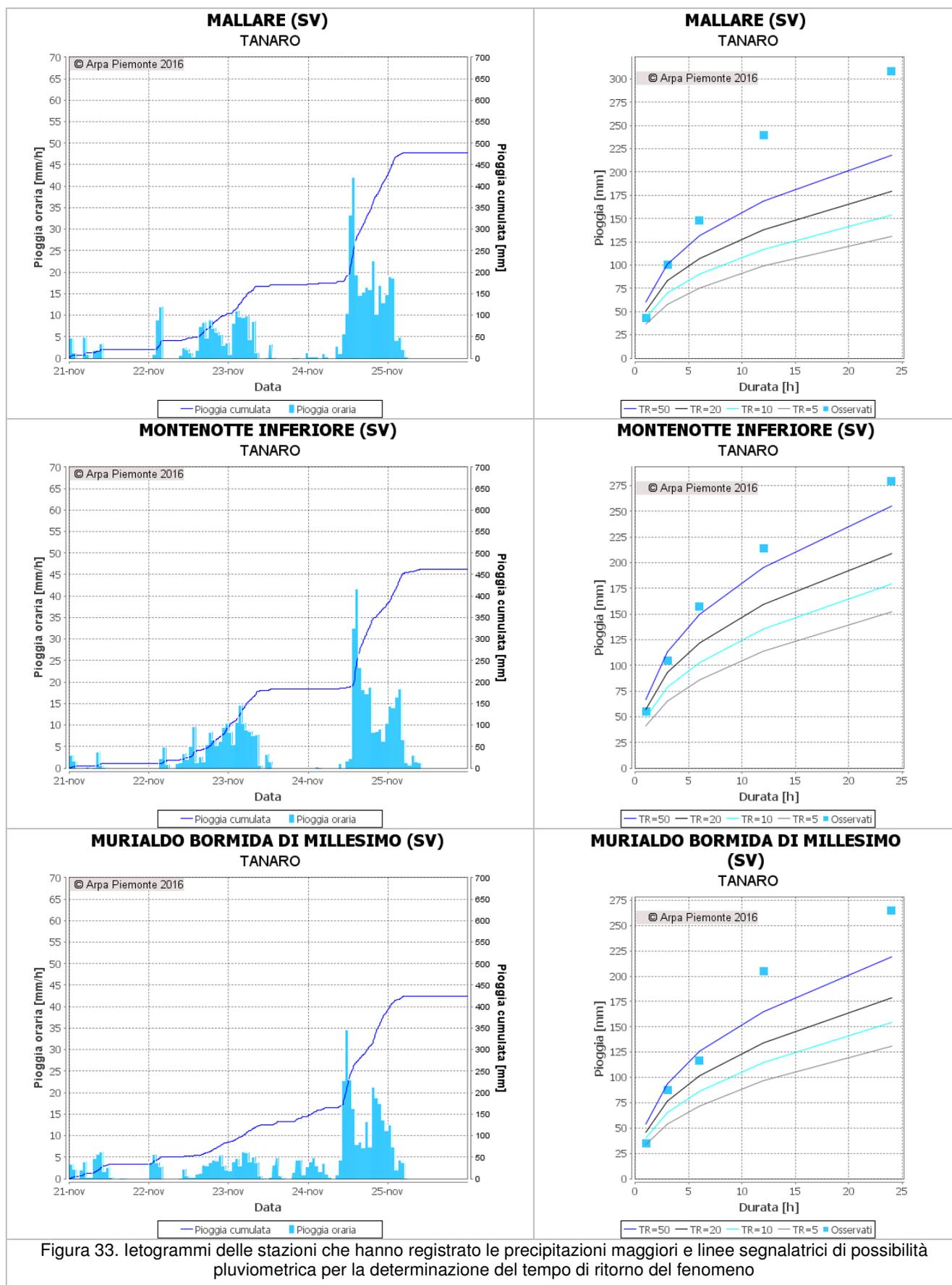


Figura 33. Ietogrammi delle stazioni che hanno registrato le precipitazioni maggiori e linee segnalatrici di possibilità pluviometrica per la determinazione del tempo di ritorno del fenomeno

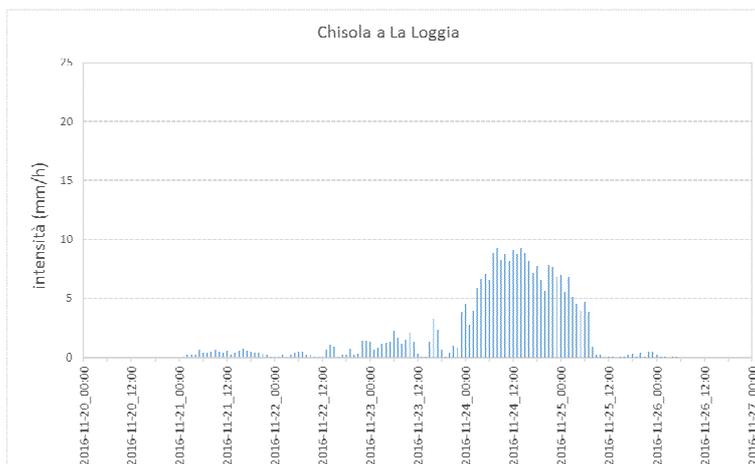
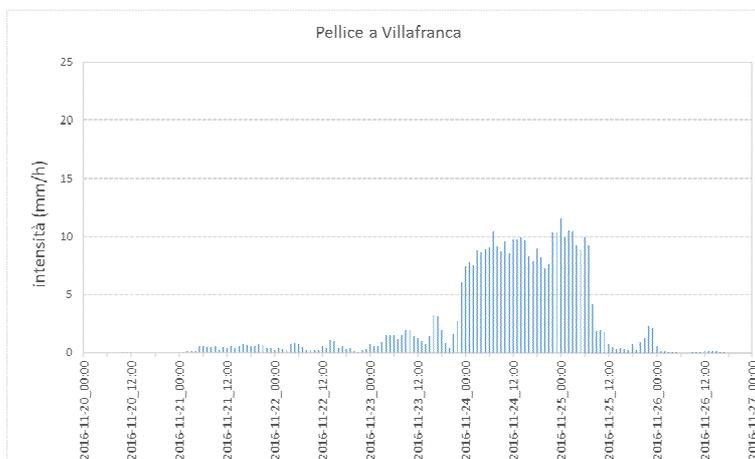
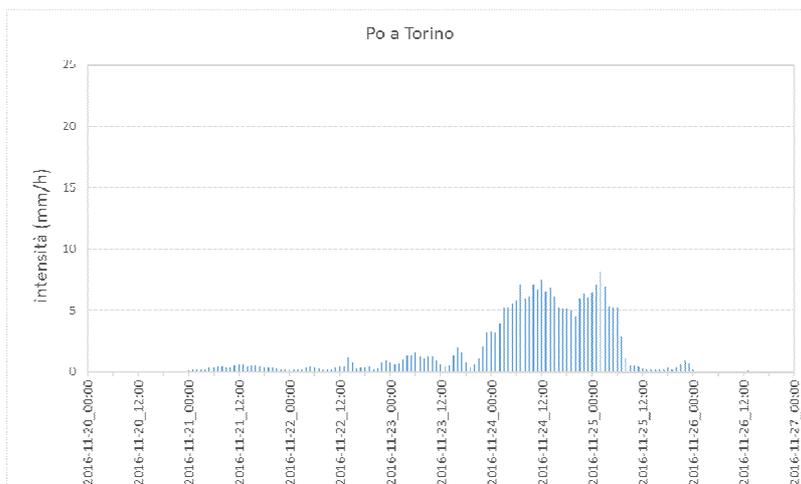
Osservando tali diagrammi si nota che la distribuzione delle precipitazioni confrontata con le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP), riflette le caratteristiche di un evento di lunga durata in cui i tempi di ritorno aumentano con le durate.

Sui bacini occidentali (Dora Riparia, Stura di Lanzo, Pellice) le piogge con durata di 12 e 24 ore sono state caratterizzate da elevata criticità con valori del tempo di ritorno superiori ai 50 anni.

Sull'Alto Tanaro le stazioni che hanno registrato i valori più alti di precipitazione già per la durata di 6 ore hanno superato il tempo di ritorno di 50 anni.

Anche per le stazioni pluviometriche al confine con la Liguria e ricadenti nel bacino della Bormida, le durate maggiormente critiche e caratterizzate anch'esse da tempi di ritorno superiori ai 50 anni sono state 12 e 24 ore.

Oltre all'analisi a livello di stazioni pluviometriche, vengono mostrati gli ietogrammi medi, ossia gli andamenti temporali delle intensità delle precipitazioni medie, cadute su diversi bacini idrografici. Per effettuare tale operazione è stata eseguita l'interpolazione spaziale dei dati delle stazioni pluviometriche, ragguagliate poi alla scala di bacino idrografico. Si riportano nella Figura 34 gli ietogrammi medi per alcuni i bacini.



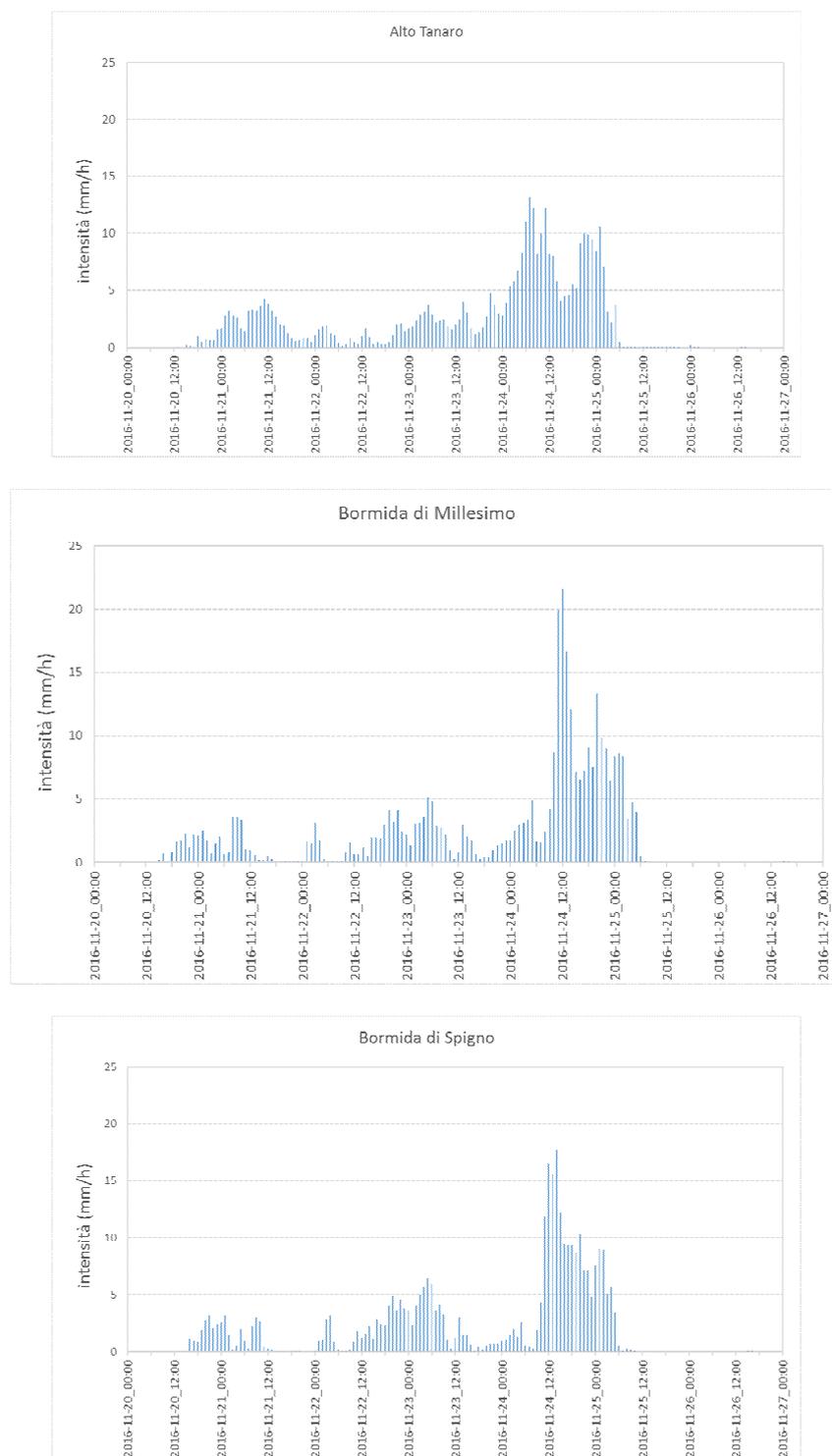


Figura 34. Ietogrammi medi per alcuni i bacini.

Si nota una certa similitudine negli andamenti misurati, con precipitazioni piuttosto scarse fino alla tarda serata del giorno 23 novembre, e poi molto intense per circa 30-36 ore, ossia fino alla mattina del giorno 25 novembre

## ANALISI NIVOMETRICA

Le precipitazioni nevose registrate a partire dalla giornata di lunedì 21 hanno avuto una quota neve inizialmente prossima ai 1500-1700 m, localmente fino a 1200-1400 metri all'interno delle valli più strette, per poi salire uniformemente dalla giornata di martedì 22 sopra i 1800-2000 metri su tutta la regione. La quota neve si è mantenuta pressoché costante fino al pomeriggio di giovedì 24 quando, in parte grazie all'intensificazione delle precipitazioni e in parte all'arrivo di aria più fredda in quota, è scesa mediamente fino a 1400-1600 metri su tutti i settori.

Gli apporti nevosi inizialmente (lunedì 21) si sono localizzati prevalentemente sui settori meridionali e settentrionali (Figura 35). Nelle giornate di martedì e mercoledì le neviccate si sono leggermente attenuate ma si sono estese a tutti i settori (Figura 36 e Figura 37).

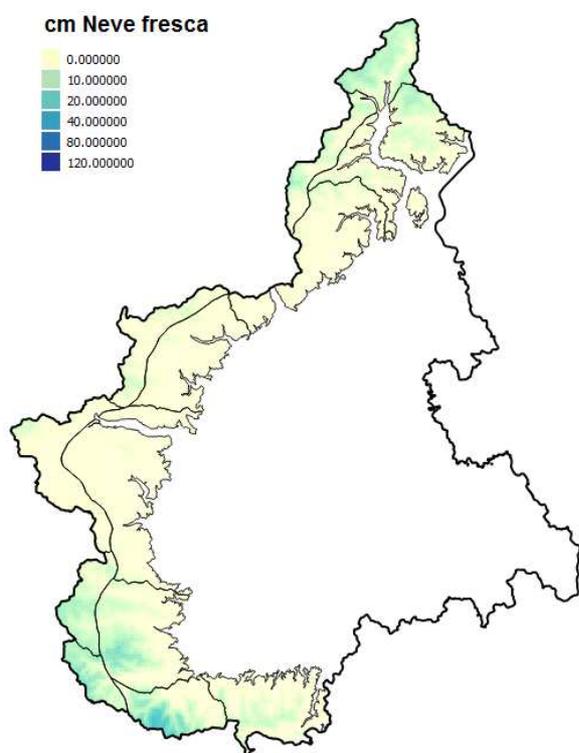


Figura 35. Neve fresca registrata il 21 novembre

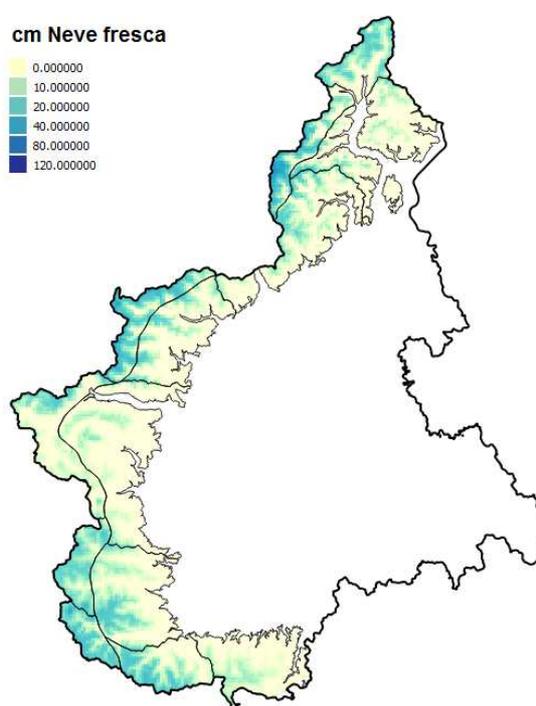


Figura 36. Neve fresca registrata il 22 novembre

Dal pomeriggio/notte di mercoledì, le precipitazioni a carattere nevoso si sono gradualmente intensificate andando a concentrarsi sui settori occidentali (soprattutto Alpi Graie e Alpi Cozie Nord) e sulla parte occidentale delle Alpi Marittime.

Giovedì 24 alle ore 8:00 oltre quota 2200 metri circa, gli apporti complessivi di nuova neve sono stati di 40-60 cm nel nord del Piemonte, con valori massimi di 90 cm sulle Alpi Pennine, 70-140 cm sulle Alpi Graie e Cozie Nord, 50-70 cm sulle Alpi Cozie Sud e Marittime. Sulle Alpi Liguri la quota neve è stata leggermente superiore per cui gli apporti nevosi sono stati registrati dalle stazioni nivometriche automatiche e sono limitati alle cime superiori ai 2000 metri (Figura 38).

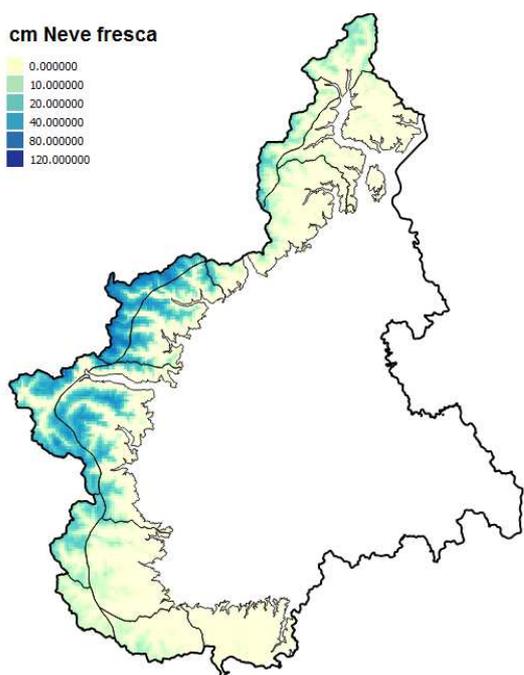


Figura 37. Neve fresca registrata il 23 novembre

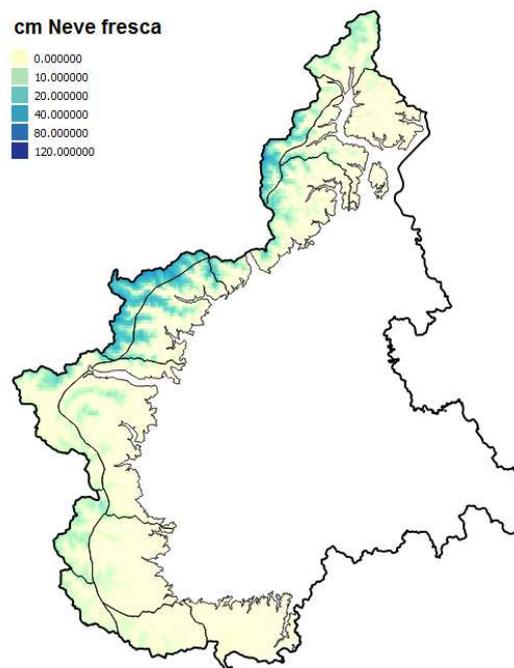


Figura 38. Neve fresca registrata il 24 novembre

Verso la metà del pomeriggio le stazioni nivometriche automatiche dei settori occidentali, hanno registrato un incremento medio che varia tra i 40 e i 60 cm rispetto ai dati della mattina. Le precipitazioni nevose si sono abbattute con intensità da forte a molto forte su tali settori fino a metà mattina di venerdì 25 quando si sono esaurite, determinando accumuli nelle 24 ore di 80-120 cm sui settori occidentali alle quote prossime ai 2500 metri (Figura 39).

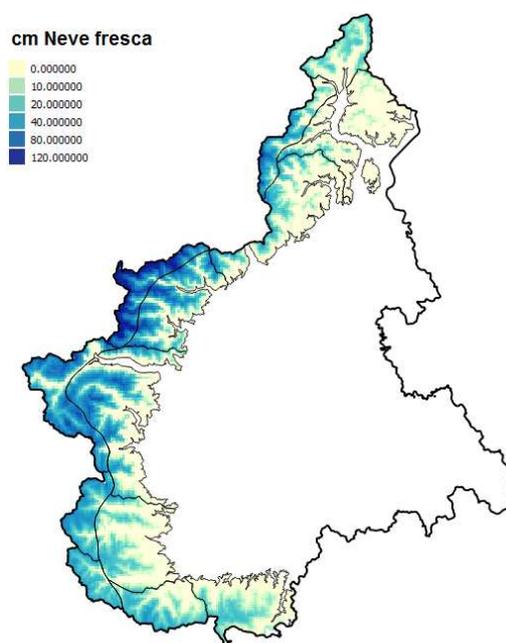


Figura 39. Neve fresca registrata il 25 novembre

Da inizio evento i quantitativi di neve cumulata a 2500 metri hanno raggiunto i 50-100 cm su Alpi Marittime e Cozie Sud, 120-170 cm su Alpi Cozie Nord e Graie (punte massime prossime a 250-270 cm al Lago Agnel, Rifugio Vaccarone e Rifugio Gastaldi), 80-150 cm su Alpi Pennine e valori prossimi a 40-60 cm su Alpi Lepontine e Alpi Liguri (Figura 40).

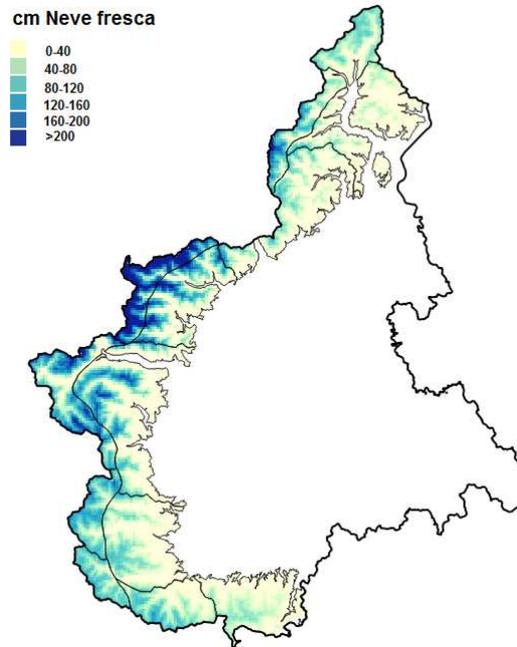


Figura 40. Neve fresca cumulata dal 21 al 25 novembre

Nei grafici di Figura 41 si riportano in **blu** l'andamento giornaliero della neve al suolo – HS (linea blu spessa indica l'HS della stagione, linea tratteggiata indica l'andamento medio dell'HS e l'area colorata in grigio indica +/- la deviazione standard rispetto alla media); in **rosso** le precipitazioni nevose HN, le barre nere indicano i singoli valori di neve fresca giornaliera (asse y di riferimento di sinistra), la linea spessa rossa indica la relativa cumulata, mentre la linea tratteggiata si riferisce alla cumulata media (queste ultime due linee fanno riferimento all'asse y di destra). I numeri riportano rispettivamente il totale di neve fresca della stagione e della media storica.

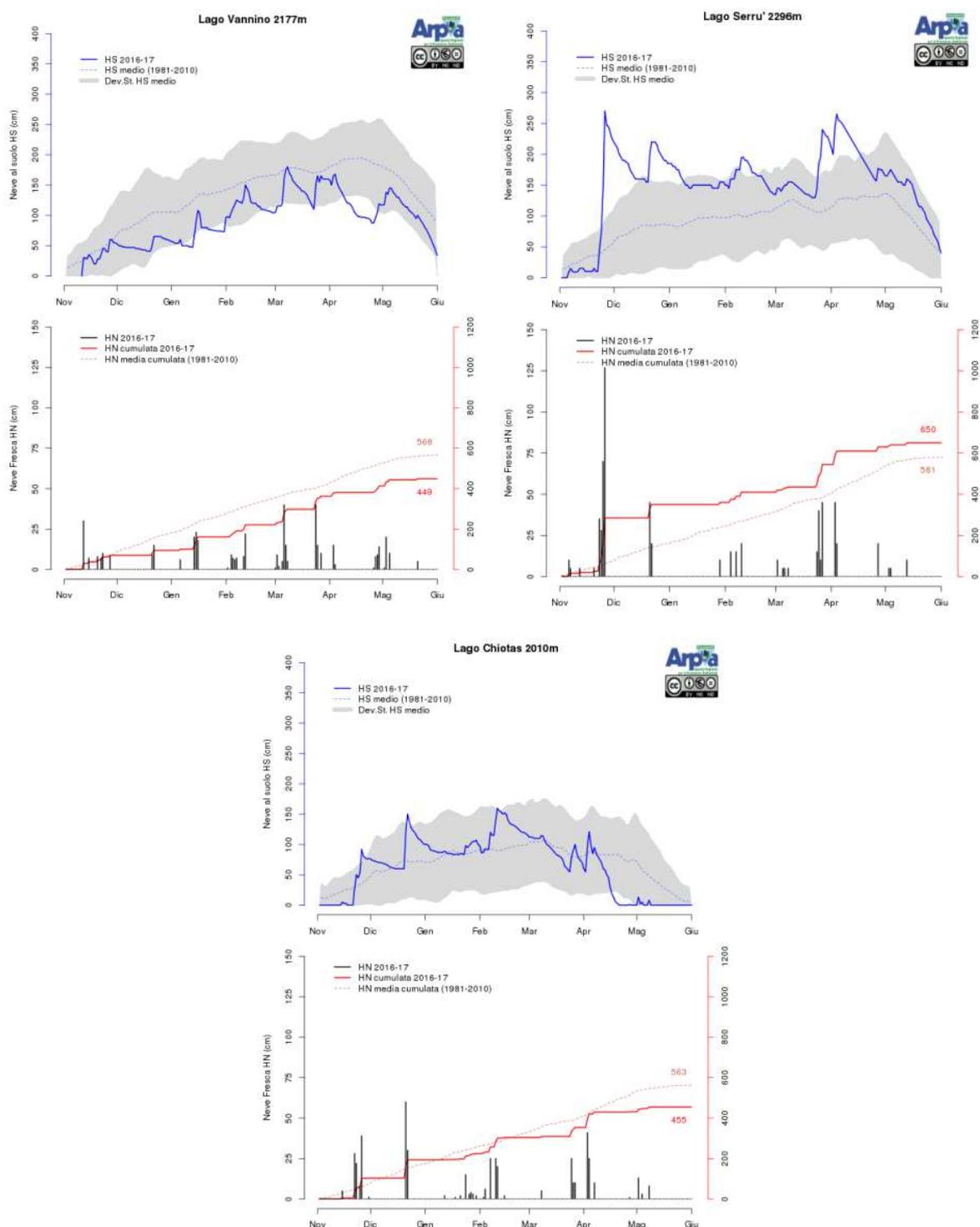


Figura 41. Confronto tra neve al suolo, neve fresca e valori storici, in ordine orario da in alto Diga Vannino – Formazza, Lago Serrù – Ceresole Reale, Diga Chiotas – Entracque

In relazione ai quantitativi medi storici possiamo notare dai grafici di Figura 41 che oltre i 2000 - 2200 metri sui settori occidentali il valore di neve al suolo è passato velocemente a valori notevolmente superiori a quelli medi del periodo. Al di sotto di tali quote sui settori occidentali e a tutte le quote su quelli meridionali e settentrionali, i valori di neve al suolo registrati successivamente all'evento alluvionale sono perlopiù nella media (Diga Vannino - Formazza) o di poco superiori (Diga Chiotas - Entracque) al valore storico medio.

## ANALISI IDROMETRICA

### Premessa

Le precipitazioni avvenute nel corso dell'evento hanno generato significative onde di piena sui corsi d'acqua del reticolo idrografico piemontese, interessando la quasi totalità del territorio regionale e raggiungendo carattere di estrema gravosità lungo l'intera asta di Tanaro e in generale sui bacini occidentali e l'asta del fiume Po fino a Torino.

Nel seguito viene riportata un'analisi dettagliata dei livelli registrati dalle stazioni idrometriche della rete regionale di monitoraggio e le valutazioni relative ai corrispondenti valori di portata al colmo che si basano su tutti gli elementi conoscitivi disponibili, quali misure dirette e sopralluoghi in corso di piena e post piena.

Nella Figura 42 si riporta l'ubicazione delle stazioni idrometriche della rete di monitoraggio automatica di Arpa Piemonte lungo i corsi d'acqua maggiormente interessati dall'evento.

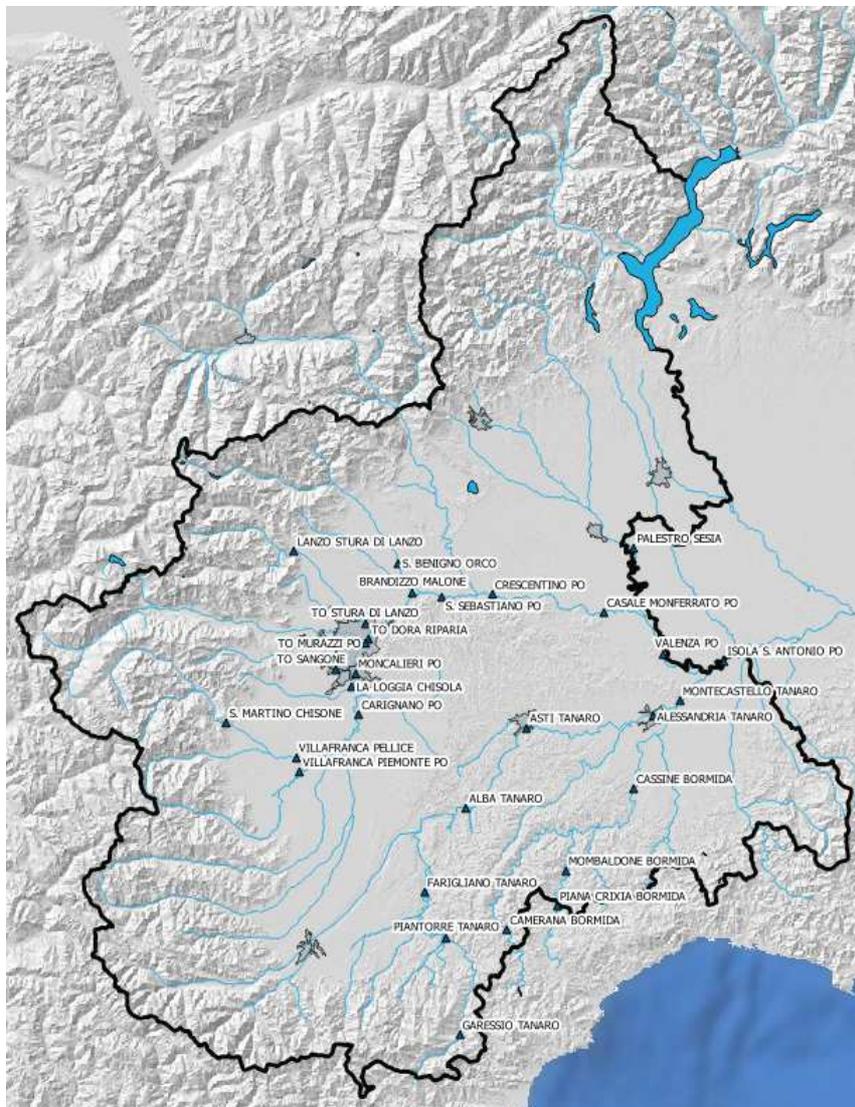


Figura 42. Ubicazione delle stazioni idrometriche più significative

## L'evento di piena lungo la rete idrometrica principale

Nei settori nord-orientali del Piemonte, le precipitazioni più significative si sono registrate tra il 21 e il 23 novembre e il bacino più colpito è stato quello del Sesia dove sono stati raggiunti livelli di guardia alla sezione di Borgosesia (VC) e su alcuni affluenti quali l'Elvo a Carisio (VC).

La piena del Sesia, all'idrometro di Palestro (PV), si è mantenuta al di sotto dei livelli di guardia ed è stata caratterizzata da due picchi: il primo nella serata del 23, con portata al colmo di circa 1500 mc/sec, il secondo nel tardo pomeriggio del 25 con picco di circa 1850 mc/sec che ha contribuito ad alimentare l'onda di piena del Po.

Nei bacini nord-occidentali, le precipitazioni del 24 hanno generato piene piuttosto significative sull'Orco; a San Benigno (TO) si è raggiunto un livello massimo di 3,1 metri superiore al livello di guardia corrispondente ad una portata di circa 650 mc/sec.

Lungo il torrente Malone si sono superati i livelli di pericolo lungo tutta l'asta; all'idrometro di Brandizzo (TO) è stato registrato un livello al colmo pari a 3,42 metri, il più alto da quando è in funzione la stazione, a tale valore corrisponde una portata di circa 450 mc/sec.

Anche la Stura di Lanzo e i suoi affluenti hanno risposto in modo significativo; in particolare a Torino, la Stura si è mantenuta oltre i livelli di guardia per più di 24 ore dalla mattina del 24 fino al primo pomeriggio del 25 con portate dell'ordine dei 1500 mc/sec.

Sempre a Torino, la Dora Riparia ha superato i livelli di pericolo nella notte del 25 mantenendosi su tali valori per oltre 12 ore e raggiungendo il colmo nella mattinata, con un livello di 4,29 m il più alto mai registrato dalla stazione ma che risente dell'effetto di rigurgito del Po. Le portate transitate sono superiori ai 500 mc/sec.

Le piene della Stura di Lanzo e della Dora Riparia non sono arrivate in fase alla confluenza e questo ha limitato in parte gli effetti sul Po.

A sud di Torino, a partire dalla giornata del 24, sui corsi d'acqua del reticolo principale e secondario, si sono registrati marcati incrementi dei livelli idrometrici; in particolare, il Chisone e il Pellice hanno superato i livelli di pericolo nella serata del 24 raggiungendo il colmo nelle prime ore del 25 rispettivamente all'idrometro di San Martino ubicato nel comune di Pinerolo (TO) con portate di circa 700 mc/sec e a Villafranca Piemonte (TO) con portate di circa 1300 mc/sec.

Nella Figura 43 si riporta l'idrogramma di piena del Pellice a Villafranca Piemonte (TO) e la misura diretta eseguita in esaurimento di piena (indicata con pallino rosso) che ha confermato la scala di deflusso esistente (in relazione anche alla presenza di una soglia di fondo immediatamente a valle della stazione, rimasta inalterata nel corso della piena).

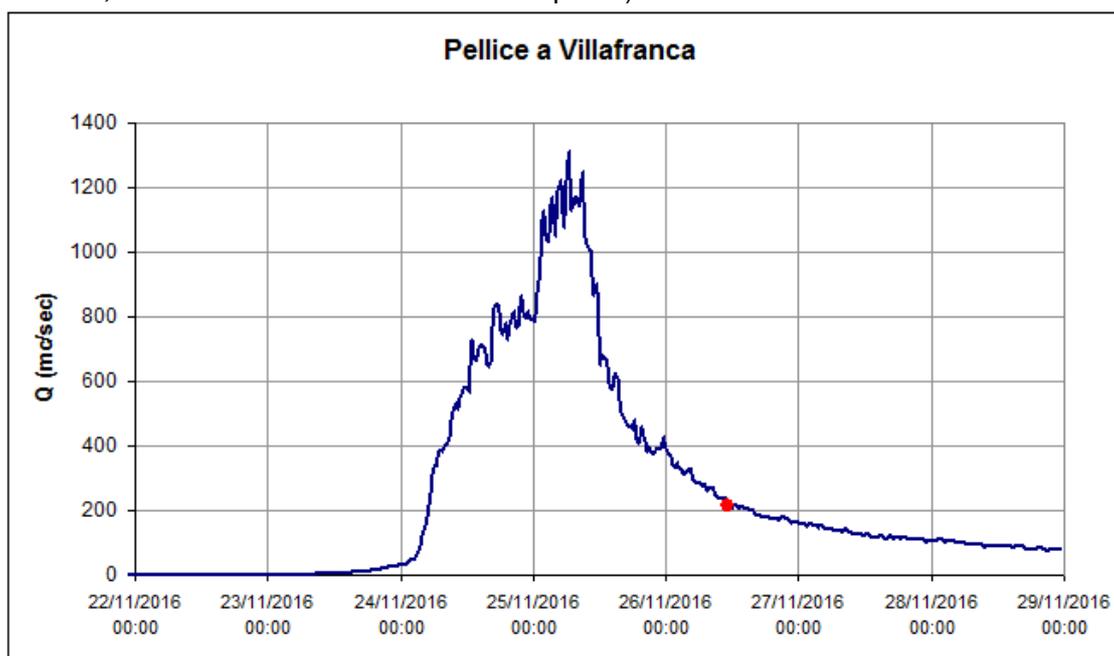


Figura 43. Idrogramma di piena del Pellice a Villafranca Piemonte (TO) e misura di portata in rosso

Di estrema gravosità anche la piena del torrente Chisola che ha raggiunto e superato il livello di pericolo registrando il suo massimo storico di 7,41 metri all'idrometro di La Loggia (TO). A monte della stazione idrometrica, sull'attraversamento della SS20, si sono manifestate significative esondazioni sul Lemina e sull'asta del Chisola; la stessa stazione è stata bypassata da una rotta in sinistra che ha indirizzato acque di esondazione verso Moncalieri (TO). A valle si è verificata un'ulteriore rotta in sinistra (valle ponte Barauda) che ha contribuito ad alimentare l'estesa area esondata a Moncalieri.

Per la valutazione del colmo di piena sono state eseguite simulazioni con un modello idrodinamico monodimensionale allestito per lo studio di adeguamento sismico del ponte della SS20 (ATIVA Engineering), imponendo i livelli di valle rilevati post piena da AIPO.

Tenendo conto delle esondazioni e degli effetti di rigurgito di Po ancora molto significativi dove è ubicato l'idrometro, è stata stimata una portata tra i 400 e i 450 mc/sec, anche basandosi su una misura diretta della portata eseguita in coda di piena, che ha permesso l'aggiornamento del ramo di piena della scala di deflusso.

Nella Figura 44 si riporta l'idrogramma di piena del Chisola a La Loggia (TO) e la misura diretta di portata eseguita in esaurimento di piena (indicata con pallino rosso).

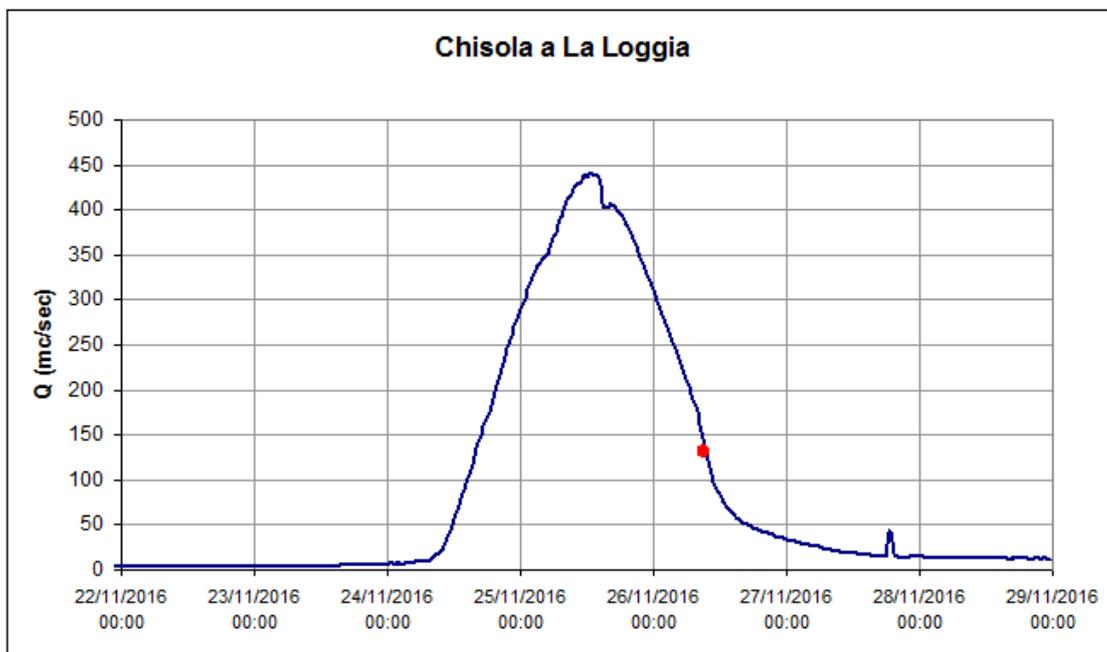


Figura 44. Idrogramma di piena del Chisola a La Loggia (TO) e misura diretta di portata in rosso

A Torino il torrente Sangone, che ha quasi del tutto anticipato la piena di Po, ha raggiunto un livello massimo di 2,82 m e la portata stimata è di circa 400 mc/sec; l'idrogramma di piena è stato ricostruito anche sulla base di una misura di portata eseguita all'inizio della fase discendente della piena, come mostrato nella Figura 45.



Figura 45. Idrogramma del Sangone a Torino e misura diretta di portata in rosso

Nei settori meridionali, si sono avuti i primi incrementi di livello già nella giornata del 22; in particolare, l'Orba ha superato i livelli di guardia lungo tutta l'asta e il colmo è transitato alla sezione di Casal Cermelli (AL) nella serata del 22 con portate di circa 750 mc/s.

La Bormida e i suoi affluenti, invece, hanno fatto registrare gli incrementi più significativi a partire dal 24 quando, rapidamente, hanno raggiunto livelli di pericolo sia la Bormida di Spigno che la Bormida di Millesimo rispettivamente a Mombaldone (AT) (6,76 metri massimo storico per la stazione) e a Camerana (CN) (5,72 metri) dove la piena ha sommerso l'area in cui era ubicata la stazione. Anche a Camerana il livello massimo registrato in questo evento è il più alto da quando esiste la stazione automatica. Le portate stimate sono circa 1000 mc/s per la Bormida di Spigno a Mombaldone e di circa 940 mc/s per la Bormida di Millesimo a Camerana dove è stato possibile stimare la portata sulla base delle tracce di piena rilevate.

Sull'asta principale della Bormida, i livelli hanno superato i valori di pericolo a partire dalla tarda serata del 24; in particolare, a Cassine (AL) si è registrato un massimo di 5,08 metri nelle prime ore del mattino del 25, dopodiché anche questa stazione è stata sommersa dalla piena. La portata stimata da tracce di piena è di circa 2100 mc/sec.

Ad Alessandria, sezione di chiusura del bacino, il livello di pericolo è stato superato nella mattina del 25, il colmo è stato molto lungo per effetto del rigurgito del Tanaro e, solo nelle prime ore del 26, i livelli sono rientrati al di sotto dei valori di pericolo.

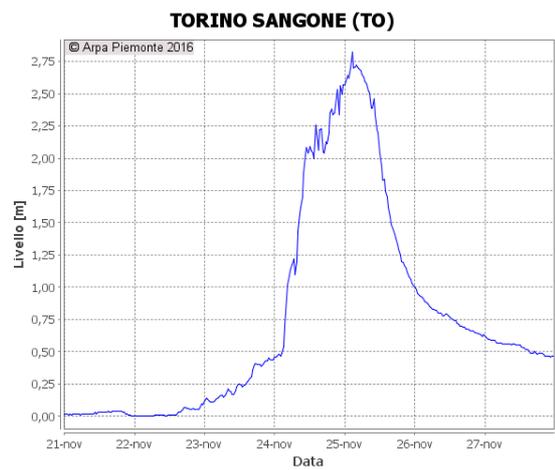
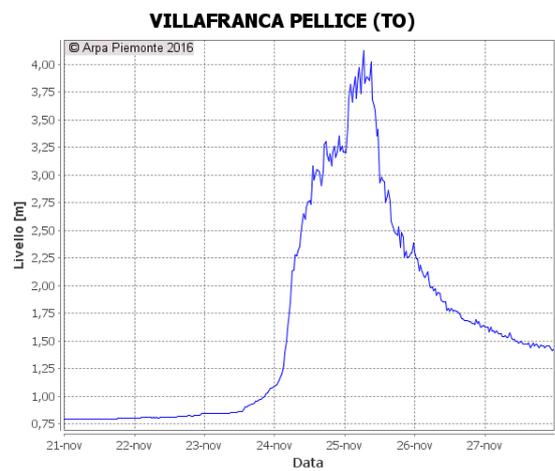
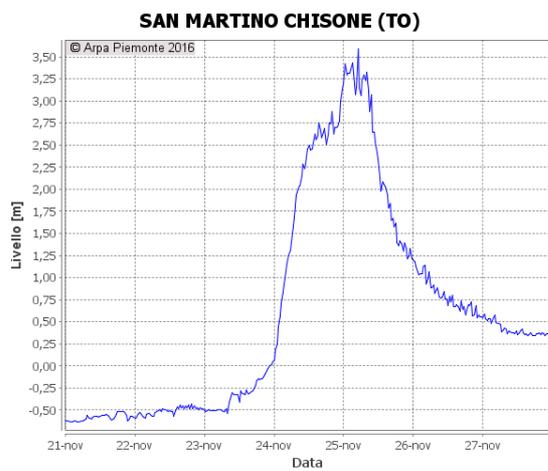
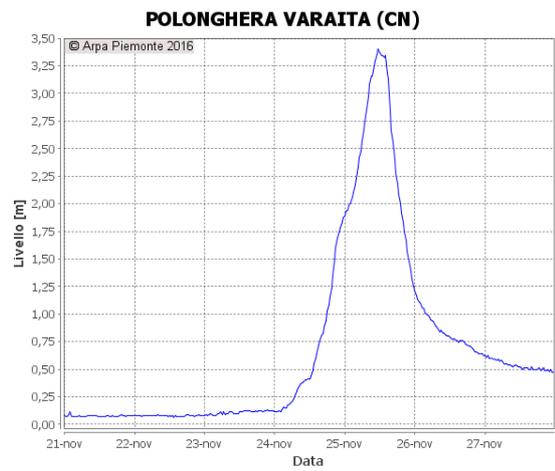
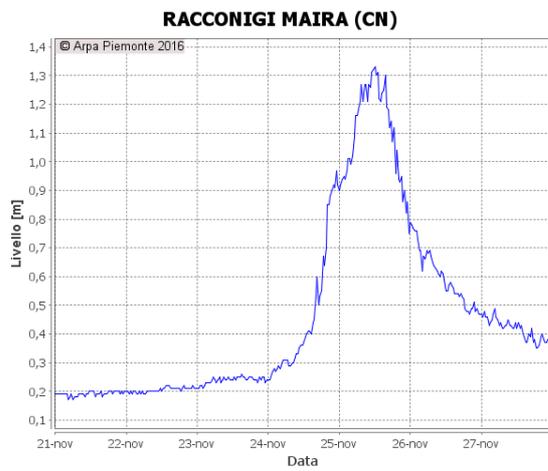
La portata al colmo della Bormida ad Alessandria può essere stimata intorno a 2000 – 2100 mc/s, in base alla traslazione dell'onda principale a partire dal colmo di Cassine, parzialmente laminato e integrato dal contributo dell'Orba (ritardato rispetto al transito dell'onda della Bormida, in modo da produrre un contributo sul colmo di massimi 100-200 mc/sec).

La Tabella 4 riporta sinteticamente i colmi ed i massimi incrementi di livello espressi in metri registrati durante l'evento per le stazioni idrometriche più significative.

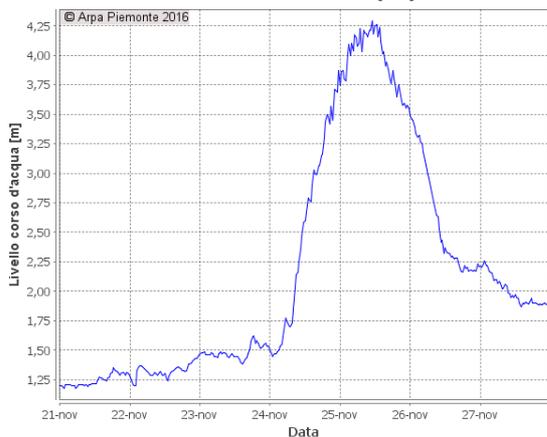
Tabella 4. Colmi e massimi incrementi di livello [m] registrati durante l'evento per le stazioni più significative

Bacino	Comune	Provincia	Stazione	Data e ora (UTC) del colmo	MAX	0,5h	1h	3h	6h	12h	24h	Incremento
MAIRA	RACCONIGI	CN	RACCONIGI MAIRA	25/11/2016 12:00	1,33	0,15	0,21	0,35	0,47	0,63	0,98	1,16
VARAITA	POLONGHERA	CN	POLONGHERA VARAITA	25/11/2016 11:30	3,40	0,14	0,25	0,61	1,06	1,62	2,99	3,34
PELLICE	PINEROLO	TO	SAN MARTINO CHISONE	25/11/2016 05:00	3,59	0,43	0,52	0,81	1,49	2,43	3,24	4,22
PELLICE	VILLAFRANCA PIEMONTE	TO	VILLAFRANCA PELLICE	25/11/2016 06:30	4,12	0,35	0,49	0,85	1,20	1,97	2,64	3,33
ALTO PO	REVELLO	CN	STAFFARDA GHIANDONE	25/11/2016 04:00	4,38	0,26	0,51	1,32	2,54	3,53	4,04	4,27
PO	LA LOGGIA	TO	LA LOGGIA CHISOLA	25/11/2016 12:30	7,41	0,32	0,58	1,52	2,63	3,97	5,58	6,40
PO	TORINO	TO	TORINO SANGONE	25/11/2016 02:30	2,82	0,26	0,37	0,82	1,08	1,79	2,33	2,82
DORA RIPARIA	TORINO	TO	TORINO DORA RIPARIA	25/11/2016 11:00	4,29	0,26	0,31	0,63	1,09	1,77	2,59	3,11
STURA DI LANZO	TORINO	TO	TORINO STURA DI LANZO	25/11/2016 02:00	3,09	0,30	0,49	0,95	1,30	1,54	2,07	2,94
STURA DI LANZO	GERMAGNANO	TO	GERMAGNANO BORGO STURA DI VIU'	25/11/2016 06:30	4,33	0,57	1,05	1,50	2,13	2,49	3,36	4,16
PO	FRONT	TO	FRONT MALONE	25/11/2016 01:30	2,88	0,24	0,25	0,47	0,81	1,13	1,87	2,46
PO	BRANDIZZO	TO	BRANDIZZO MALONE	25/11/2016 07:00	3,42	0,21	0,42	1,15	1,73	2,29	2,82	3,49
ORCO	SAN BENIGNO CANAVESE	TO	SAN BENIGNO ORCO	25/11/2016 06:00	3,10	0,15	0,23	0,44	0,70	1,06	1,28	2,58
SEZIA	BORGOSIESIA	VC	BORGOSIESIA SESIA	25/11/2016 11:00	4,75	0,34	0,57	0,96	1,51	1,83	2,22	4,39
SEZIA	CARISIO	VC	CARISIO ELVO	25/11/2016 06:00	3,35	0,25	0,32	0,77	1,19	1,38	1,41	2,60
TANARO	CASTELNUOVO BELBO	AT	CASTELNUOVO BELBO	25/11/2016 11:30	5,23	0,86	1,44	2,69	3,16	3,27	5,04	5,23
TANARO	MURIALDO	SV	MURIALDO BORMIDA DI MILLESIMO	24/11/2016 14:30	4,10	0,71	1,17	2,49	3,01	3,31	3,14	4,18
TANARO	CAMERANA	CN	CAMERANA BORMIDA	24/11/2016 16:00	5,72	0,55	1,06	2,35	3,68	4,33	4,03	5,39
TANARO	MOMBALDONE	AT	MOMBALDONE BORMIDA	24/11/2016 19:30	6,78	0,66	1,26	2,97	4,90	5,12	4,77	6,28
TANARO	CESSOLE	AT	CESSOLE BORMIDA	24/11/2016 21:30	5,83	0,67	1,32	2,85	3,36	5,00	4,93	6,35
TANARO	CASSINE	AL	CASSINE BORMIDA	25/11/2016 06:00	5,08	0,33	0,62	1,64	2,72	4,21	4,36	5,14
TANARO	ALESSANDRIA	AL	ALESSANDRIA BORMIDA	25/11/2016 19:30	8,30	0,51	0,86	2,26	3,68	4,99	6,88	7,18
TANARO	CASAL CERPELLI	AL	CASAL CERPELLI ORBA	22/11/2016 21:00	3,87	0,53	0,93	1,18	1,60	1,82	2,58	3,62

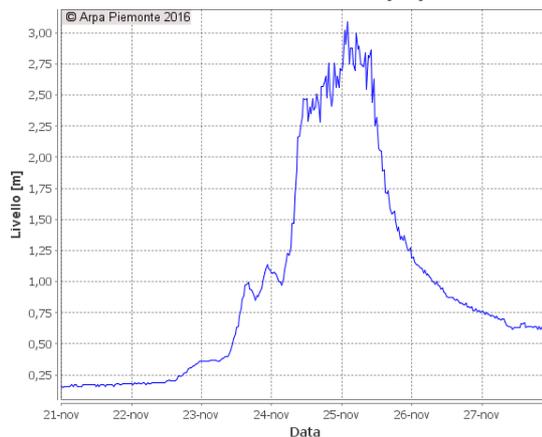
Nella Figura 46 si riportano gli idrogrammi di livello delle stazioni che hanno registrato i colmi più significativi.



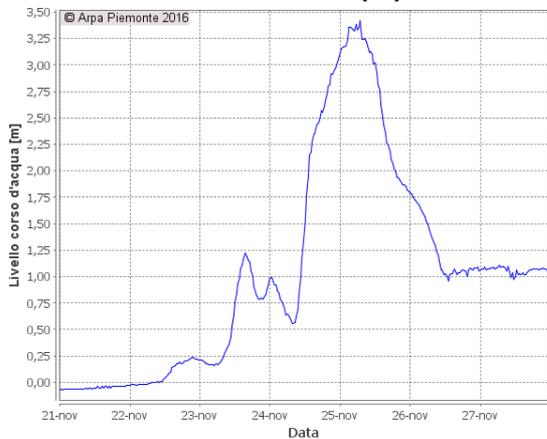
**TORINO DORA RIPARIA (TO)**



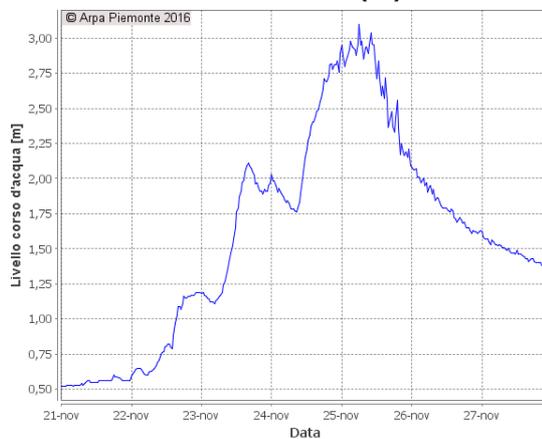
**TORINO STURA DI LANZO (TO)**



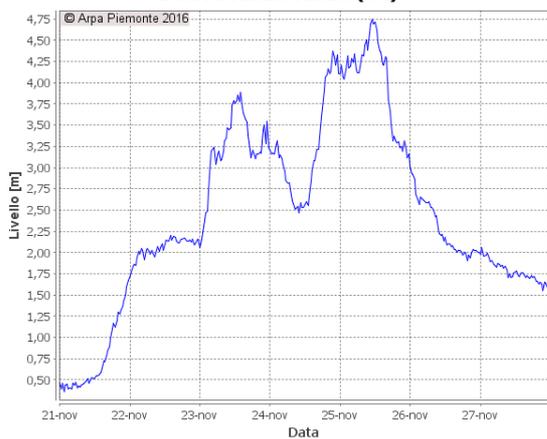
**BRANDIZZO MALONE (TO)**



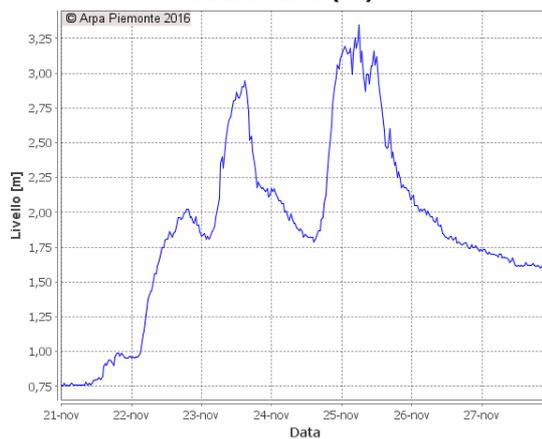
**SAN BENIGNO ORCO (TO)**



**BORGESIA SESIA (VC)**



**CARISIO ELVO (VC)**



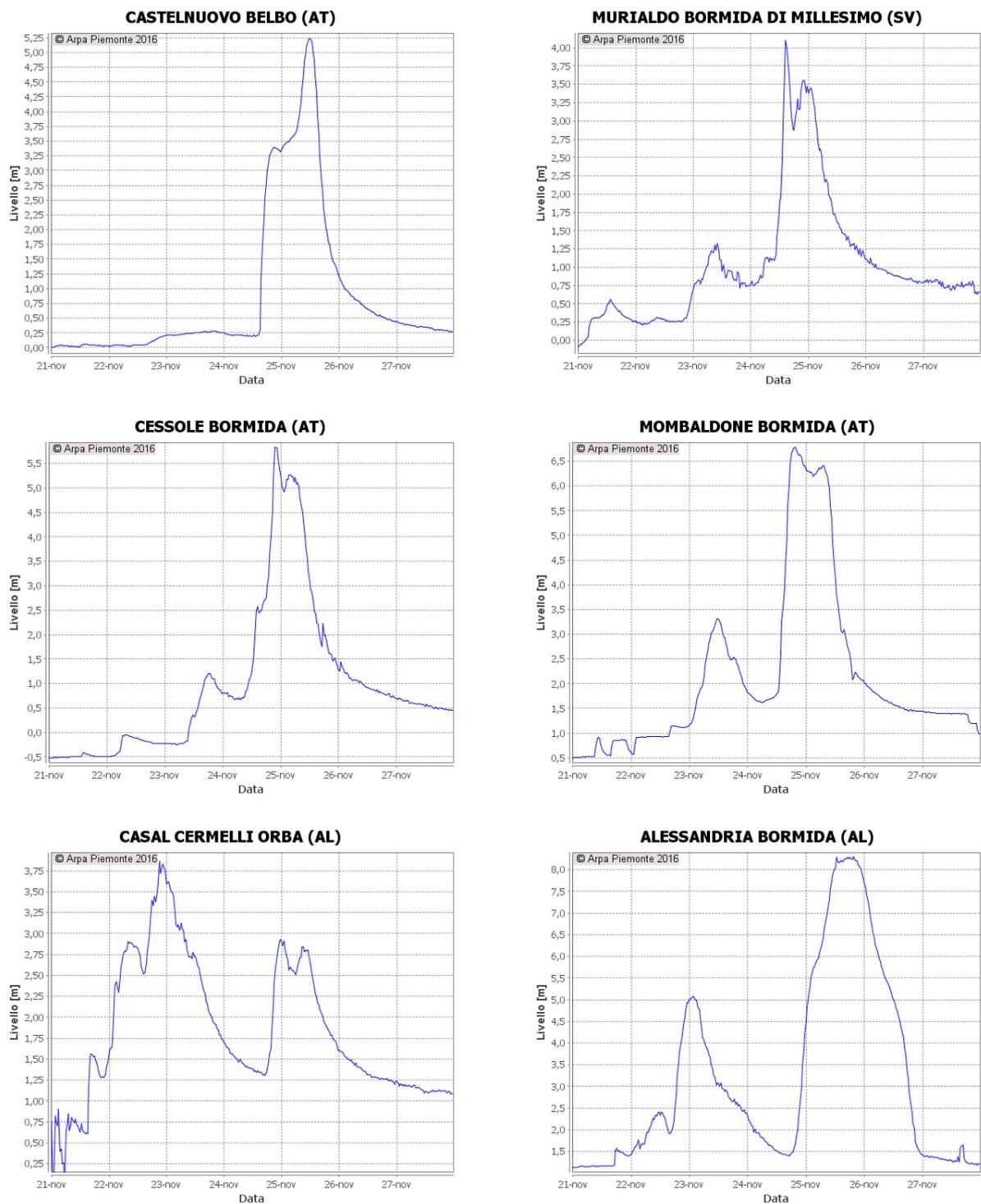


Figura 46. Idrogrammi delle stazioni idrometriche che hanno registrato i colmi più significativi

## La piena del Fiume Tanaro

La parte più alta del bacino del Fiume Tanaro ha iniziato ad essere interessata dalle precipitazioni già nella giornata del 21 novembre, registrando un primo picco di modesta entità nelle sezioni da Ponte di Nava, Comune di Ormea (CN) a Farigliano (CN). Tuttavia, è a partire dalle prime ore del 24 che si è formata l'onda di piena vera e propria.

I livelli raggiunti lungo l'asta principale del Tanaro sono stati particolarmente elevati: in particolare, a Garessio (CN) nel primo pomeriggio del 24, si sono registrati 5,19 metri, più di 2 metri oltre la soglia di pericolo e massimo storico per la stazione.

La stima della portata al colmo è stata eseguita in base ad analisi idrauliche teoriche nel precedente assetto morfologico dell'alveo ed ha condotto ad un valore di circa 830 mc/sec.

Nella stazione idrometrica di Piantorre (Comune di Lesegno – CN) i caratteri della piena sono stati stimati con gravosità ulteriormente accentuata, in ragione dell'incremento del tempo di corrvazione del bacino. Il colmo di 6,74 metri rappresenta il massimo per la stazione dal 1996 e la portata corrispondente risulta di circa 1400 mc/sec; anche in questo caso non è stato possibile effettuare misure dirette durante l'evento e la stima è stata eseguita sulla base di analisi idrauliche teoriche.

Scendendo più a valle, l'onda di piena ha raggiunto a Farigliano (CN) un livello al colmo di 6,77 metri; anche questo valore mai raggiunto nell'attuale stazione di misura. L'idrogramma stimato a Farigliano presenta le caratteristiche di maggiore gravosità sull'intera asta, con portata al colmo di 3120 mc/sec.

La piena presenta due colmi distinti; il primo è nettamente prevalente a Garessio e Piantorre, mentre procedendo verso valle l'intervallo tra i due colmi e la differenza delle portate di picco tendono a ridursi per i maggiori effetti di invaso-laminazione sul primo colmo (Figura 47).

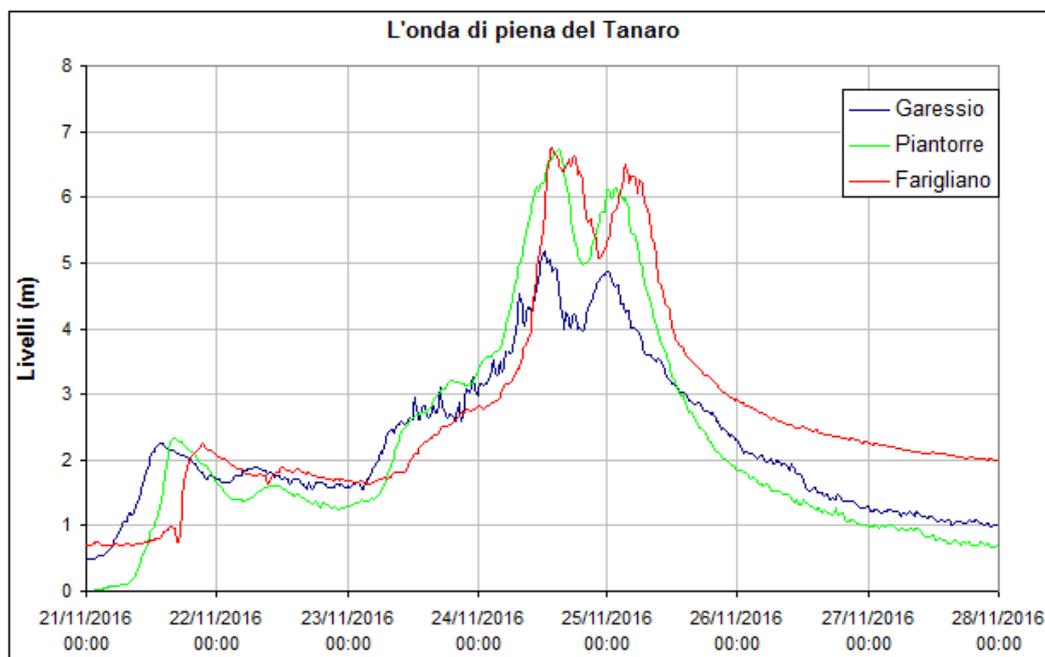


Figura 47. Traslazione della piena del Tanaro da Garessio (CN) a Farigliano (CN)

L'onda di piena transitata a Farigliano è stata verificata sia con una misura diretta in fase discendente che per traslazione/composizione con l'onda rilevata ad Alba.

Nella Figura 48 si riporta l'idrogramma di piena del Tanaro a Farigliano e la misura effettuata durante l'evento (pallino rosso).

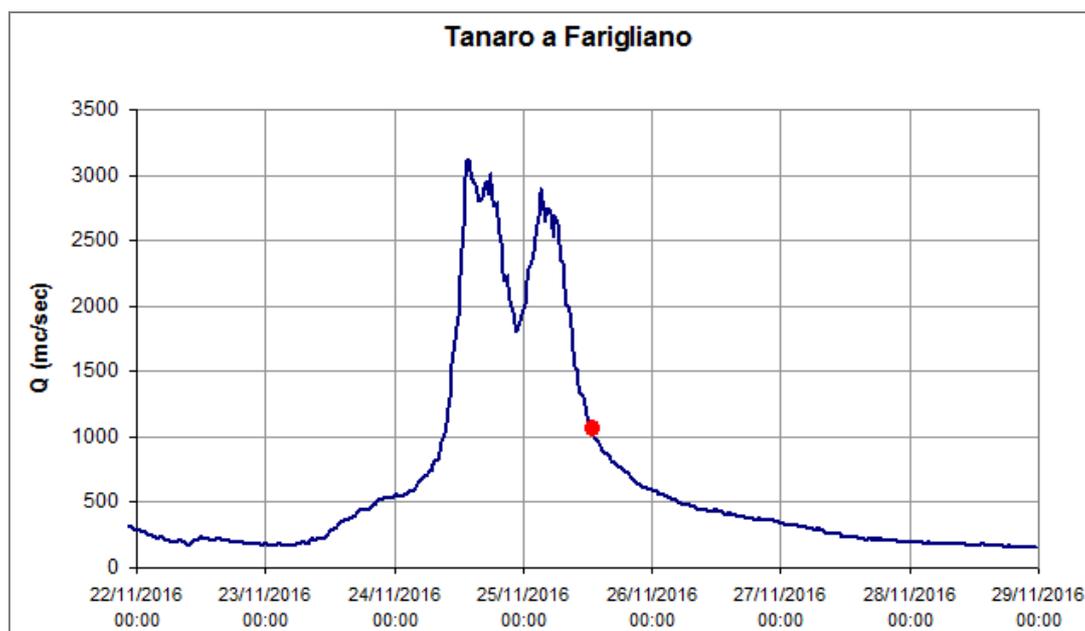


Figura 48. Idrogramma del Tanaro a Farigliano (CN) e misura diretta di portata in rosso

A monte della Stura di Demonte i due colmi sono circa equivalenti; il contributo della Stura, leggermente ritardato rispetto all'onda principale, determina la prevalenza del secondo colmo ad Alba. Qui il livello massimo è stato di 6,14 metri corrispondente ad una portata di circa 3400 mc/sec, determinata dall'attuale ramo teorico di piena della scala di deflusso, verificata dalla misura eseguita durante l'evento come si nota dalla Figura 49.

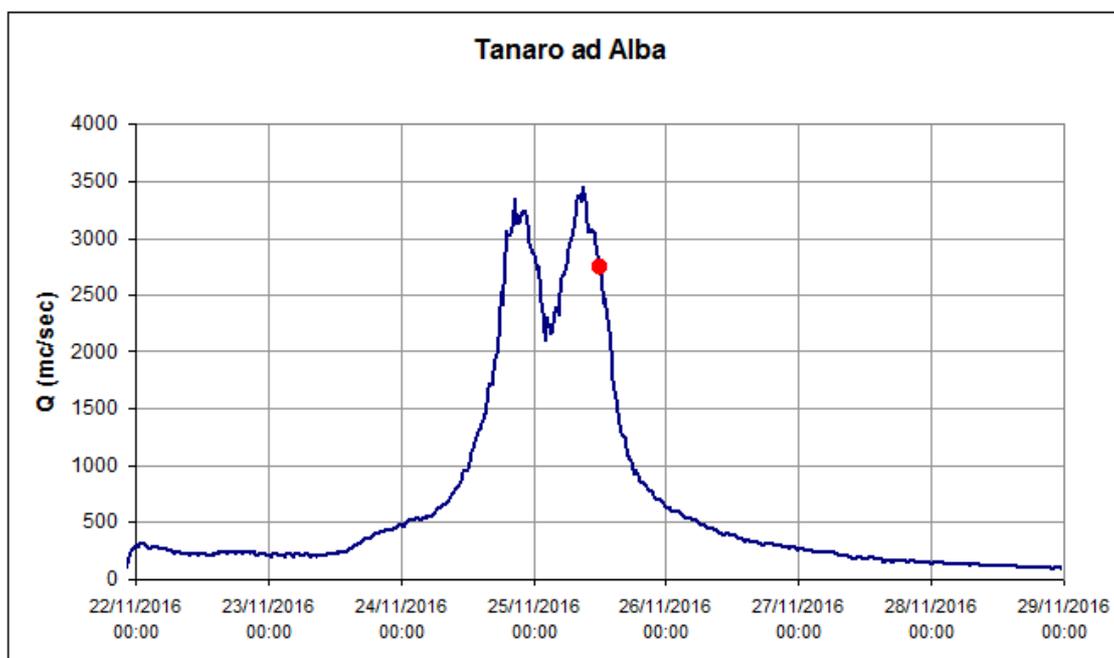


Figura 49. Idrogramma del Tanaro ad Alba (CN) e misura diretta di portata in rosso

Ad Asti è stato rilevato un livello al colmo sul secondo picco, di 7,71 m, più di 2 metri oltre la soglia di pericolo e corrispondente ad una portata dell'ordine di 3450 mc/sec.

Nella propagazione verso valle l'idrogramma di piena, come si verifica normalmente in condizioni analoghe, ha visto progressivamente ridursi l'intervallo tra il primo e il secondo picco, per il

naturale effetto di invaso che produce sul primo picco un effetto di rallentamento, a vantaggio dell'impulso successivo che, a meno di effetti di esondazione-laminazione molto accentuati, tende gradualmente a raggiungere il primo picco e a fondersi con esso (fenomeno verificatosi a valle di Asti, come riscontrato dall'idrogramma rilevato ad Alessandria).

Il breve intervallo tra i due colmi (circa tre ore) rilevati ad Asti potrebbe aver indotto fenomeni di moto vario, dovuti alla presenza, nella fase terminale di rampa del secondo picco, di livelli a valle della stazione ancora molto elevati per l'esaurimento del primo picco (verosimilmente rallentato anche dalla morfologia del sistema fluvio-golenale che tende a restringersi a valle del ponte della stazione idrometrica). A ciò potrebbe ricondursi una leggera sovrastima del secondo colmo. Va però considerato che tra il primo e il secondo picco è stata eseguita una misura di portata, la cui messa in conto nella determinazione della scala di deflusso utilizzata per ricostruire l'idrogramma di piena, dovrebbe aver consentito una stima attendibile del secondo colmo, minimizzando l'errore per gli eventuali effetti di moto vario sopra richiamati.

Nella Figura 50 si riporta l'idrogramma di portata del Tanaro ad Asti.

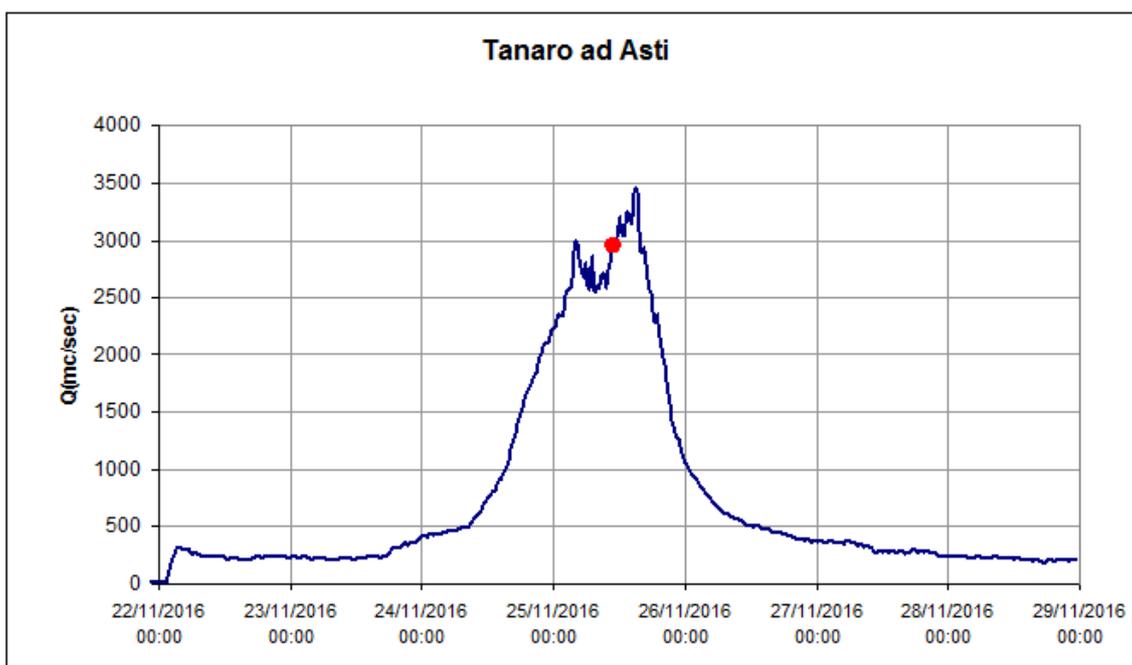


Figura 50 Idrogramma del Tanaro ad Asti e misura diretta di portata in rosso

La traslazione dell'onda di piena verso Alessandria è avvenuta con effetti di laminazione di entità relativamente scarsa a parte la variazione della forma dell'idrogramma dovuta ai fenomeni sopra descritti. Ad Alessandria, il Tanaro è rimasto sopra i livelli di pericolo tra il pomeriggio del 25 e la mattina del 26, raggiungendo il colmo (6,67 m) alle prime ore del mattino del 26. I contributi dei tributari e del bacino residuo tra Asti e Alessandria sono risultati pressoché ininfluenti nella fase di colmo: pertanto, l'idrogramma defluito ad Alessandria e rilevato dalla stazione idrometrica su ponte Tiziano ha presentato un colmo di 3470  $\text{mc}/\text{sec}$  (Figura 51).

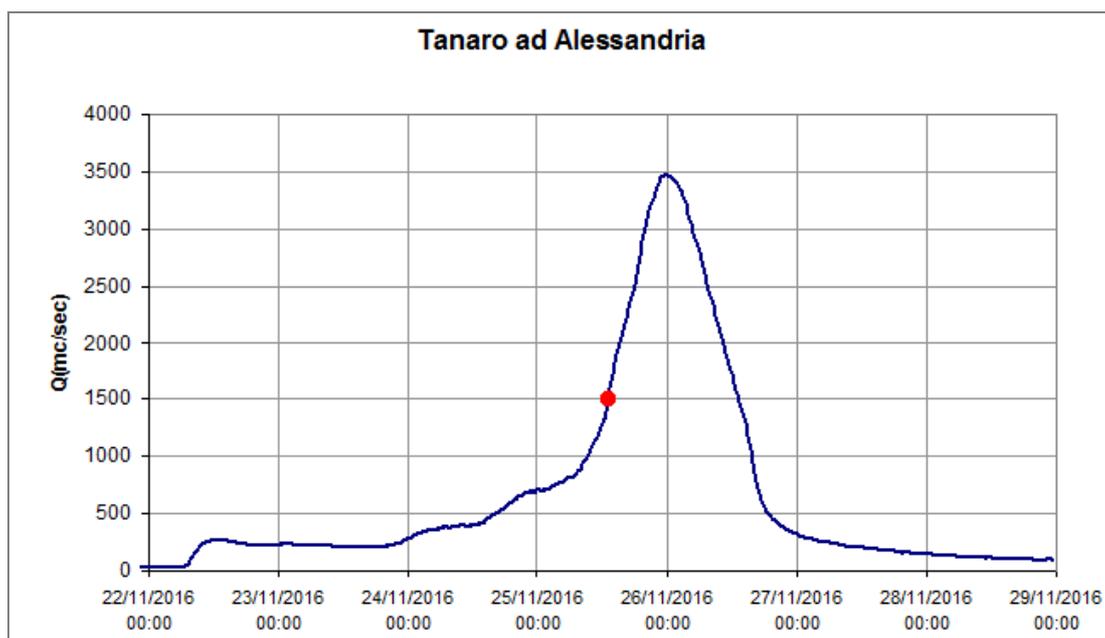


Figura 51. Idrogramma del Tanaro ad Alessandria e misura diretta di portata in rosso

La successiva evoluzione della piena a valle di Alessandria è stata caratterizzata dallo sfasamento cronologico tra le onde generate dalla Bormida e dal Tanaro, che sono defluite nella zona di confluenza quasi in successione, determinando a Montecastello (AL) un livello massimo di 7,72 metri e una portata al colmo "limitata" a circa 3700 mc/sec (Figura 52).

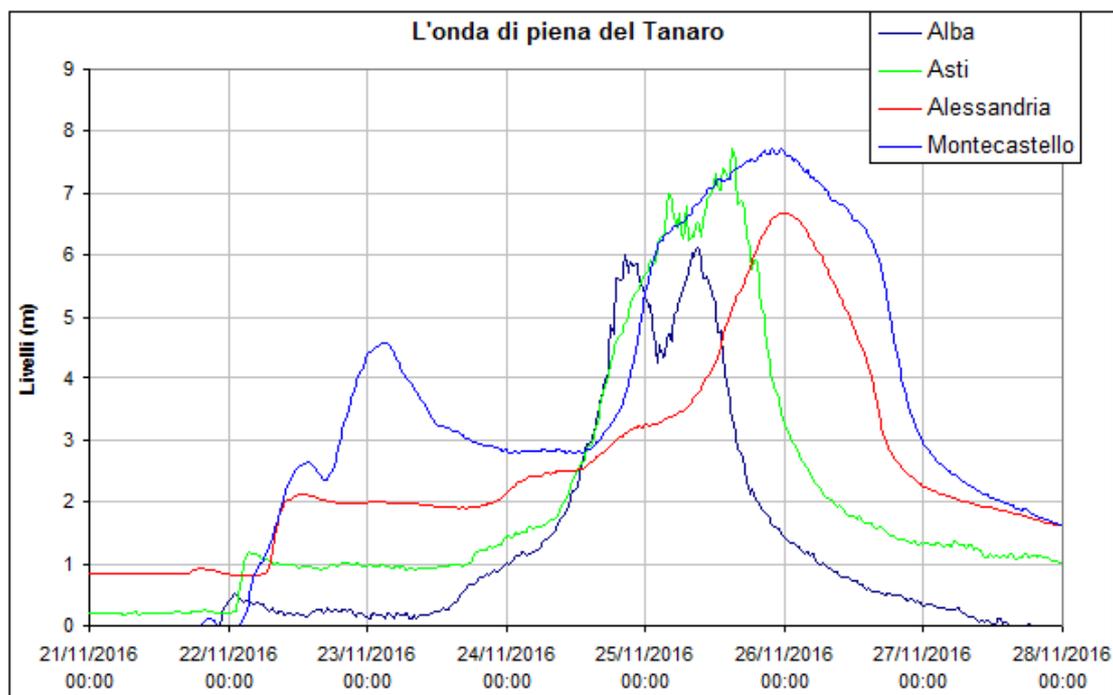


Figura 52. Traslazione della piena del Tanaro da Alba (CN) a Montecastello (AL)

Dall'osservazione della sovrapposizione degli andamenti idrometrici rilevati a monte e valle della confluenza Bormida–Tanaro (Figura 53), appare evidente l'anticipo dell'onda della Bormida (circa

dodici ore rispetto al Tanaro), che ha determinato la rapida crescita dei livelli a Montecastello diverse ore prima che venisse raggiunta ad Alessandria la fase di colmo del Tanaro.

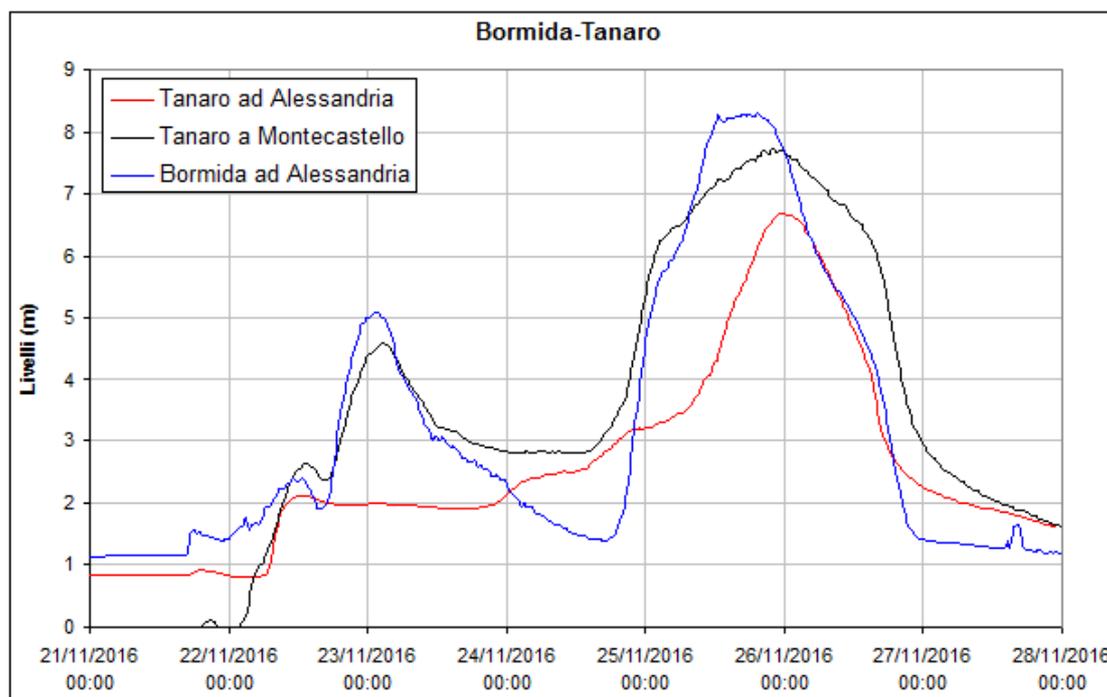


Figura 53. Idrogrammi di Tanaro e Bormida alla confluenza

A titolo di sintesi, nella Tabella 5 si riportano i colmi ed i massimi incrementi di livello [m] registrati durante l'evento per le stazioni del fiume Tanaro.

Tabella 5. Colmi e massimi incrementi di livello [m] registrati durante l'evento per le stazioni idrometriche del Tanaro

Bacino	Comune	Provincia	Stazione	Data e ora (UTC) del colmo	MAX	0,5h	1h	3h	6h	12h	24h	Incremento
TANARO	GARESSIO	CN	GARESSIO TANARO	24/11/2016 12:30	5,19	0,39	0,65	1,13	1,55	2,11	2,49	4,72
TANARO	LESEGNO	CN	PIANTORRE TANARO	24/11/2016 15:00	6,74	0,33	0,54	1,29	2,24	3,11	3,97	6,74
TANARO	FARIGLIANO	CN	FARIGLIANO TANARO	24/11/2016 13:30	6,77	0,49	0,90	2,28	3,38	3,95	4,56	6,07
TANARO	ALBA	CN	ALBA TANARO	25/11/2016 09:00	6,14	0,89	0,93	1,99	3,05	4,45	5,17	6,91
TANARO	ASTI	AT	ASTI TANARO	25/11/2016 15:00	7,71	0,64	0,72	1,22	2,04	3,55	5,37	7,53
TANARO	MASIO	AL	MASIO TANARO	25/11/2016 18:00	5,79	0,56	0,93	1,44	1,57	1,76	3,11	6,50
TANARO	ALESSANDRIA	AL	ALESSANDRIA TANARO	25/11/2016 23:30	6,68	0,26	0,50	1,08	1,61	2,70	3,49	5,88
TANARO	MONTECASTELLO	AL	MONTECASTELLO TANARO	25/11/2016 22:00	7,72	0,29	0,55	1,48	2,50	3,38	4,52	8,39

## La piena del Fiume Po

L'onda di piena del Po si è generata dalla composizione degli idrogrammi del Po e del Pellice nel territorio di Villafranca Piemonte (TO). Le piene sui due bacini, considerate singolarmente, hanno presentato valori al colmo rispettivamente di circa 1300 mc/sec sul Pellice (come già precedentemente descritto) e di circa 970 mc/sec sul Po.

A valle della confluenza i due idrogrammi si sono composti quasi in fase, determinando un'onda di deflusso estremamente gravosa, con colmo superiore a 2000 mc/sec.

Nel tratto tra la confluenza con il Pellice e la stazione idrometrica di Carignano, la piena ha subito la laminazione dovuta alle esondazioni in zone golenali interessate anche da laghi di cava, ma ha ricevuto i contributi, anche se non particolarmente gravosi, del Maira e del Varaita.

A Carignano (TO), si è registrato un livello massimo di 6,71 metri, superiore a quello della piena del 2000, con riferimento al dato rilevato dal sensore a ultrasuoni installato sul ponte (6,29 m nel 2000, 6,71 m nel 2016). La portata al colmo corrispondente è stata stimata in circa 2200 mc/sec, verificata anche in base ad una misura di portata eseguita in fase di esaurimento e a simulazioni modellistiche eseguite dopo la piena (Figura 54).

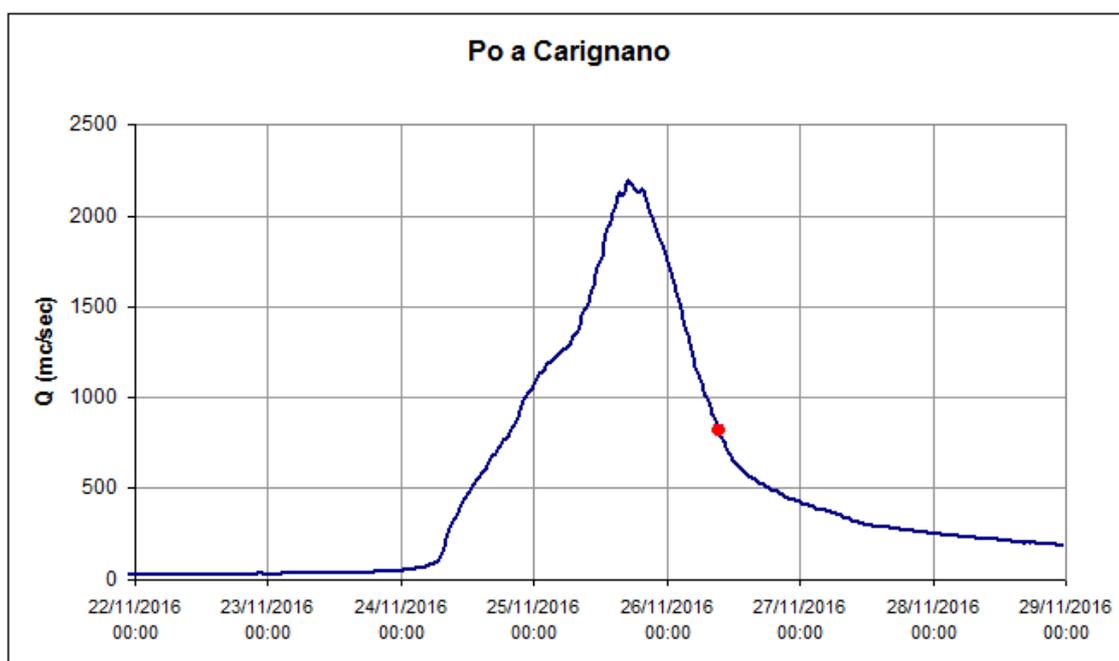


Figura 54 Idrogramma di Carignano (TO) e misura diretta di portata in rosso

A valle di Carignano (TO), al processo di traslazione–laminazione dell'onda sul Po si è sovrapposto il contributo del bacino del Chisola, interessato da un evento di estrema gravosità (come descritto nel paragrafo precedente), mentre i contributi degli altri affluenti nel settore tra Carignano e Moncalieri (in particolare il Banna) sono risultati di scarsa entità.

Nella stazione di Moncalieri (TO) il colmo è stato registrato la sera del 25, il livello massimo è stato di 8,72 m corrispondente ad una portata di quasi 2400 mc/sec (Figura 55). Tale valore al colmo è stato verificato dalla scala di piena utilizzata anche per le analisi dei colmi storici e l'idrogramma è stato ricostruito tenendo conto di una misura eseguita nella fase discendente della piena.

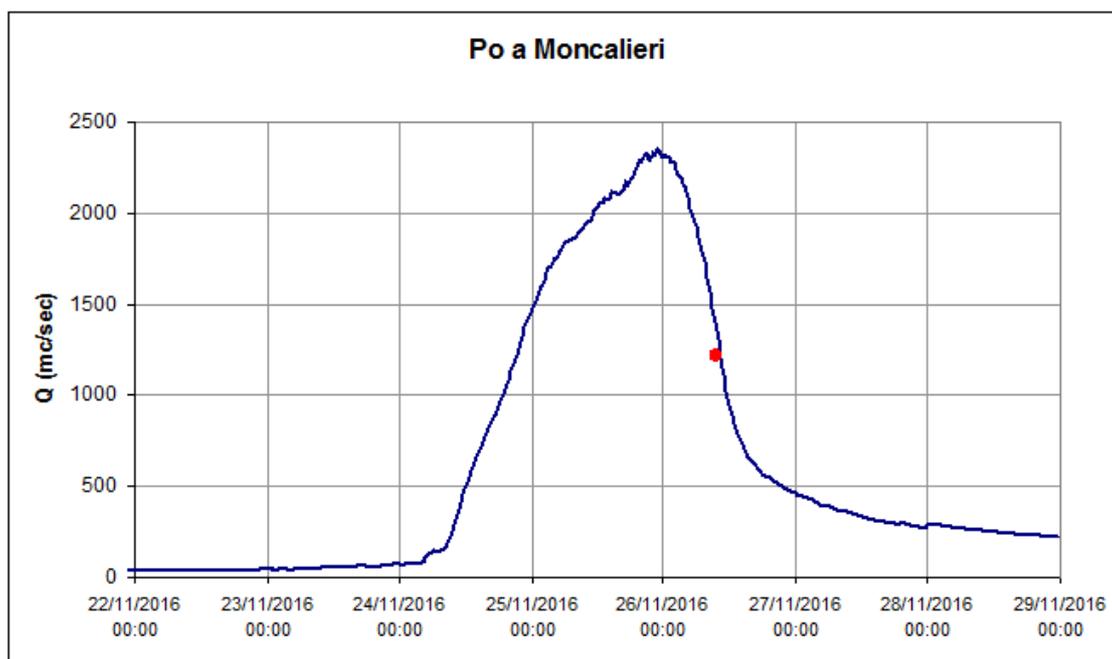


Figura 55. Idrogramma del Po a Moncalieri (TO) e misura diretta di portata in rosso

Procedendo verso valle, l'onda di piena ha ricevuto il contributo del Sangone, che ha quasi del tutto anticipato la piena, determinando, all'idrometro di Torino, un colmo di quasi 2500 mc/sec (Figura 56).

L'idrogramma del Po a Torino (sezione idrometrica ubicata sul ponte di Corso Regina Margherita) è caratterizzato da una lunga fase di deflusso prossimo al colmo conseguente all'idrologia generale dell'evento ed ai fenomeni idrodinamici a monte, con un'ultima accentuazione dovuta all'effetto di anticipo del Sangone.

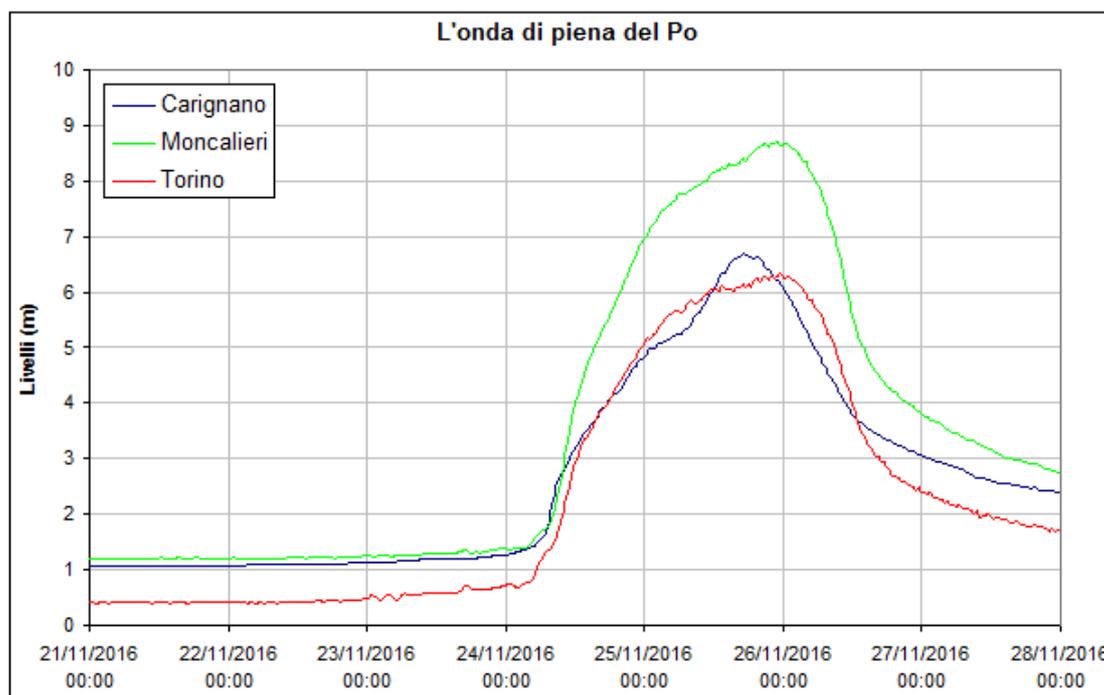


Figura 56. Traslazione della piena di Po fino a Torino

A valle di Torino l'onda di piena ha ricevuto i contributi (singolarmente non caratterizzabili come eventi eccezionali) dei tributari in sinistra (Dora Riparia, Stura di Lanzo, Orco, Malone, Dora Baltea, Sesia), ed ha raggiunto a San Sebastiano (TO) un colmo di circa 4400 mc/sec; l'idrogramma è stato ricostruito anche sulla base di una misura eseguita in fase di esaurimento della piena (Figura 57).

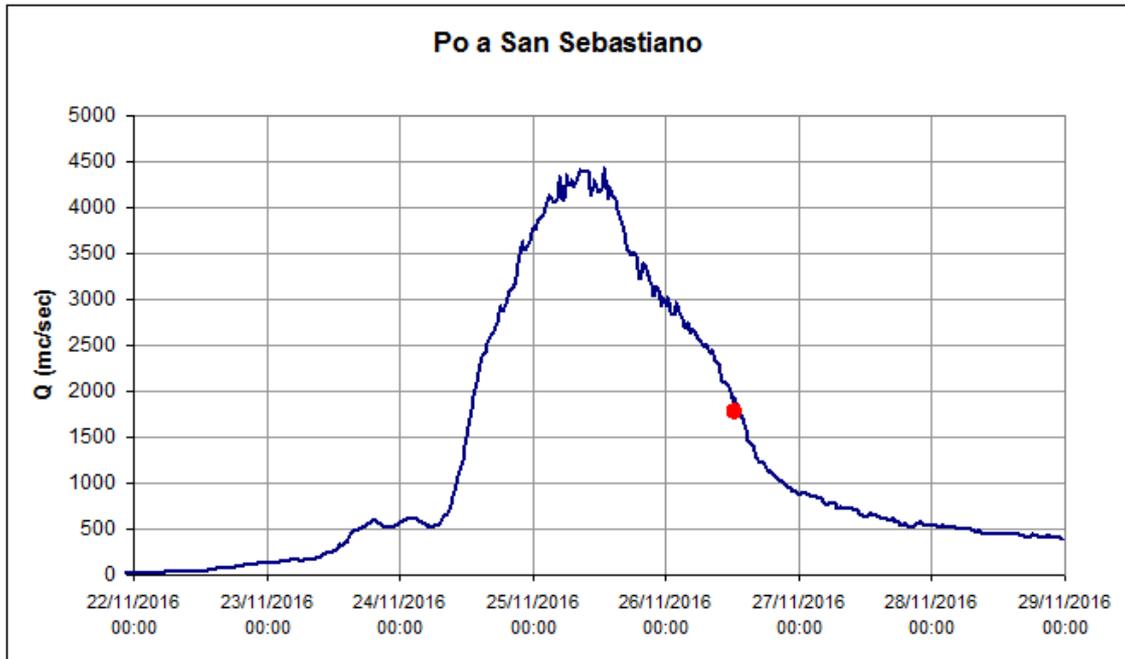


Figura 57. Idrogramma del Po a San Sebastiano (TO) e misura di portata diretta in rosso

A Crescentino (VC), sezione a valle della confluenza con la Dora Baltea, il colmo ha raggiunto una portata di quasi 5000 mc/sec.

Anche in questo caso la misura diretta di portata durante l'evento ha consentito di verificare/aggiornare il ramo di piena della scala di deflusso in base alla quale è stato determinato l'idrogramma (Figura 58).

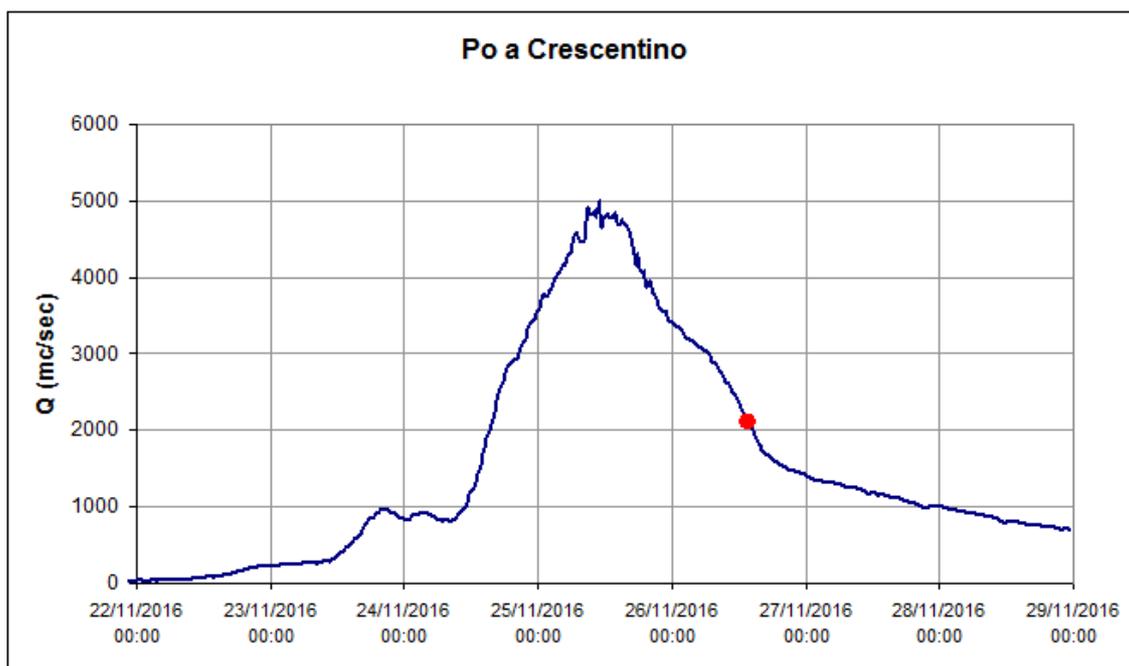


Figura 58. Idrogramma del Po a Crescentino e misura diretta di portata in rosso

Più a valle, a Casale Monferrato (AL), per l'effetto combinato di laminazione e contributo di bacino residuo, il colmo si è mantenuto circa sullo stesso valore 4950 mc/sec.

L'apporto del Sesia all'onda di piena del Po è risultato di entità non rilevante e a Valenza (AL) il colmo risulta di circa 6120 mc/sec. A valle di Valenza, la composizione in fase degli idrogrammi del Po e del Tanaro ha nuovamente determinato un idrogramma piuttosto critico a Isola S. Antonio (AL), con una portata al colmo stimabile in 9950 mc/sec (Figura 59).

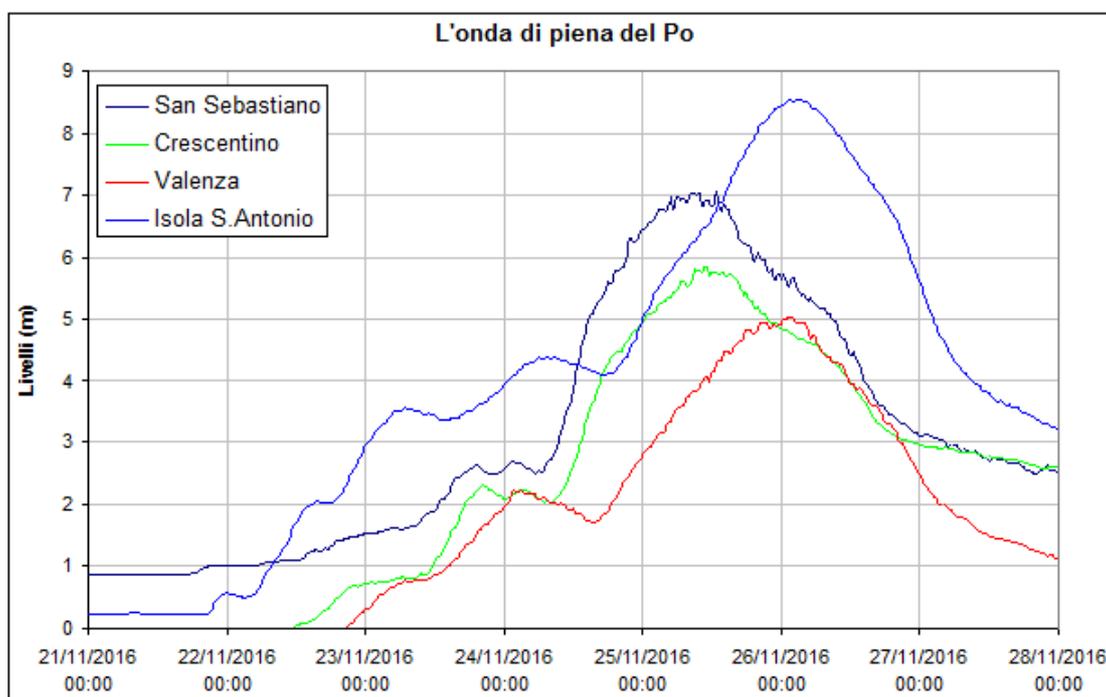


Figura 59. Traslazione della piena del Po a valle di Torino, fino Isola S. Antonio (AL)

Nella Tabella 6 si riportano i colmi ed i massimi incrementi di livello [m] registrati durante l'evento dalle stazioni idrometriche ubicate lungo il fiume Po.

Tabella 6. Colmi e massimi incrementi di livello [m] registrati durante l'evento per le stazioni idrometriche del Po

Bacino	Comune	Provincia	Stazione	Data e ora (UTC) del colmo	MAX	0,5h	1h	3h	6h	12h	24h	Incremento
PO	CARIGNANO	TO	CARIGNANO PO	25/11/2016 17:00	6,71	0,28	0,51	1,12	1,70	2,55	3,78	5,65
PO	MONCALIERI	TO	MONCALIERI PO	25/11/2016 23:00	8,72	0,31	0,60	1,67	2,70	4,12	6,14	7,54
PO	TORINO	TO	TORINO MURAZZI PO	25/11/2016 23:30	6,35	0,24	0,46	1,32	1,99	3,04	4,82	5,95
PO	SAN SEBASTIANO DA PO	TO	SAN SEBASTIANO PO	25/11/2016 13:00	7,05	0,28	0,51	1,25	2,17	3,11	4,44	6,19
PO	CRESCENTINO	VC	CRESCENTINO PO	25/11/2016 11:00	5,86	0,21	0,36	0,95	1,73	2,52	3,70	6,23
PO	CASALE MONFERRATO	AL	CASALE MONFERRATO PO	25/11/2016 16:30	2,99	0,26	0,37	0,81	1,45	2,51	4,70	7,00
PO	VALENZA	AL	VALENZA PO	26/11/2016 01:30	5,03	0,17	0,21	0,51	0,89	1,66	2,93	5,86
PO	ISOLA SANT'ANTONIO	AL	ISOLA S. ANTONIO PO	26/11/2016 01:30	8,55	0,15	0,25	0,69	1,19	1,94	3,85	8,33

## Analisi statistica delle portate al colmo di piena

Le valutazioni sulla ricorrenza statistica della piena derivano dal confronto con le portate di assegnato tempo di ritorno indicate dall'Autorità di Bacino del Po in "Profili di piena dei corsi d'acqua del reticolo principale" - Piano per la valutazione e la gestione del rischio di alluvioni - Art. 7 della Direttiva 2007/60/CE e del D.lgs. n. 49 del 23.02.2010, approvato con DPCM 17A00829 del 27 ottobre 2016, nel seguito PGRA, in cui, rispetto al quadro delle conoscenze acquisite nell'ambito della redazione del PAI, sono stati fatti diversi aggiornamenti a seguito di più recenti studi di asta. Per i tratti di asta non aggiornati, sono stati mantenuti i valori adottati dal PAI "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" - Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico - Legge 18 maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6ter, adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 in data 26 aprile 2001 7. Norme di attuazione. In assenza di valori PGRA e valori PAI, si è provveduto alla stima dei tempi di ritorno attraverso la procedura ARPIEM - Analisi Regionale delle Plene nei bacini Montani (2012 Arpa Piemonte) cui si rimanda per eventuali approfondimenti.

Nella Tabella 7 vengono riportati i colmi di piena dell'evento e i corrispondenti tempi di ritorno confrontati con i valori ufficiali definiti nel PGRA, i valori con \* sono invece definiti dal PAI.

Tabella 7. Colmi di piena dell'evento e tempi di ritorno corrispondenti per alcune sezioni significative (\* PAI)

Bacino	Stazione	Portata al colmo [mc/sec]	TR [anni]	Q TR PGRA [mc/sec]		
				TR 20	TR 200	TR 500
SEZIA	Sesia a Palestro	1800	<20	3700	5500	6300
DORA BALTEA	Dora Baltea a Verolengo	750	<20	1630	3000	3520
STURA DI LANZO	Stura di Lanzo a Torino	1500	20-200	1240	2080	2440
STURA DI LANZO	Stura di Lanzo a Lanzo	840	<20	1080	1810	2120
DORA RIPARIA	Dora Riparia a Torino	550	20-200	300	630	890
PELLICE	Chisone a San Martino	730	20-200	580	1100	1340
PELLICE	Pellice a Villafranca	1310	20-200	1010	1920	2340
PO	Chisola a La Loggia	440	200-500		400	450
PO	Sangone a Torino	430	<20	580	820	900
PO	Po a Villafranca	970	20	900	1300	1460
PO	Po a Carignano	2200	20-200	1600*	2400*	2720*
PO	Po a Moncalieri	2400	20-200	1750	2700	3100
PO	Po a Torino C.so Regina	2500	20-200	1730*	2600*	2950*
PO	Po a San Sebastiano	4430	20-200	3800 <sup>(1)</sup>	5900 <sup>(1)</sup>	6600 <sup>(1)</sup>
PO	Po a Crescentino	4990	<20	6100	-	10900
PO	Po a Casale Monferrato	4950	<20	6000	-	10000
PO	Po a Valenza	6120	<20	6500	7600*	10800
PO	Po a Isola S. Antonio	9950	20-500	8400	10300*	13300
TANARO	Bormida di Millesimo a Murialdo	480	500 <sup>(2)</sup>	-	-	-
TANARO	Bormida di Millesimo a Camerana	940	200 <sup>(2)</sup>	-	-	-
TANARO	Bormida di Millesimo a Cessole	1160	500 <sup>(2)</sup>	-	-	-
TANARO	Bormida di Spigno a Piana Crixia	740	20-200 <sup>(2)</sup>	-	-	-
TANARO	Bormida di Spigno a Mombaldone	1010	20-200 <sup>(2)</sup>	-	-	-
TANARO	Bormida a Cassine	2110	20-200	2010	3020	3400
TANARO	Tanaro a Garessio	830	200-500 <sup>(2)</sup>	-	-	-
TANARO	Tanaro a Piantorre	1430	200 <sup>(2)</sup>	-	-	-
TANARO	Tanaro a Farigliano	3120	> 500	1550	2300	2600
TANARO	Tanaro ad Alba	3440	500	2050	3050	3400
TANARO	Tanaro ad Asti	3450	20-200	2650	3550	3900
TANARO	Tanaro ad Alessandria	3470	200	2850	3400	4300
TANARO	Tanaro a Montecastello	3720	20-200	3250	5400	-

<sup>(1)</sup> Per la stazione del Po a San Sebastiano si sono utilizzati i valori di QTR di Chivasso

<sup>(2)</sup> Valori calcolati con la procedura ARPIEM

Come si può notare, si è trattato di un evento estremo con ricorrenza plurisecolare per l'intera asta di Tanaro, escludendo la chiusura a Montecastello (AL) dove il tempo di ritorno è inferiore ai 200 anni. Anche tra i suoi affluenti, il ramo di Millesimo della Bormida ha raggiunto tempi di ritorno plurisecolari mentre sul ramo di Spigno le piene sono state più contenute e caratterizzate da tempi di ritorno compresi tra 20 e 50 anni.

Sull'asta di Po il tratto torinese risulta il più critico, con tempi di ritorno di poco inferiori ai 200 anni, mentre a valle di Torino e fino alla confluenza con il Tanaro, la ricorrenza dell'evento è meno che ventennale.

Tra gli affluenti del Po, il più critico è il Chisola per il quale l'evento è caratterizzato da una ricorrenza plurisecolare, mentre gli altri si mantengono intorno a valori ventennali.

Nella sezione di chiusura del bacino del Po (Isola S. Antonio) la portata è caratterizzata da un tempo di ritorno superiore ai 20 anni.

## Volumi di piena e coefficienti di deflusso

Per le sezioni di maggior interesse e dove la qualità dei dati idropluviometrici lo ha consentito, è stata svolta un'analisi per la determinazione dei volumi delle onde di piena e delle piogge ragguagliate cumulate dell'evento. Per l'analisi dei volumi di piena si sono considerati gli idrogrammi di portata ricostruiti (vedi paragrafo precedente) separando il deflusso di base da quello ipodermico e superficiale. La valutazione delle piogge ragguagliate è stata condotta tramite interpolazione dei dati pluviometrici misurati e aggregati a scala oraria. Infine, è stato determinato il coefficiente di deflusso ( $Vol_{def}/Vol_{aff}$ ) relativamente al solo deflusso superficiale. I risultati ottenuti sono riportati nella Tabella 8.

Tabella 8. Afflusso cumulato, volume di piena defluito e coefficiente di deflusso nelle sezioni di maggior interesse

Corso d'acqua	Sezione di chiusura	Afflusso cumulato [mm]	Volume defluito [Mmc]	Coefficiente di deflusso [-]
PELLICE	Villafranca	380	150	0,40
CHISOLA	La Loggia	250	50	0,43
SANGONE	Torino	290	50	0,78
PO	Villafranca	300	117	0,58
	Carignano	230	294	0,32
	Moncalieri	220	371	0,34
	Torino	220	410	0,34
	San Sebastiano	250	736	0,32
	Crescentino	200	1005	0,38
	Casale Monferrato	195	1072	0,40
	Valenza	190	1353	0,41
	Isola S. Antonio	180	1722	0,37
TANARO	Garessio	440	89	0,81
	Piantorre	390	154	0,79
	Farigliano	300	371	0,83
	Alba	220	458	0,63
	Asti	190	430	0,54
	Alessandria	170	423	0,47
	Montecastello	165	600	0,45

I coefficienti di deflusso degli idrogrammi di piena di Pellice e Chisola sono risultati relativamente bassi (0,40 per il Pellice, 0,43 per il Chisola), ma per il primo va considerato l'effetto delle precipitazioni nevose che hanno interessato circa il 50-60% del bacino, per il secondo gli effetti di laminazione e dispersione di portata verificatesi a monte.

Lungo l'asta del Po, i coefficienti di deflusso passano da 0,58 di Villafranca a 0,34 di Torino ciò può ricondursi al fatto che procedendo verso valle, contestualmente all'incremento dell'estensione e del tempo di corrivazione dei bacini, si è manifestata un'attenuazione delle precipitazioni ragguagliate, dovuta all'inclusione di aree con minore afflusso, in particolare nel settore idrografico destro del Po (le altezze di afflusso ragguagliate subiscono una riduzione piuttosto significativa, da circa 300 mm sul Po a Villafranca, a 230 mm sul Po a Carignano). Questo fenomeno è stato in parte bilanciato dalla graduale riduzione dell'incidenza delle aree nivali. Nel tratto di pianura fino a Valenza il coefficiente di deflusso si attesta su valori intorno a 0,4 mentre quello complessivo risulta pari a 0,37. Per quanto riguarda il Tanaro, fino alla sezione di Farigliano le ragguagliate di pioggia si riducono sensibilmente (da 450 mm di Garessio ai 300 mm di Farigliano) mentre i coefficienti di deflusso sono molto simili e intorno a 0,8, per l'effetto di "compensazione" tra diminuzione degli afflussi e contestuale riduzione delle aree del bacino interessate da precipitazioni nevose.

Da Alba e fino alla chiusura (sezione di Montecastello -AL) si assiste ad una graduale riduzione sia delle altezze di afflusso (da 220mm ad Alba a 165 mm a Montecastello) che dei coefficienti di deflusso, con un valore complessivo di 0,45 a Montecastello.

## RICOSTRUZIONE DELLE PIOGGE DI INNESCO PER LE FRANE SUPERFICIALI

Al fine di stimare con quali tempistiche e per quali valori di pioggia le frane superficiali si siano innescate nelle aree più colpite da tali fenomeni, le piogge registrate durante l'evento pluviometrico sono state confrontate con i valori delle soglie, definite dal modello di preannuncio per le frane superficiali del Centro Funzionale di Arpa Piemonte.

Il modello, denominato **SMART** (*Shallow landslides Movements Announced through Rainfall Thresholds*) (Tiranti e Rabuffetti, 2010) si basa su soglie pluviometriche empiriche ricavate dall'analisi statistica dei rapporti piogge-frane storiche. Il modello SMART opera sia in fase previsionale che in fase di monitoraggio, in analogia con l'impostazione del Sistema di Allerta Regionale.

Per le frane superficiali il modello SMART distingue due macro zone, denominate "Zone omogenee" (Figura 60), caratterizzate da due differenti set di soglie (Eq. 1 e 2), entrambe sperimentalmente definite per durate superiori alle 12 ore. Al di sotto delle 12 ore un superamento di soglia può indicare una probabilità di occorrenza di altri fenomeni quali, ad esempio, l'erosione accelerata del suolo per fenomeni di ruscellamento superficiale diffuso, ma non inneschi di frane superficiali.

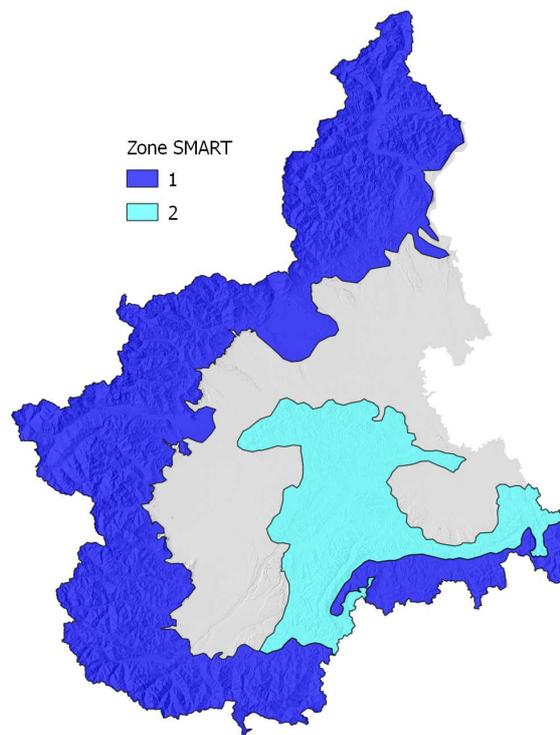


Figura 60. Zone a comportamento omogeneo nel modello SMART. Zona SMART 1: aree alpine e appenniniche caratterizzate da substrati metamorfici; Zona SMART 2: aree collinari caratterizzate da substrati sedimentari

Per la Zona SMART 1 (aree alpine e appenniniche) vale l'equazione 1:

$$l = 25 \cdot D^{-0.55} \quad (\text{Eq.1})$$

Per la Zona SMART 2 (aree collinari) vale l'equazione 2:

$$l = 40 \cdot D^{-0.35} \quad (\text{Eq.2})$$

dove  $l$  è la cumulata di pioggia per la durata  $D$ , 25 e 40 sono valori sperimentalmente ricavati dall'analisi statistica delle relazioni tra piogge ed eventi storici di frana; i numeri all'esponente rappresentano il

Montana Coefficient (Boni et al., 2001) che definisce le caratteristiche della pioggia in funzione dell'altimetria.

Sulla base della densità dei fenomeni franosi attesi si definiscono tre gradi di criticità oltre ad una situazione di criticità assente corrispondente ad una probabilità non significativa per l'innescio di frane superficiali: (i) criticità ordinaria (inneschi isolati di frane superficiali o diffusi fenomeni di erosione accelerata del suolo per ruscellamento diffuso); (ii) criticità moderata (inneschi poco diffusi di frane superficiali, equivalente ad un numero inferiore a 10 frane per km<sup>2</sup>); (iii) criticità elevata (inneschi diffusi di frane superficiali, equivalente ad un numero superiore a 10 frane per km<sup>2</sup>).

In occasione di precipitazioni convettive, intense ma localizzate, le reti pluviometriche si dimostrano spesso inadeguate: il centro di scroscio non viene rilevato dagli strumenti a terra per mancanza di risoluzione spaziale appropriata. I sistemi radar meteorologici sono strumenti di *remote sensing* in grado di stimare l'intensità istantanea della precipitazione con elevata risoluzione spaziale e temporale. ARPA Piemonte gestisce due sistemi radar meteorologici, collocati sulla collina torinese, Bric della Croce (TO), e sulla vetta del Monte Settepani (SV) nell'Appennino Ligure. Inoltre, in virtù di accordi di collaborazione, l'Agenzia condivide in tempo reale le osservazioni dei sistemi di Monte Lema, gestito da Meteosvizzera, e di Carpiano (MI), gestito dall'Ente Nazionale di Assistenza al Volo (ENAV). La disponibilità delle osservazioni di questa rete di sensori assicura una stima dell'intensità di precipitazione sull'intero territorio piemontese con una risoluzione spaziale di 800 m per 800 m ed una frequenza di aggiornamento di 5 minuti. La Figura 61 mostra la copertura strumentale radarmeteorologica sulle aree oggetto di questa analisi: i simboli a stella indicano i siti di installazione degli strumenti, i cerchi il massimo raggio di rilevamento ed i rettangoli azzurri mostrano le aree di analisi del Pellice-Chisone e dell'Alto Tanaro.

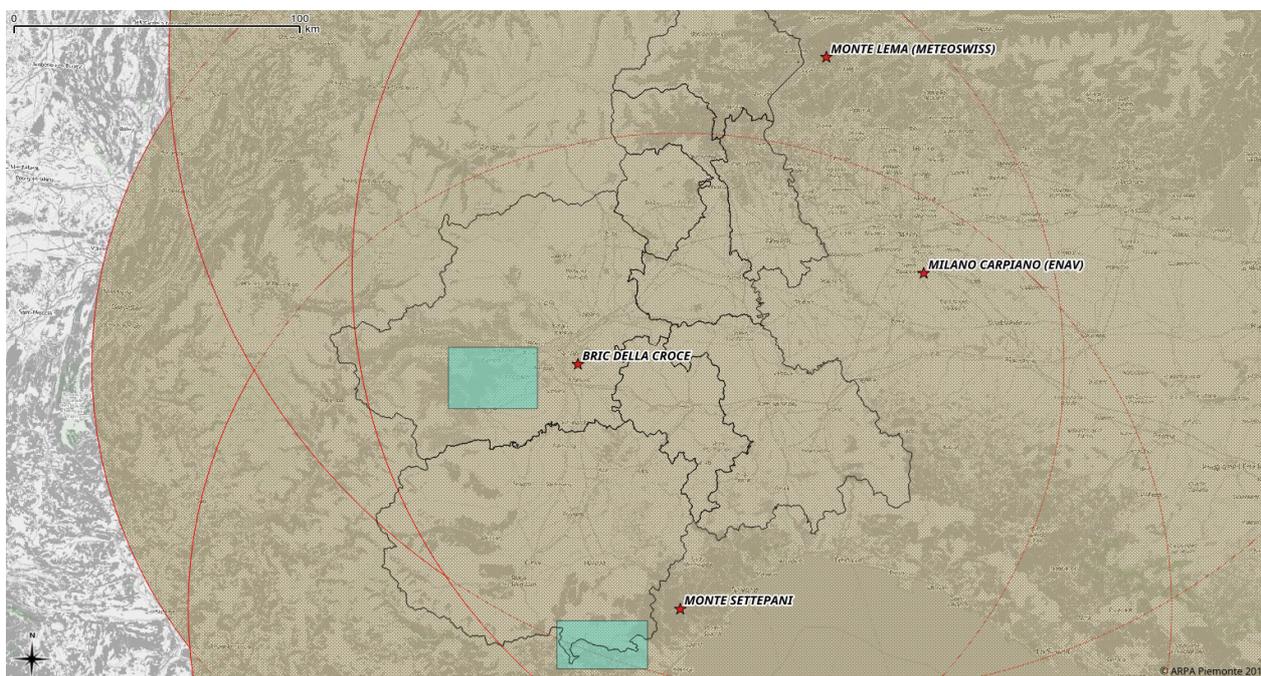


Figura 61. Copertura radar meteorologica del Pellice-Chisone e dell'Alto Tanaro

Le stime di precipitazione, ottenute dai sistemi radar meteorologici, sono affette da incertezze dipendenti dallo strumento, dall'ambiente nel quale opera (per esempio orografia complessa) e dalla variabilità del tipo di precipitazione (stratiforme, convettiva). Attraverso un rigoroso confronto con i pluviometri della rete regionale di monitoraggio, Libertino et al. (2015) derivando l'effettiva area di copertura nella quale le stime radar meteorologiche di precipitazione possono essere utilizzate quantitativamente, mostra che le aree in oggetto godono di buona copertura radar

meteorologica. Quindi è possibile ottenere stime affidabili dei quantitativi di precipitazione osservati dai sistemi radar meteorologici dopo una correzione con gli strumenti a terra per rimuovere eventuali errori sistematici. L'analisi comparativa di differenti metodi geostatistici di correzione, effettuata da Goudenhoofdt e Delobbe (2009), ha dimostrato la superiorità dei metodi di Kriging rispetto a correzioni per errore medio o in funzione della distanza dallo strumento. Le stime di precipitazione giornaliera del mosaico piemontese sono state quindi corrette attraverso un'interpolazione dei fattori locali di confronto radar-pluviometri ( $F = R/G$ ) al fine di rimuovere il bias locale. Il campo di correzione, ottenuto sulle precipitazioni giornaliere, è stato quindi utilizzato per ottenere le stime di precipitazione su Pellice-Chisone ed Alto Tanaro per intervalli più brevi. La Figura 62 mostra le precipitazioni cumulate dal 21 al 26 novembre 2016 derivate dalle osservazioni radar meteorologiche, calibrate con le misure della rete pluviometrica, per le aree del e dell'alto Tanaro (a sinistra) Pellice-Chisone (a destra).

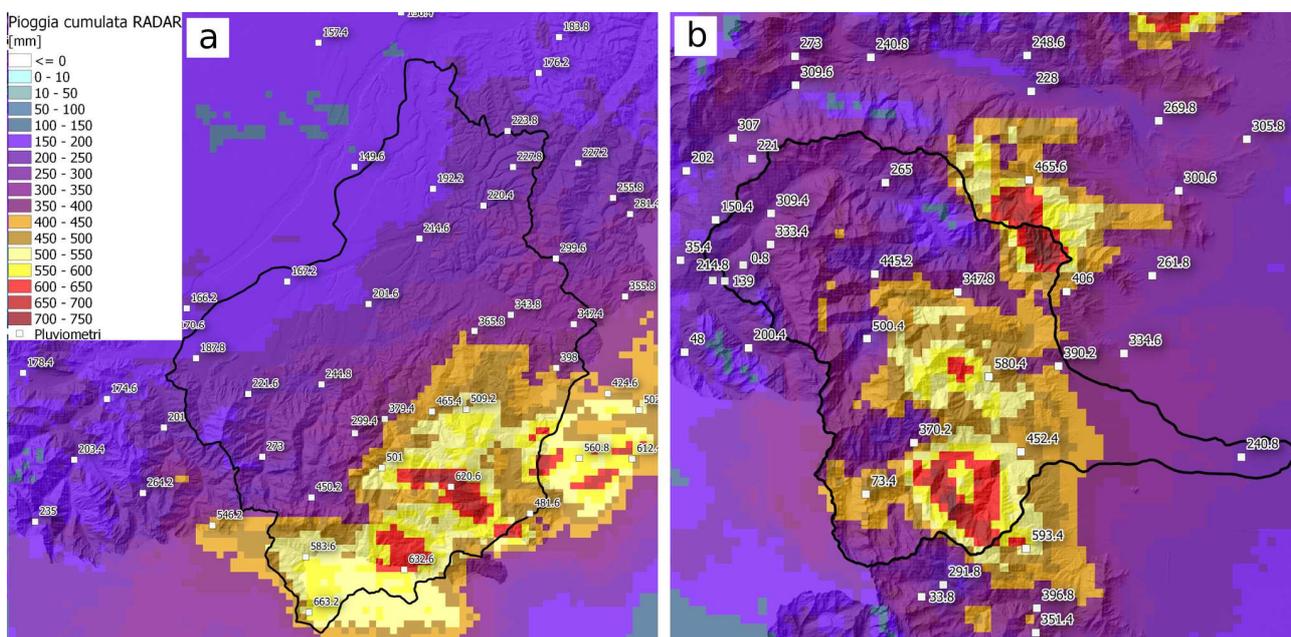


Figura 62. Pioggia cumulata dal 21 al 26 novembre 2016 stimata da radar nel bacino dell'alto Tanaro a); nel bacino del Pellice-Chisone b). I numeri relativi ai pluviometri della rete meteoidrografica di ARPA Piemonte, indicano il valore di cumulata di pioggia totale da questi registrata

I campi di pioggia osservati da radar sono stati filtrati sulla base dei valori soglia di innesco per le varie durate di pioggia, utilizzando la formula (Eq. 1) nelle zone maggiormente colpite da inneschi diffusi: le aree alpine dei bacini dell'alto Tanaro e del Pellice-Chisone.

Confrontando i valori soglia con la distribuzione delle piogge stimate dal mosaico dei radar meteorologici, è stato possibile ricostruire l'evoluzione spazio-temporale dei quantitativi di pioggia critica responsabili dell'innesco delle frane, con maggior precisione rispetto al dato puntuale offerto dai pluviometri della rete meteoidrografica.

Le prime piogge in grado di innescare frane superficiali si sono manifestate in modo sufficientemente distribuito nell'alto Tanaro a partire dalle 21:00 UTC del 23 novembre. Come illustrato in Figura 63, nell'area interessata dai valori di pioggia critica (Fig. 63b) si sono verificate alcune frane superficiali, verosimilmente coincidenti con i primi inneschi.

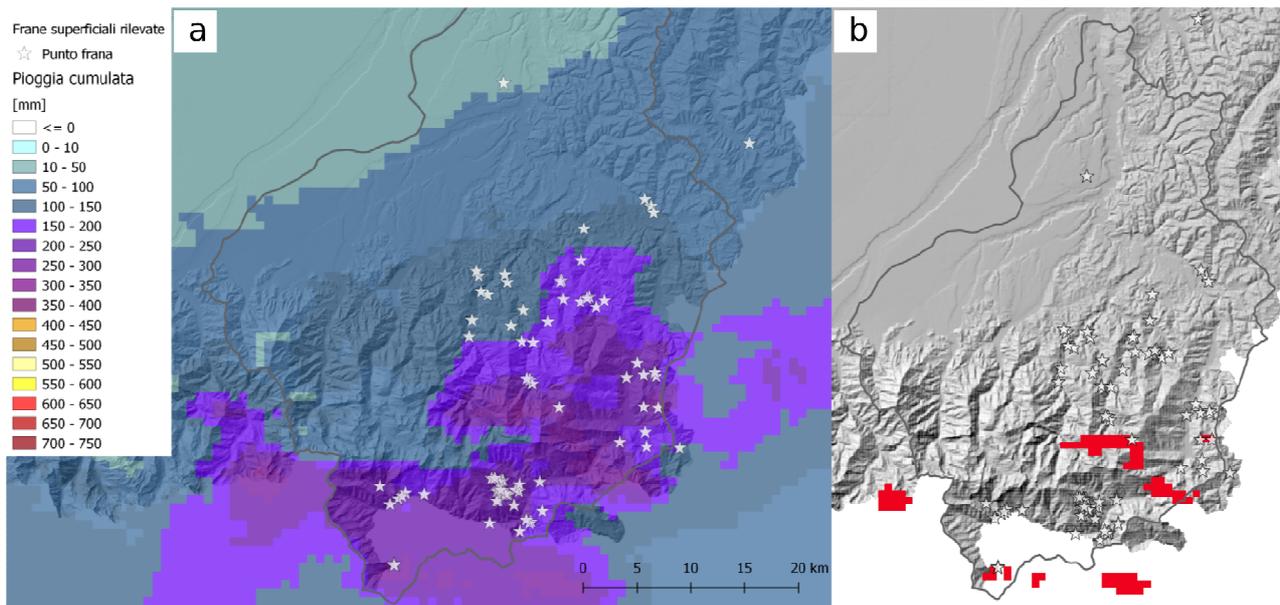


Figura 63. a) Pioggia cumulata da inizio evento alle ore 21:00 UTC del 23 novembre stimata da radar nel bacino dell'alto Tanaro. b) In rosso le aree che hanno registrato valori di pioggia cumulata superiori ai valori soglia di innesco per le frane superficiali (piogge critiche). I simboli a stella bianchi rappresentano le frane rilevate in seguito all'evento pluviometrico

I valori critici di pioggia si sono via via estesi interessando sempre maggiori porzioni del bacino, causando un più diffuso numero di inneschi verosimilmente a partire dalle 03:00 UTC del 24 (Figura 64 a,b).

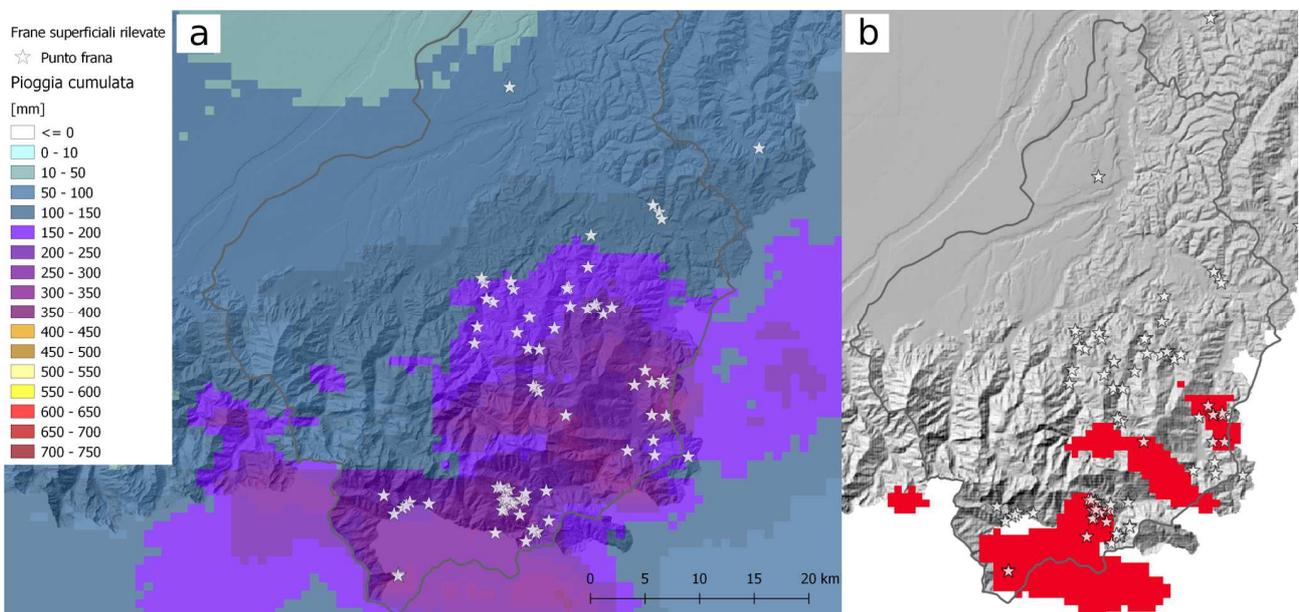


Figura 64. a) Pioggia cumulata da inizio evento alle ore 23:00 UTC del 24 novembre stimata da radar nel bacino dell'alto Tanaro. b) In rosso le aree che hanno registrato valori di pioggia cumulata superiori ai valori soglia di innesco per le frane superficiali (piogge critiche). I simboli a stella bianchi rappresentano le frane rilevate in seguito all'evento pluviometrico

I primi valori di pioggia critica sul bacino Pellice-Chisone si sono manifestati a partire dalle 08:00 UTC del 24, con l'interessamento delle testate dei piccoli bacini sede di debris flow innescati dalla convergenza nel canale principale di alcune frane superficiali in testata di bacino (Figura 65 a,b).

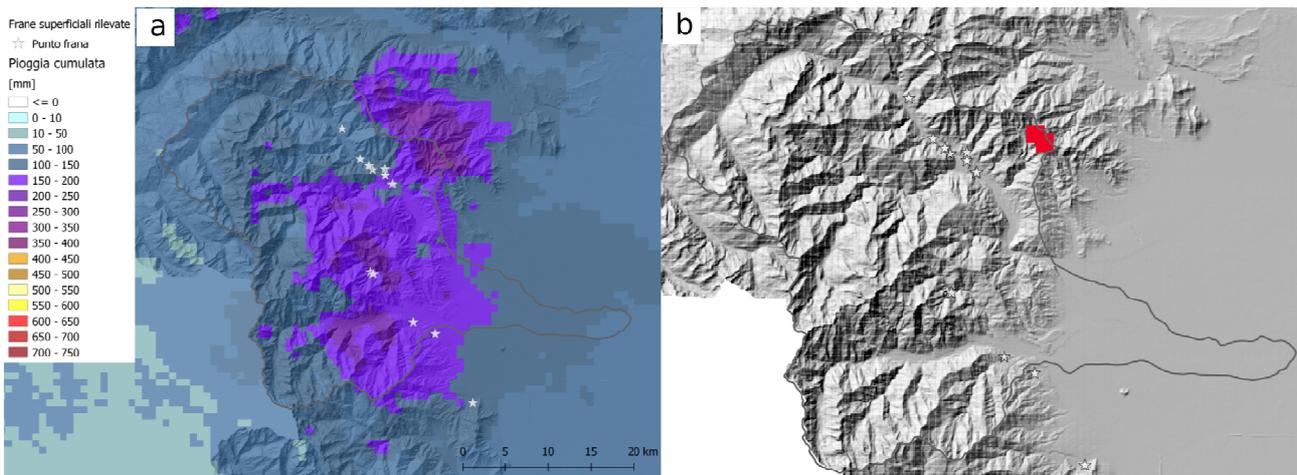


Figura 65 a) Pioggia cumulata da inizio evento alle ore 08:00 UTC del 24 novembre stimata da radar nei bacini del Pellice e Chisone. b) In rosso le aree che hanno registrato valori di pioggia cumulata superiori ai valori soglia di innesco per le frane superficiali (piogge critiche). I simboli a stella bianchi rappresentano le frane e le debris flow rilevate in seguito all'evento pluviometrico

Le piogge critiche si sono poi estese nella valle andando ad interessare anche altre aree colpite da fenomeni franosi a partire dalle 15:00 UTC del medesimo giorno (Figura 66 a,b).

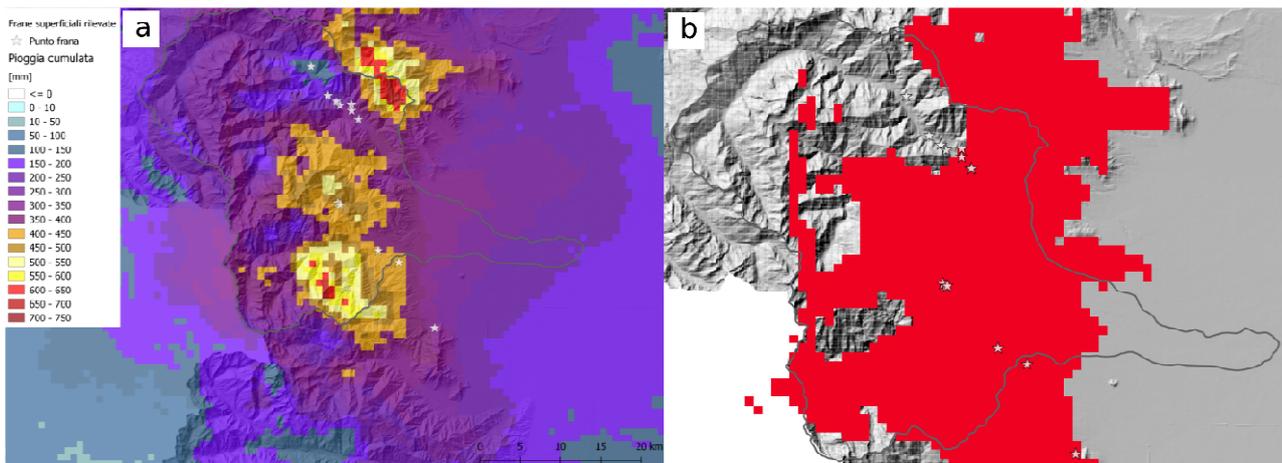


Figura 66. a) Pioggia cumulata da inizio evento alle ore 15:00 UTC del 24 novembre stimata da radar nei bacini del Pellice e Chisone. b) In rosso le aree che hanno registrato valori di pioggia cumulata superiori ai valori soglia di innesco per le frane superficiali (piogge critiche). I simboli a stella bianchi rappresentano le frane e le colate detritiche rilevate in seguito all'evento pluviometrico

Nel medesimo istante la situazione in alto Tanaro raggiungeva quasi il culmine (Figura 67,b) innescando il maggior numero di frane superficiali.

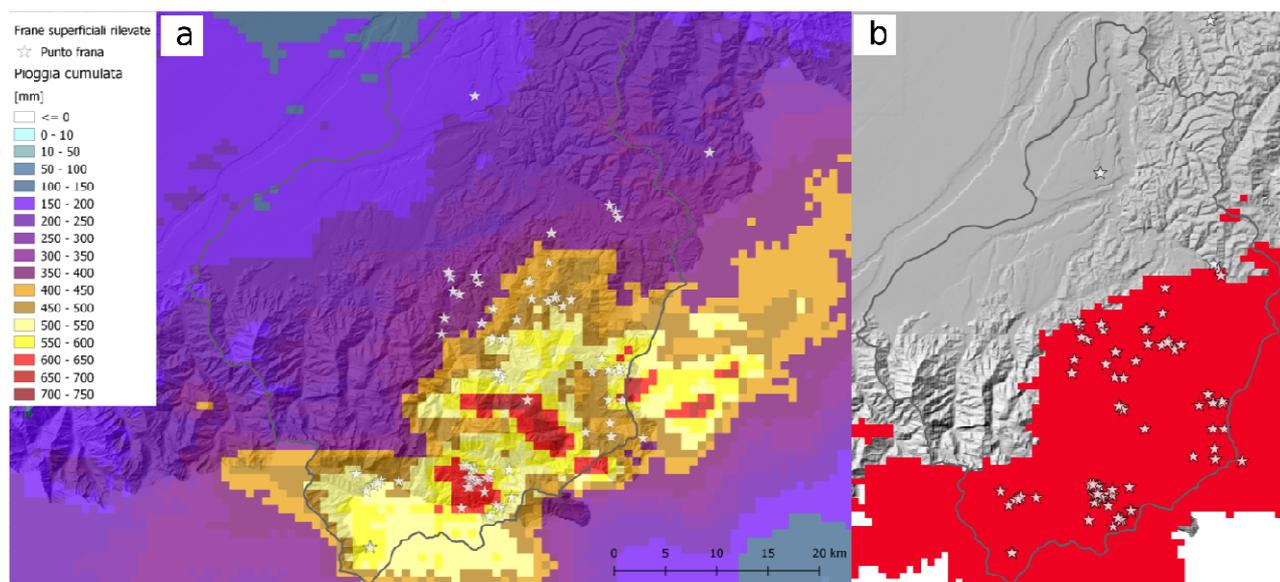


Figura 67. a) Pioggia cumulata da inizio evento alle ore 15:00 UTC del 24 novembre stimata da radar nel bacino dell'alto Tanaro. b) In rosso le aree che hanno registrato valori di pioggia cumulata superiori ai valori soglia di innesco per le frane superficiali (piogge critiche). I simboli a stella bianchi rappresentano le frane rilevate in seguito all'evento pluviometrico

Il culmine nella distribuzione delle piogge critiche è stato raggiunto per entrambe le aree, ma in particolare per l'alto Tanaro, il giorno successivo, alle 04:00 UTC. Tali valori di pioggia sono rimasti costanti, con modeste variazioni nella distribuzione, fino a fine evento (Figura 68 a,b), coincidente con le 00:00 UTC del 27 novembre 2016.

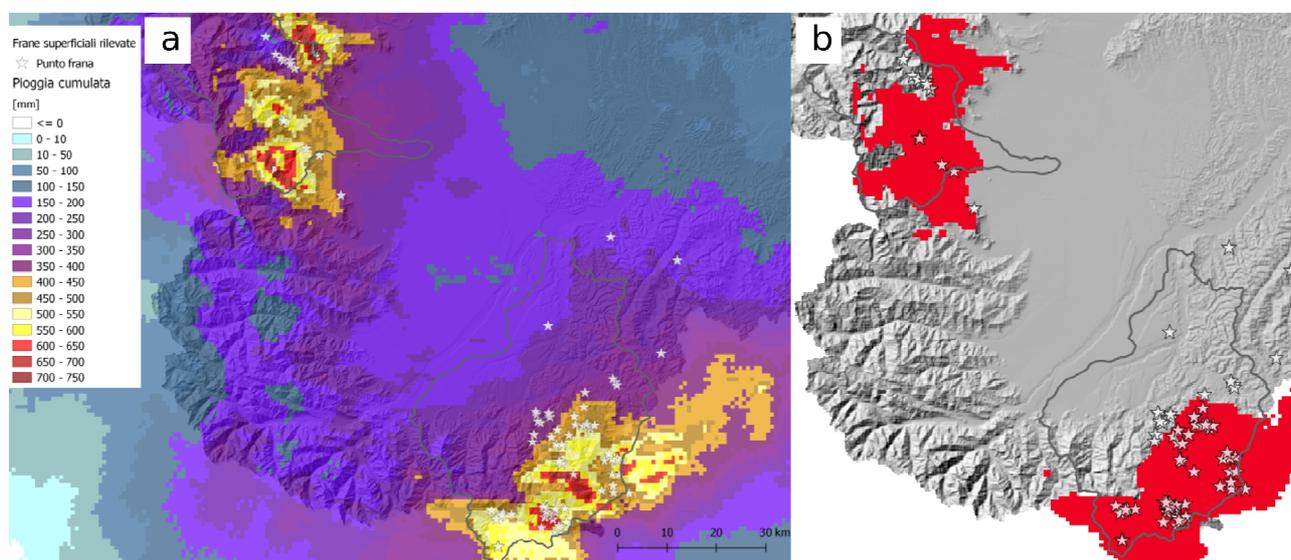


Figura 68. a) Pioggia cumulata da inizio a fine evento stimata da radar nei bacini dell'alto Tanaro, del Pellice e del Chisone. b) In rosso le aree che hanno registrato valori di pioggia cumulata superiori ai valori soglia di innesco per le frane superficiali (piogge critiche). I simboli a stella bianchi rappresentano le frane e le colate detritiche rilevate in seguito all'evento pluviometrico

Per quanto concerne i rari inneschi verificatesi in area collinare, le piogge sono state analogamente processate utilizzando la soglia definita dall'equazione 3, riferita alla curva di innesco frane superficiali per le aree caratterizzate da substrati sedimentari (colline piemontesi e aree pedeappenniniche). In figura 69 è riportato l'istante in cui verosimilmente si sono verificati gli inneschi (ore 6:00 UTC del 25 novembre 2016).

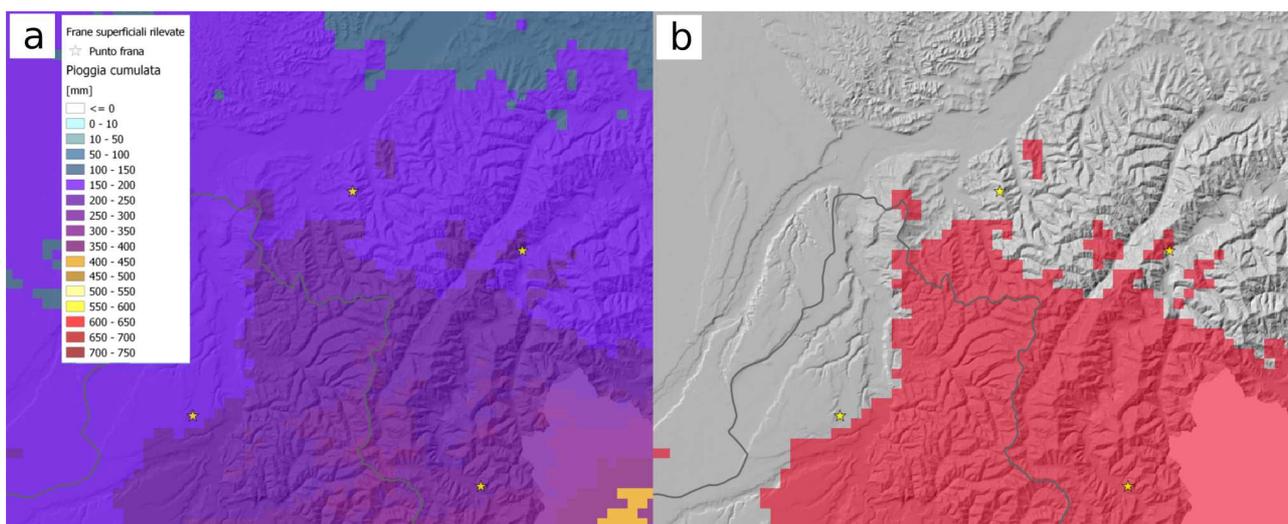


Figura 69. a) Pioggia cumulata da inizio evento alle ore 06:00 UTC del 25 novembre stimata da radar nelle aree collinari della Langa. b) In rosso le aree che hanno registrato valori di pioggia cumulata superiori ai valori soglia di innesco per le frane superficiali (piogge critiche). I simboli a stella rappresentano le frane rilevate in seguito all'evento pluviometrico

L'analisi condotta ha dimostrato come l'uso delle piogge stimate da radar meteorologici, integrate con misure da rete pluviometrica, sia più efficace nel determinare i reali campi di precipitazione responsabili dell'innesco di frane superficiali. La disponibilità di campi di precipitazione con appropriata risoluzione spaziale e temporale, ha permesso di caratterizzare l'innesco dei fenomeni torrentizi (debris flow) verificatesi in val Chisone tramite l'osservazione dell'evoluzione delle piogge critiche occorse in testata dei bacini che sono stati sede di trasporti in massa. Inoltre, il carattere diffuso degli inneschi, verificatesi durante l'evento del novembre 2016, ha confermato l'efficacia del modello di preannuncio di innesco di frane superficiali sviluppato e gestito dal Centro Funzionale Regionale presso Arpa Piemonte. L'utilizzo a posteriori della distribuzione dei valori di pioggia critica, ha infine permesso di ricostruire con un buon grado di affidabilità le tempistiche d'innesco dei fenomeni franosi che hanno interessato il Piemonte nel corso dell'evento alluvionale.

## CONFRONTO CON EVENTI PRECEDENTI

### Confronto meteorologico

Come detto nell'analisi meteorologica, l'evento alluvionale del 2016 presenta alcune analogie con un altro evento di simili proporzioni avvenuto nello stesso mese, ma nel 1994.

Tali analogie, a grande scala sono:

1. una vasta area di bassa pressione nord-atlantica in approfondimento dalle isole britanniche verso le coste del nord Africa;
2. un robusto campo di alta pressione sulle zone del Mediterraneo orientale.

Sebbene molto simili nelle caratteristiche generali a grande scala, è possibile evidenziare alcune differenze sostanziali, in particolare all'inizio dei due eventi.

Per il confronto tra i due eventi, prenderemo in esame lo stesso numero di giorni (2-6 novembre per il 1994, 21-25 novembre per il 2016).

Nelle fasi iniziali dell'evento, nel 2016 la saccatura atlantica risultava già ben strutturata ed estesa fino alle latitudini del Marocco, nel 1994, invece, il campo di pressione in quota appariva abbastanza lasco (figura 76 e figura 77), tale da determinare un flusso quasi zonale alle medie latitudini. Inoltre, l'inizio dell'evento del 2016 vedeva una situazione di blocco anticiclonico (definito ad omega rovesciata) da parte dell'anticiclone nordafricano espanso verso la Russia a latitudini prossime ai 60°N, mentre nel 1994 l'alta pressione si limitava ad occupare latitudini più basse intorno ai 40°N.

Anche al suolo la situazione barica è ben diversa (figura 76). Infatti, il gradiente barico in prossimità dell'arco alpino occidentale è molto meno profondo nell'evento del 1994, se confrontato alle condizioni iniziali dell'evento più recente. Tale configurazione di pressione al suolo ha determinato un diverso flusso di correnti umide nei bassi strati dell'atmosfera sulla nostra regione, risultando nettamente più intenso nell'evento più recente.

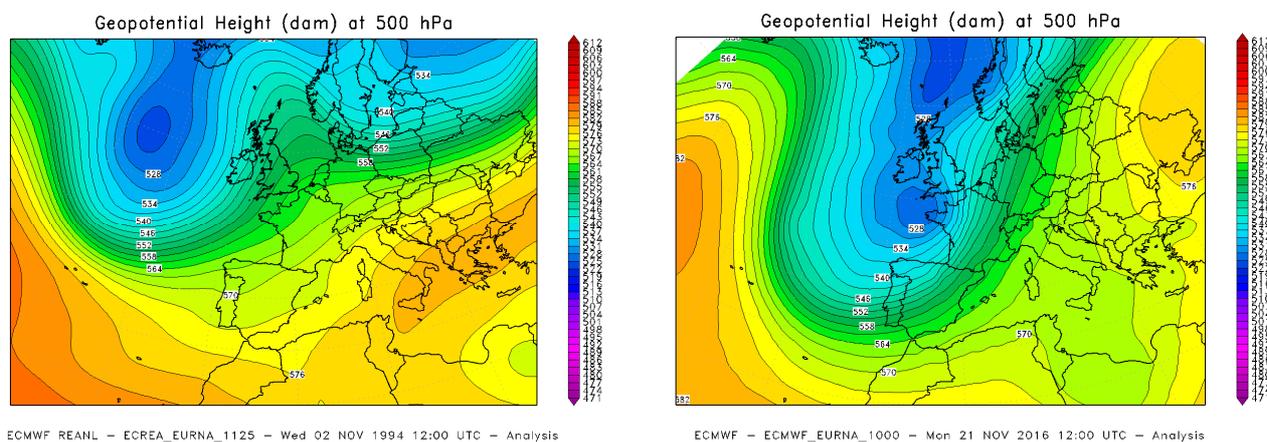


Figura 70. Altezza di geopotenziale a 500 hPa relativa alle ore 12:00 UTC del 2 novembre 1994 (a sn) e del 21 novembre 2016 (a dx)

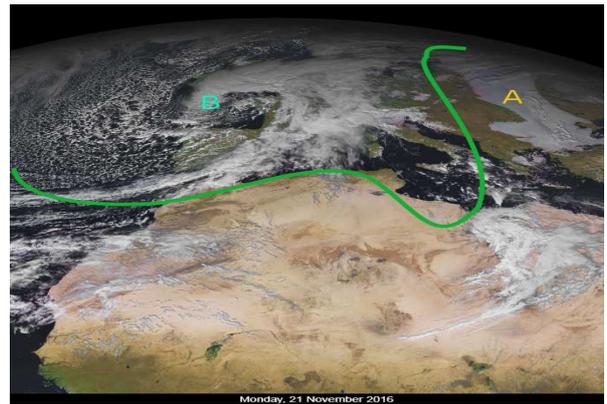
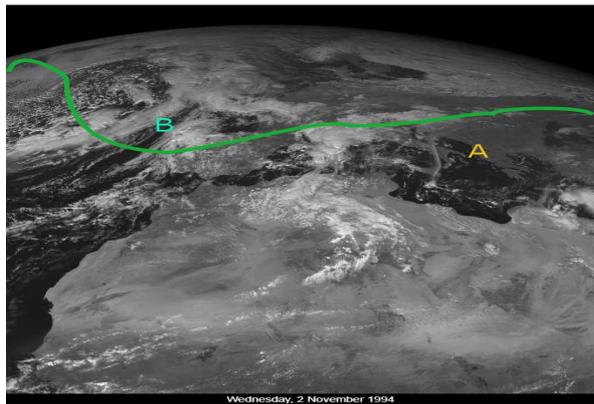


Figura 71. Immagini satellitari relative alle ore 12:00 UTC del 2 novembre 1994 (a sn) e del 21 novembre 2016 (a dx). La linea verde indica l'isoipsa 5700m di altezza di geopotenziale a 500hPa

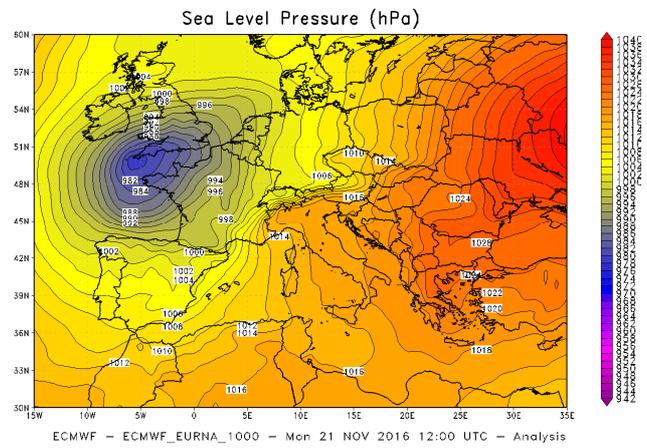
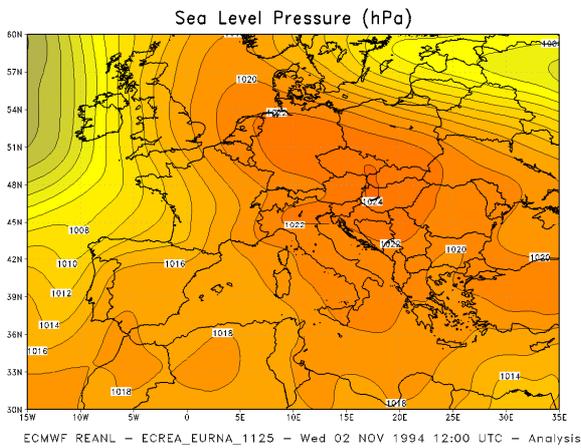


Figura 72. Pressione ridotta al livello del mare relativa alle ore 12:00 UTC del 2 novembre 1994 (a sn) e del 21 novembre 2016 (a dx)

Nell'evento del 1994, bisogna attendere due giorni per ritrovare la saccatura atlantica a latitudini prossime al Marocco (figura 77) ed il promontorio di alta pressione nordafricana a latitudini prossime ai 60°N.

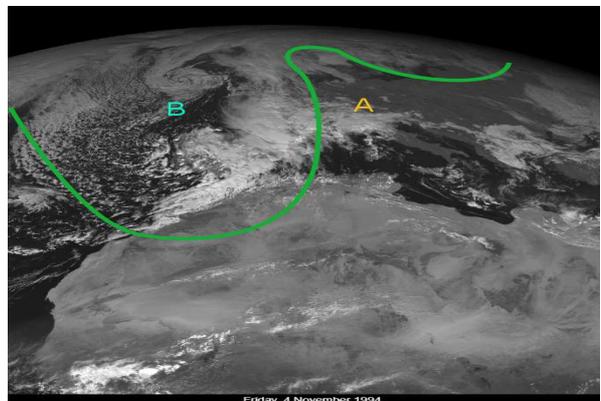
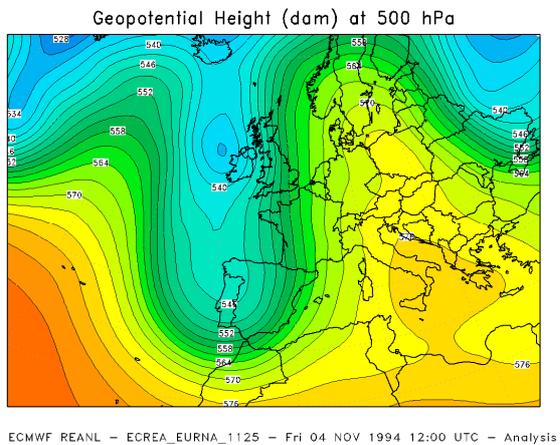


Figura 73. Altezza di geopotenziale a 500 hPa relativa alle ore 12:00 UTC del 4 novembre 1994 (a sn) e relativa immagine satellitare (a dx). La linea verde indica l'isoipsa 5700m di altezza di geopotenziale a 500hPa

Da questo scenario ne deriva, per la recente alluvione del 2016, un gradiente barico molto più marcato a ridosso dell'arco alpino occidentale. Due giorni in più, quindi, di correnti intense ed umide a tutte le quote rispetto al 1994 (figure 78 e 79). In questa caratteristica va ricercata la spiegazione ed una delle cause principali delle precipitazioni più abbondanti, data la persistenza maggiore di eventi intensi, sulle aree alluvionate in quest'ultimo evento.

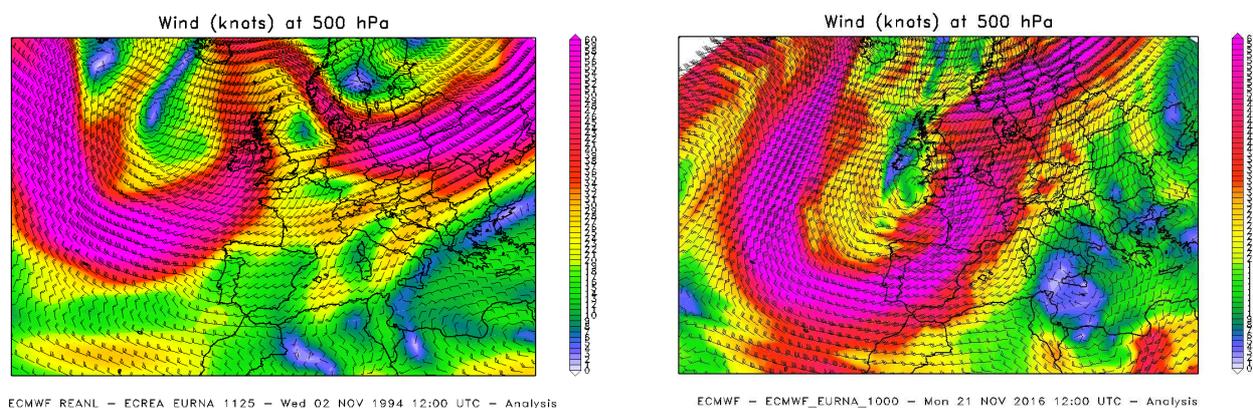


Figura 74. Intensità del vento in quota (500 hPa) e a grande scala, relativa alle ore 12:00 UTC del 4 novembre 1994 (a sn) e del 21 novembre 2016 (a dx)

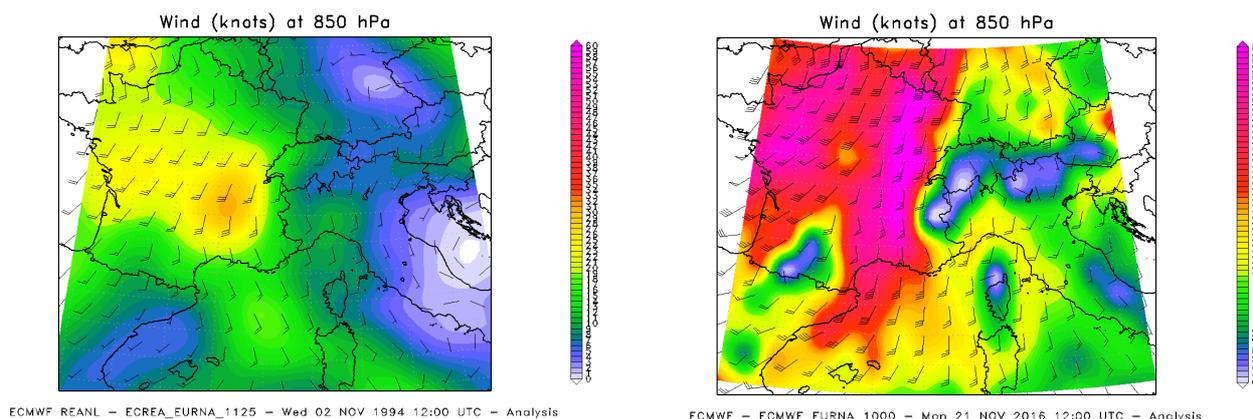


Figura 75. Intensità del vento negli strati medio-bassi dell'atmosfera (850 hPa) relativa alle ore 12:00 UTC del 4 novembre 1994 (a sn) e del 21 novembre 2016 (a dx)

### Temperatura superficiale del mare

Il Mediterraneo occidentale, area su cui la perturbazione ha stazionato e si è alimentata, come presumibile da climatologia, trattandosi dell'ultima decade di novembre nel 2016 rispetto alla prima decade nel 1994, risulta leggermente più freddo (figura 80) nell'evento più recente rispetto ad allora.

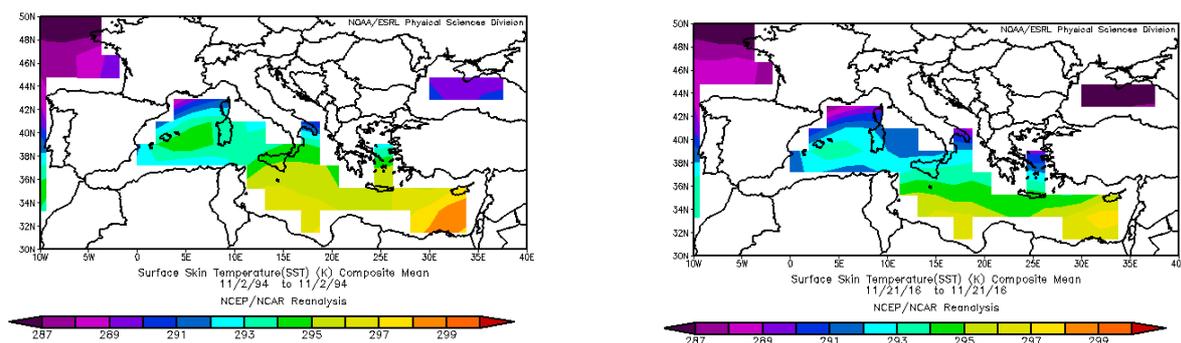


Figura 76. Temperatura media superficiale del mare il 2 novembre 1994 (a sn) ed il 21 novembre 2016 (a dx)

Se, tuttavia, consideriamo l'anomalia rispetto al trentennio di riferimento 1981-2010 (figura 81), si nota come, nel recente evento del 2016, la temperatura superficiale del Mediterraneo occidentale sia stata generalmente al di sopra dei valori medi, mentre nel 1994 fosse in gran parte nella media del periodo.

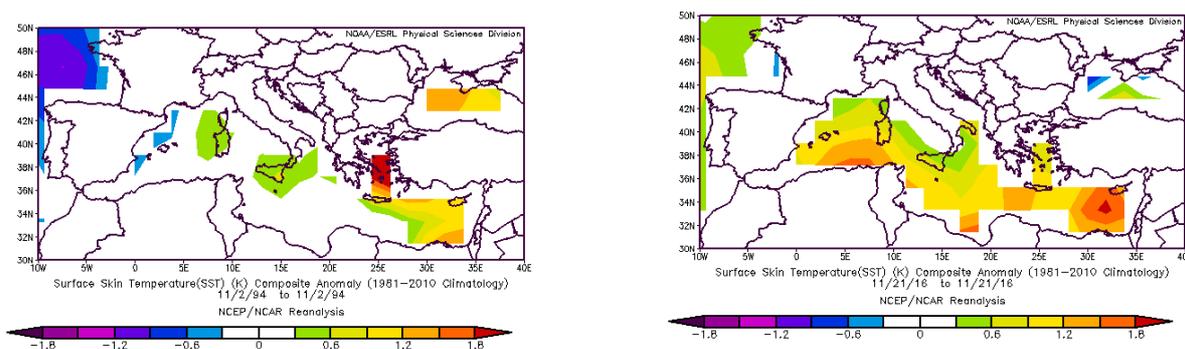


Figura 77. Anomalia della temperatura superficiale del mare il 2 novembre 1994 (a sn) ed il 21 novembre 2016 (a dx)

### Temperatura dell'aria

Nonostante il diverso accumulo di aria calda e umida sulla regione, generato da un flusso più intenso nel 2016, le piogge cumulate in tutto l'evento, seppur differenti per la diversa localizzazione dei massimi, sono paragonabili. La giustificazione di ciò possiamo cercarla nella temperatura della colonna d'aria dell'atmosfera nei giorni più critici dei due eventi (figura 82).

Come si può vedere dalle mappe di analisi, tutta la colonna d'aria sul mare e sulla nostra regione, risulta più calda nell'evento del 1994 rispetto al recente evento del 2016. Questo diverso contributo termico, insieme al diverso comportamento della temperatura superficiale del mare descritta in precedenza, ha portato una quota dello zero termico e, conseguentemente, delle nevicate diversa (figura 83), risultando più alta nel 1994 che nel 2016. La precipitazione associata, quindi, ha avuto una componente liquida maggiore nel primo caso rispetto al secondo e questo giustificerebbe l'accumulo di acqua al suolo simile nei due casi: è precipitato di più nel recente evento, ma la componente solida di tale precipitazione è stata maggiore, contribuendo meno all'apporto idrico al suolo.

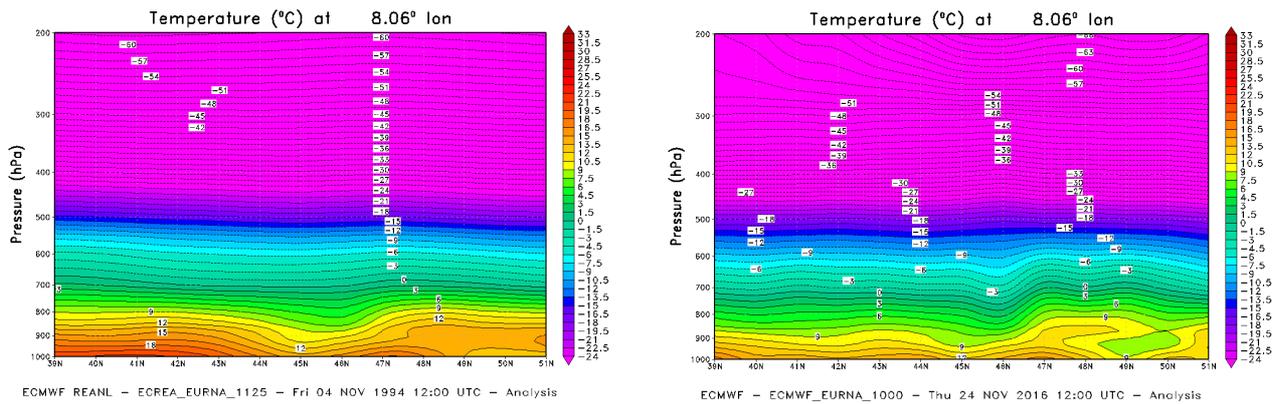


Figura 78. Temperatura dell'intera colonna d'aria su una sezione meridionale estratta alla longitudine 8,06 °N alle 12:00 UTC del 4 novembre 1994 (a sn) ed il 24 novembre 2016 (a dx)

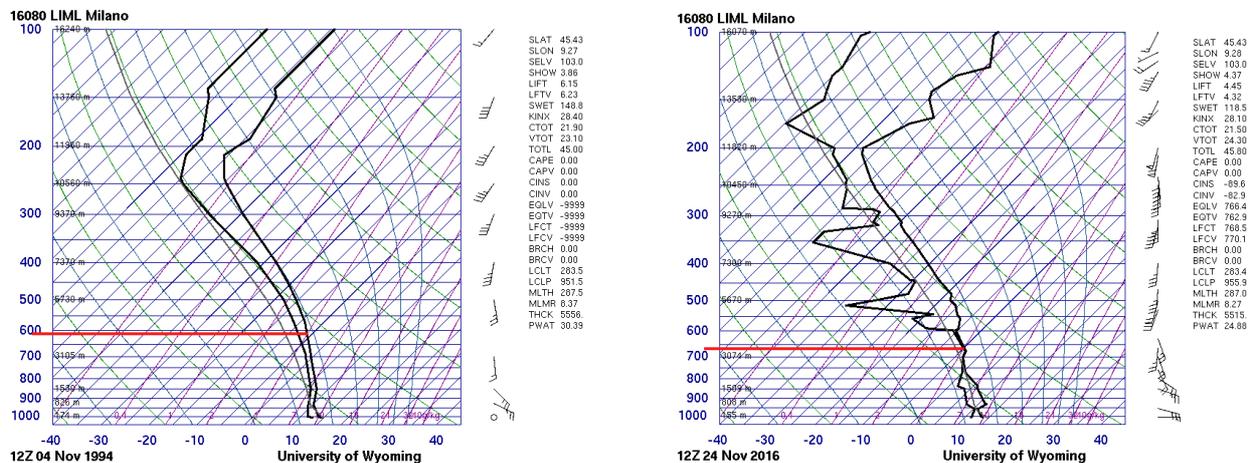


Figura 79. Radiosondaggio effettuato alle 12:00 UTC dall'aeroporto di Milano Linate nella giornata del 4 novembre 1994 (a sn) ed il 24 novembre 2016 (a dx)

## Conclusioni

Dal punto di vista sinottico i due eventi evidenziano delle differenze che risultano sostanziali in particolare nella fase iniziale dei due periodi presi in esame, determinando nel caso più recente flussi più intensi in risalita dal Mediterraneo occidentale, che hanno apportato precipitazioni fin da subito significative sui bacini maggiormente coinvolti, con un territorio di conseguenza già prossimo alla saturazione in corrispondenza della fenomenologia che ha portato poi al verificarsi di condizioni di criticità diffuse. In conclusione, le precipitazioni sono risultate più intense nei bacini maggiormente coinvolti non solo durante la fase più critica, ma anche nei giorni immediatamente precedenti durante l'evento alluvionale più recente.

L'analisi dei campi di temperatura, sia superficiale del Mediterraneo, sia della colonna d'aria ha evidenziato, come effetto principale il maggior contributo termodinamico dato nel caso dell'evento del 1994, quando la colonna d'aria risultava più calda, sebbene la temperatura superficiale del mare fosse in linea con i valori tipici del periodo. Si può avanzare l'ipotesi che, se il medesimo evento si fosse svolto qualche settimana prima, la presenza di acque superficiali del Mediterraneo occidentale più calde e di temperature più elevate avrebbero determinato una maggior disponibilità di energia e di vapor acqueo all'interno delle masse perturbate, generando un evento possibilmente ancora più estremo.

## Confronto idrologico

### Precipitazioni

Un'approfondita analisi dell'evento di novembre 2016 prevede necessariamente un confronto con gli eventi più intensi avvenuti negli anni passati e che hanno determinato importanti effetti al suolo. Nello specifico vengono considerati per il confronto l'evento alluvionale di novembre 1994 (5 giorni), quello di ottobre 2000 (4 giorni) e l'ultimo di novembre 2016 (5 giorni).

Le stime presentate sono ottenute dall'interpolazione dei dati puntuali delle stazioni pluviometriche disponibili per ogni evento; risulta pertanto necessario che il numero di queste è variato considerevolmente negli ultimi 20 anni: per la stima del 1994 i dati disponibili riguardano 96 stazioni, nel 2000 si contano 222 stazioni mentre nel 2016 sono state utilizzate 386 stazioni.

Nella Tabella 9 viene visualizzato il valore medio areale di precipitazione per bacino idrografico sui tre eventi analizzati: in grassetto il valore maggiore stimato.

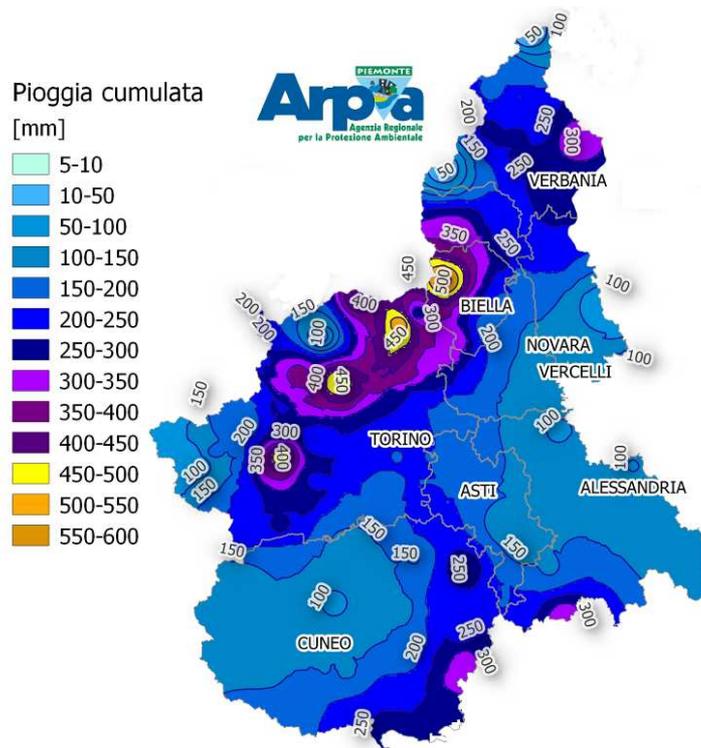
Tabella 9. Precipitazione media sui bacini per tre eventi alluvionali significativi

Bacino idrografico	Precipitazione media per bacino [mm]		
	3-7 Novembre 1994	13-16 Ottobre 2000	21-25 Novembre 2016
Alto Po	154	247	<b>309</b>
Pellice	225	359	<b>379</b>
Varaita	119	181	<b>192</b>
Maira	124	158	<b>182</b>
Residuo Po confluenza Dora Riparia	<b>218</b>	179	195
Dora Riparia	166	233	<b>243</b>
Stura di Lanzo	313	<b>454</b>	372
Orco	270	<b>419</b>	314
Residuo Po confluenza Dora Baltea	<b>278</b>	215	223
Dora Baltea	301	<b>455</b>	166
Cervo	<b>286</b>	250	271
Sesia	244	<b>431</b>	324
Residuo Po confluenza Tanaro	<b>143</b>	129	111
Stura di Demonte	157	151	<b>213</b>
Tanaro	230	185	<b>357</b>
Bormida	231	164	<b>277</b>
Orba	208	169	<b>269</b>
Residuo Tanaro	<b>169</b>	114	121
Scriveria Curone	<b>121</b>	94	120
Agogna Terdoppio	130	<b>156</b>	116
Toce	193	<b>483</b>	261
Ticino svizzero	<b>229</b>	225	186
Bacino del Po a Ponte Becca (PV)	205	244	208

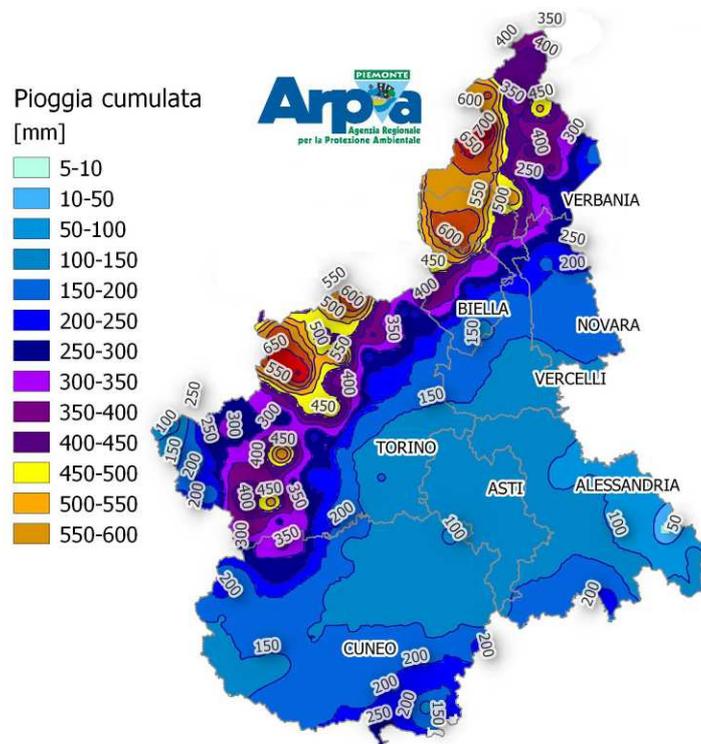
Complessivamente sull'intero bacino idrografico del Po chiuso alla sezione di Ponte Becca (PV) le precipitazioni dell'intero evento dell'ottobre 2000 risultano più elevate. Prendendo in considerazione i singoli bacini idrografici è possibile notare come le precipitazioni di novembre 2016 risultino più significative sul Piemonte meridionale (bacini di Tanaro, Bormida, Orba e Stura di Demonte) e sul Piemonte occidentale (bacini di Alto Po, Pellice, Varaita, Maira e Dora Riparia).

Nella Figura 84 si riportano le mappe delle precipitazioni cumulate per ognuno dei tre eventi alluvionali considerati.

### Novembre 1994



### Ottobre 2000



Novembre 2016

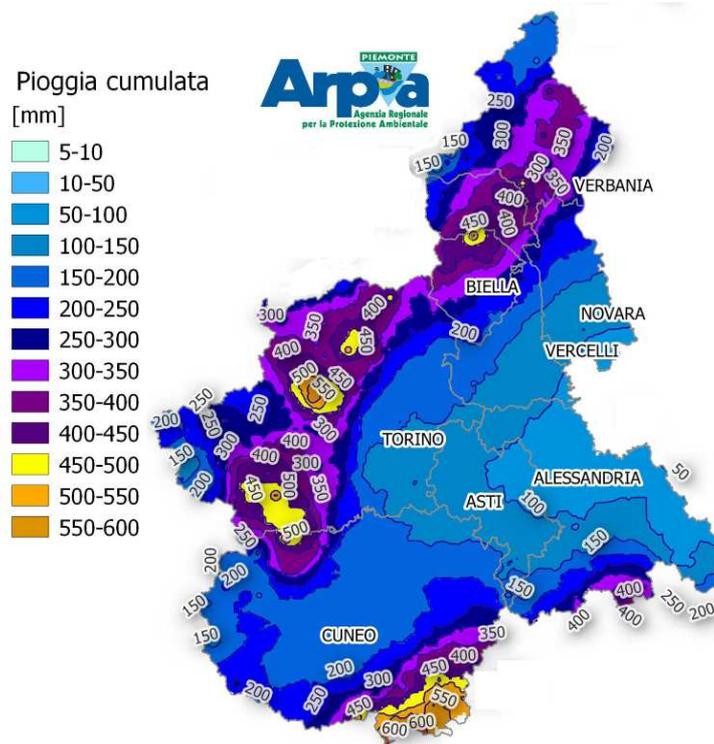
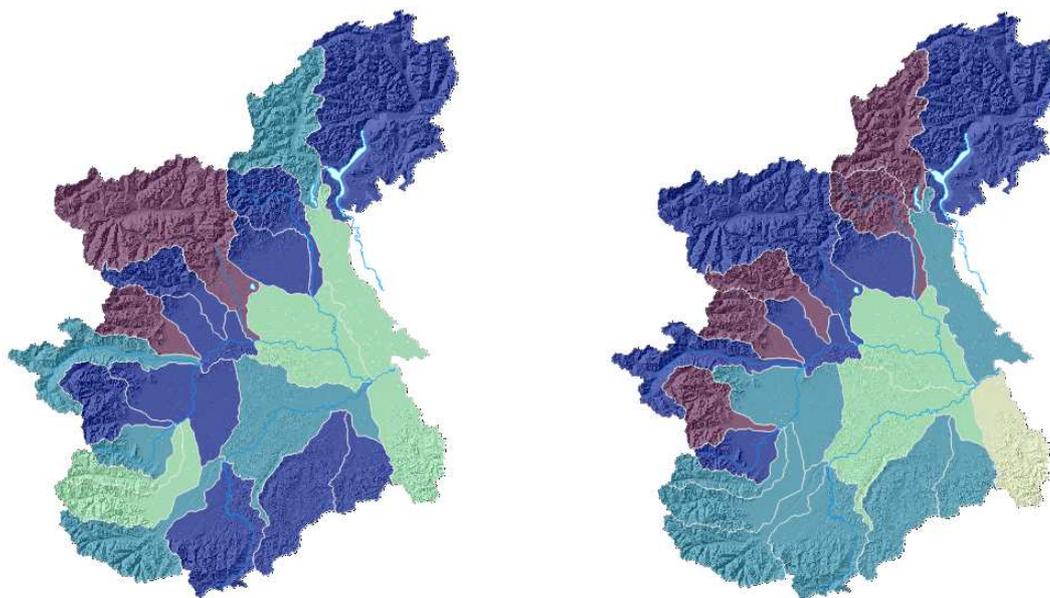


Figura 80. Precipitazioni cumulate dei tre differenti eventi alluvionali

Nelle mappe di Figura 85 vengono evidenziati gli afflussi medi su bacino idrografico secondo una suddivisione in classi della precipitazione per un confronto più immediato.

Novembre 1994

Ottobre 2000



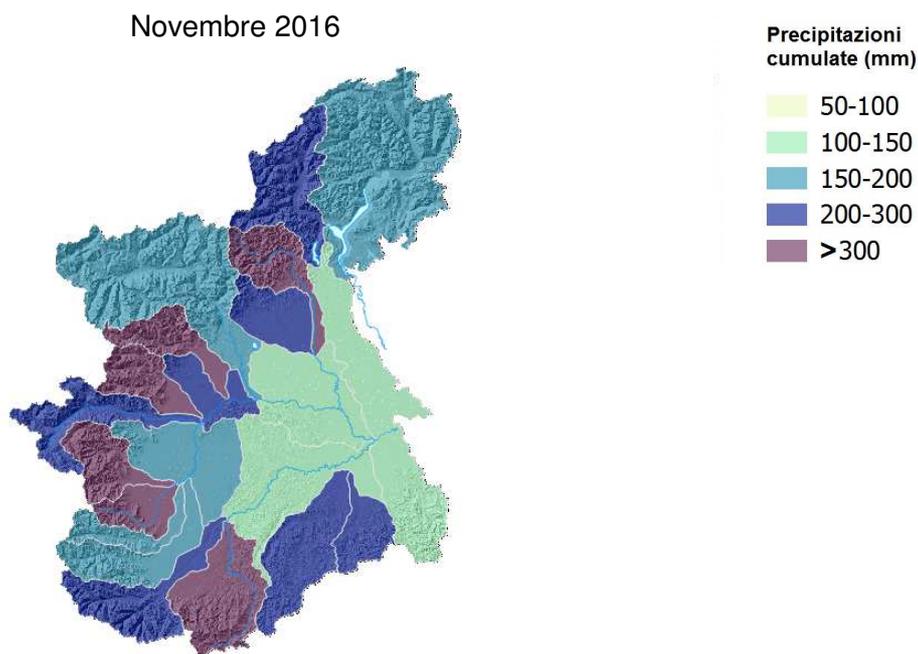


Figura 81. Precipitazioni medie areali per bacino idrografico dei tre eventi

Nelle mappe di Figura 86 si evidenzia lo scarto espresso in percentuale tra la precipitazione di novembre 2016 e quella degli eventi passati. Rispetto a questi ultimi si notano in tonalità di blu tutte le aree dove le precipitazioni dell'ultimo evento sono state maggiori.

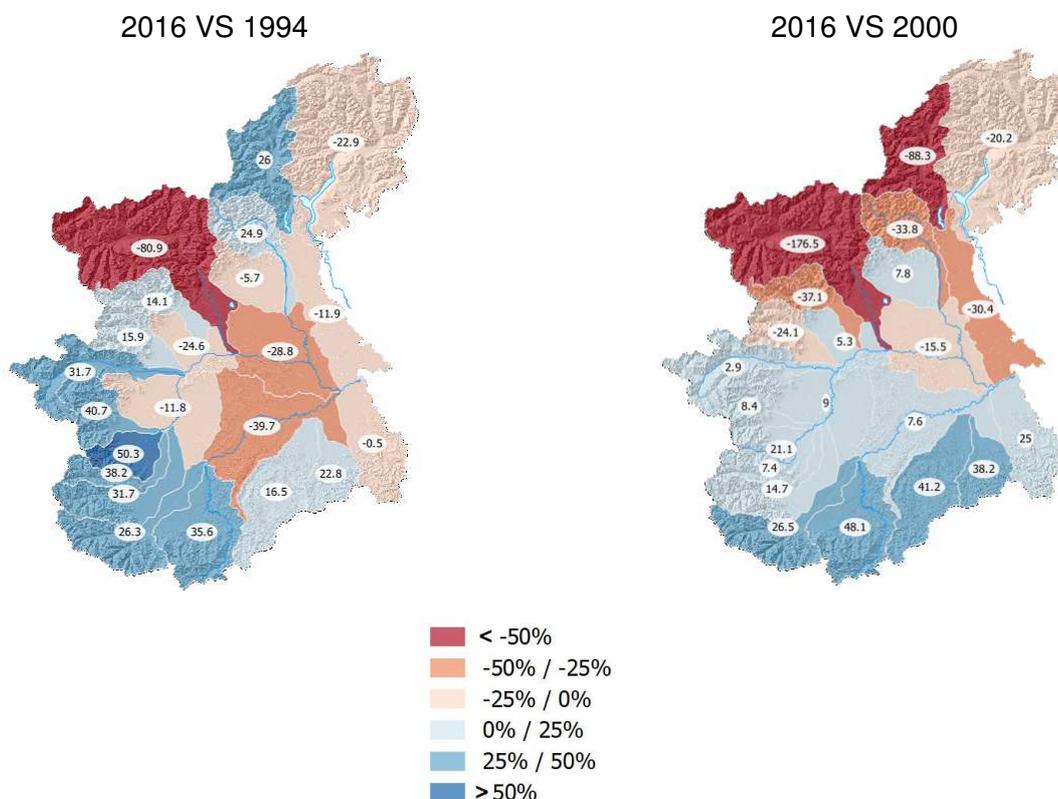


Figura 82. Scarti percentuali tra l'evento di novembre 2016 e gli eventi passati per bacino idrografico

Entrando nello specifico dei singoli bacini che sono stati interessati dagli eventi più intensi e delle singole giornate di pioggia, dal confronto tra i due eventi alluvionali si evidenzia quanto segue:

- Bacino Dora Riparia (figura 87): precipitazioni mediamente più intense nei primi giorni dell'evento del novembre 2016, decisamente più intense durante la giornata di maggior criticità, tali da risultare per alcune stazioni cumulate doppie rispetto alla giornata più critica dell'alluvione del 94.

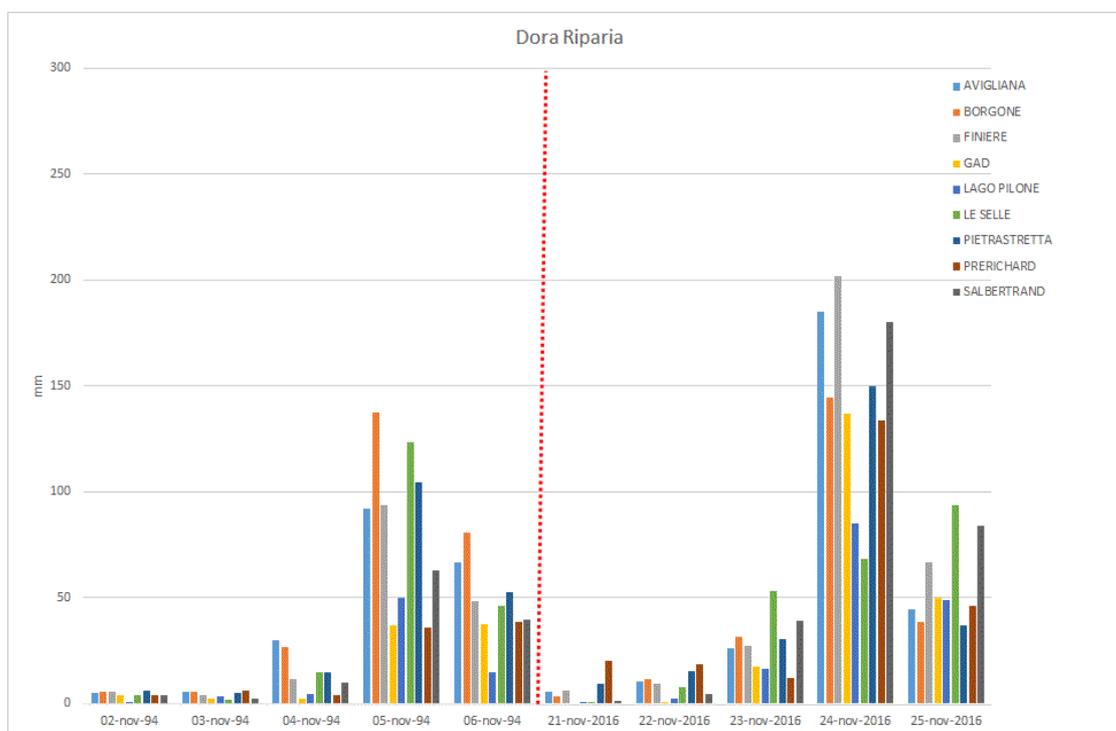


Figura 83. Confronto tra i due eventi alluvionali delle piogge cumulate giornaliere registrate dalle stazioni di monitoraggio installate nel bacino della Dora Riparia

- Bacino del Po (figura 88): precipitazioni mediamente più intense nei primi 2 giorni dell'evento del novembre 2016, mentre risultano più intense durante le ultime due giornate dell'alluvione del 94.

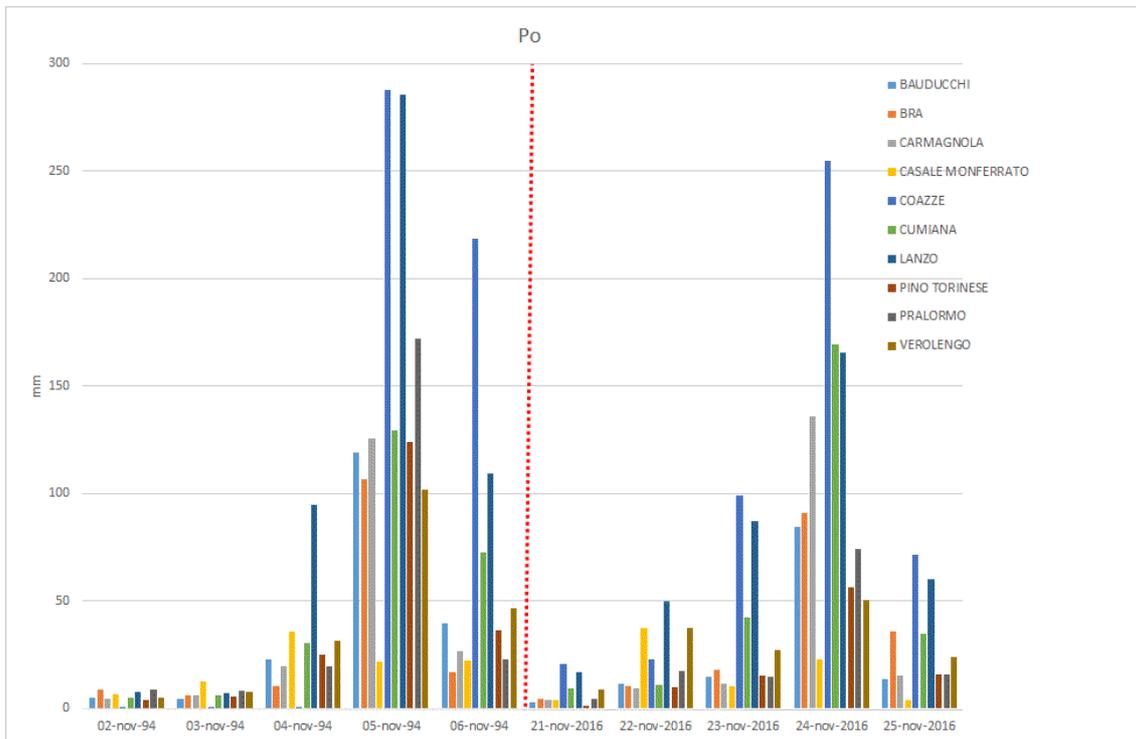


Figura 84. Confronto tra i due eventi alluvionali delle piogge cumulate giornaliere registrate dalle stazioni di monitoraggio installate nel bacino del Po

- Bacino del Pellice (figura 89): precipitazioni più intense durante tutto l'evento più recente, decisamente più intense nella giornata di maggior criticità, tali da risultare per entrambe le stazioni cumulate almeno raddoppiate rispetto alla giornata più critica dell'alluvione del 94.

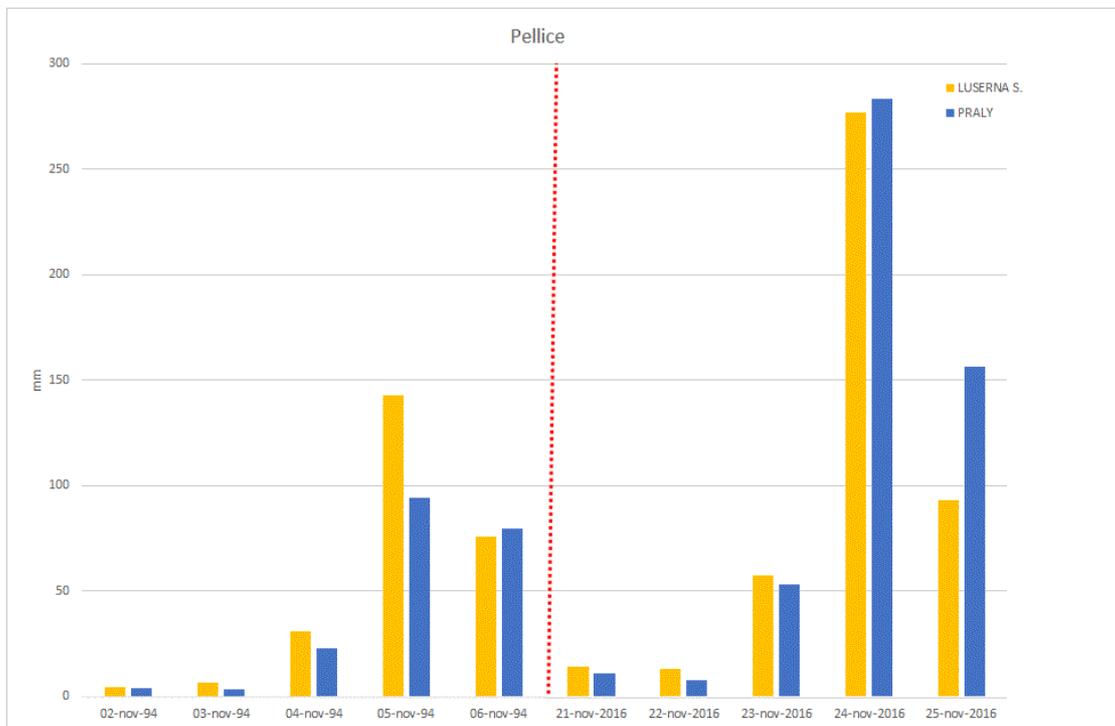


Figura 85. Confronto tra i due eventi alluvionali delle piogge cumulate giornaliere registrate dalle stazioni di monitoraggio installate nel bacino del Pellice

- Bacino del Varaita (figura 90): precipitazioni mediamente più intense durante le due giornate centrali dell'evento più recente, nessuna differenza sostanziale ad inizio e fine dei due eventi.

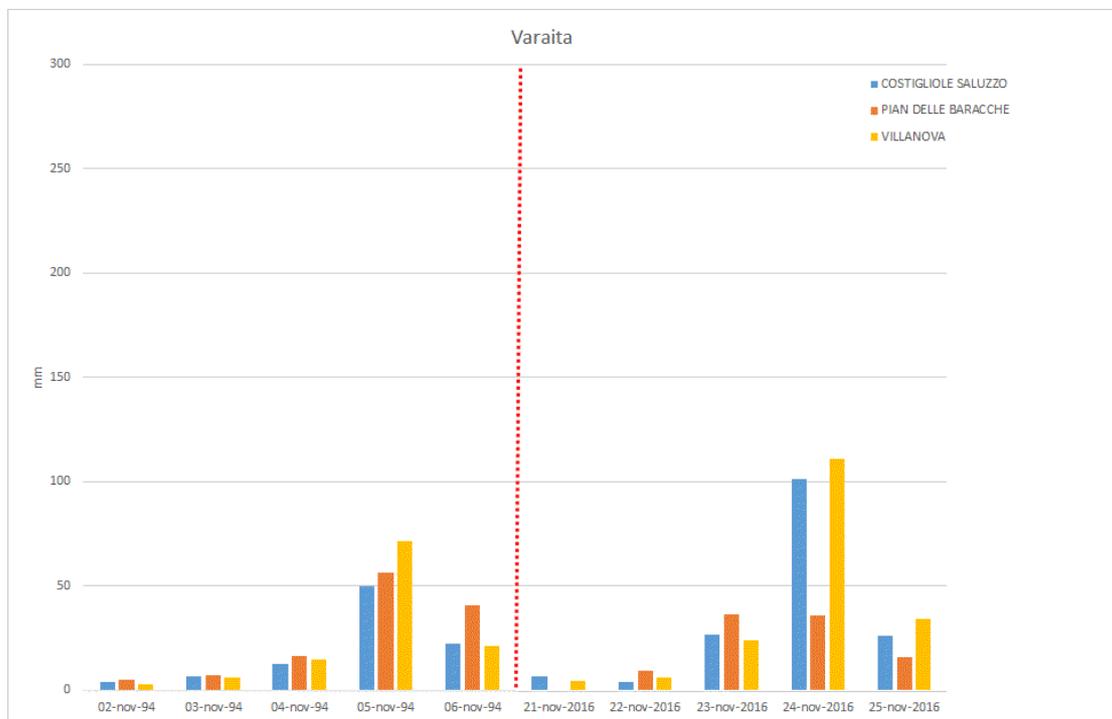


Figura 86. Confronto tra i due eventi alluvionali delle piogge cumulate giornaliere registrate dalle stazioni di monitoraggio installate nel bacino del Varaita

- Bacino del Tanaro (figura 91): precipitazioni mediamente più intense durante tutto l'evento del novembre 2016, in particolar modo nei primi due giorni d'evento.

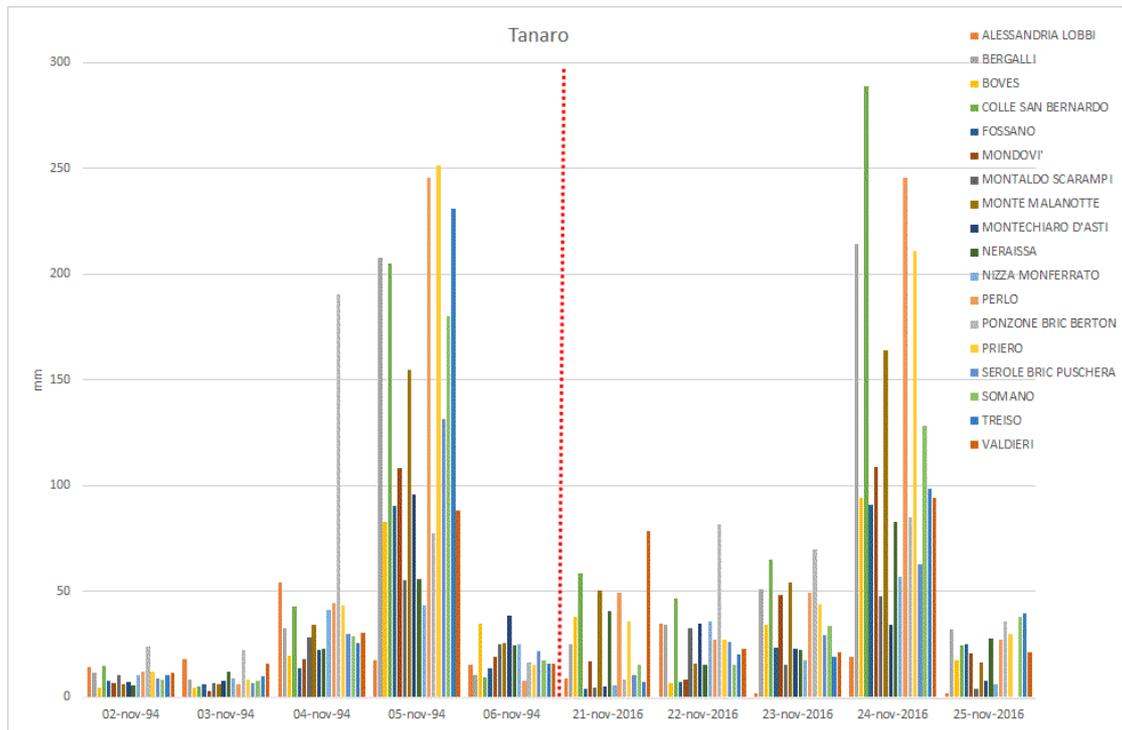


Figura 87. Confronto tra i due eventi alluvionali delle piogge cumulate giornaliere registrate dalle stazioni di monitoraggio installate nel bacino del Tanaro

- Bacini del Sesia (figura 92) e del Ticino (figura 93): i bacini più a nord hanno visto sostanzialmente le stesse cumulate durante entrambi gli eventi, con la differenza che nell'evento più recente le precipitazioni sono risultate più omogenee durante tutti e 5 i giorni, nell'evento del '94 invece le precipitazioni sono concentrate maggiormente durante gli ultimi 3 giorni.

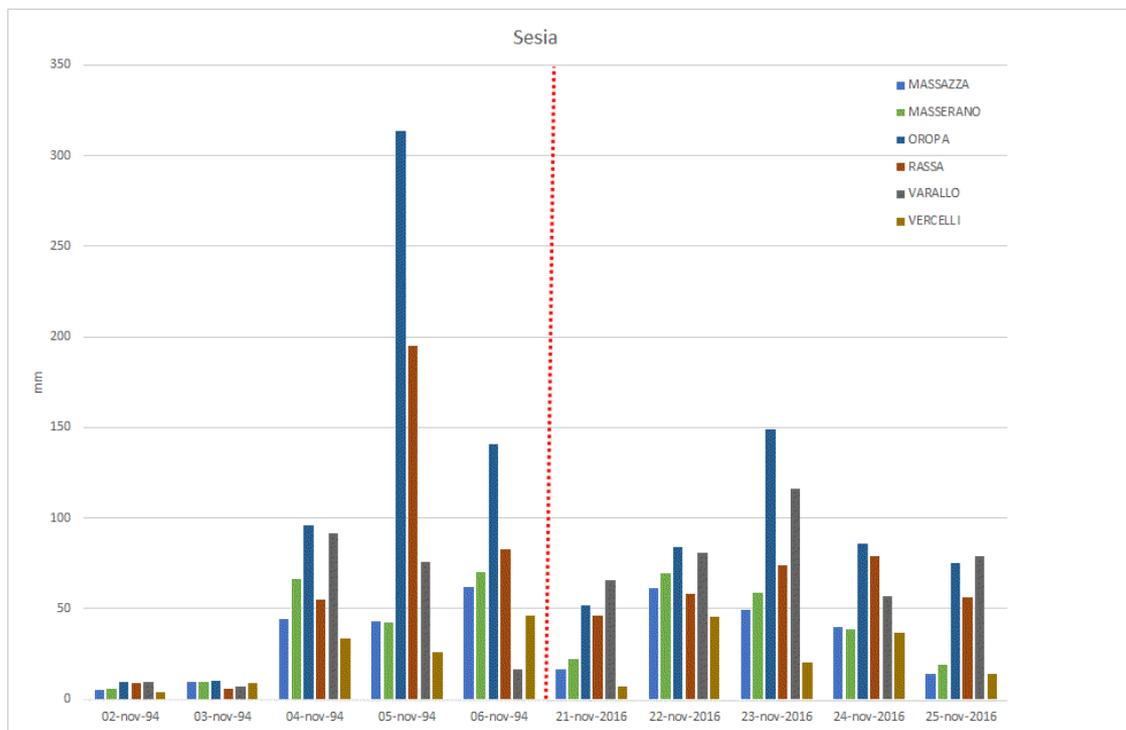


Figura 88. Confronto tra i due eventi alluvionali delle piogge cumulate giornaliere registrate dalle stazioni di monitoraggio installate nel bacino del Sesia

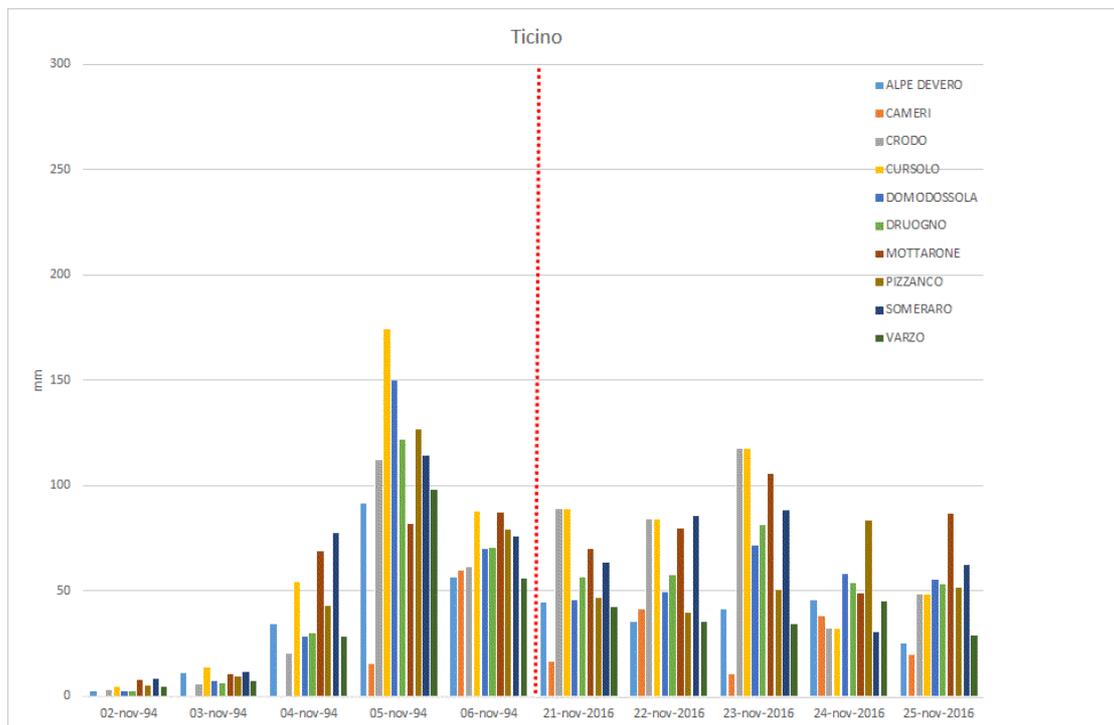


Figura 89. Confronto tra i due eventi alluvionali delle piogge cumulate giornaliere registrate dalle stazioni di monitoraggio installate nel bacino del Ticino

## Portate

Un'approfondita analisi dell'evento di novembre 2016, prevede necessariamente un confronto con gli eventi più intensi del passato che hanno determinato importanti effetti al suolo.

Per quanto riguarda il fiume Tanaro, è possibile effettuare un confronto con il disastroso evento del novembre 1994: in particolare per la stazione del Tanaro ad Alba (CN) sono disponibili gli idrogrammi completi di livello.

I valori al colmo di Montecastello (\*) per l'evento di novembre 1994 sono stati stimati in base a rilievi effettuati dopo la piena in quanto la strumentazione idrometrica era in avaria.

I valori al colmo e le portate corrispondenti sono riportate nella Tabella 10.

Tabella 10. Valori di livello massimo e portate corrispondenti per le sezioni del Tanaro

Bacino	Comune	Provincia	Stazione	Novembre 1994		Novembre 2016	
				Livello max [m]	Portata [mc/sec]	Livello max [m]	Portata [mc/sec]
TANARO	ALBA	CN	ALBA TANARO	6,74	4200	6,14	3400
TANARO	MONTECASTELLO	AL	MONTECASTELLO TANARO	8,48*	4400	7,72	3700

Come si può notare, dai dati in Tabella 10 l'evento del 2016 in termini di valori al colmo risulta meno gravoso per le due sezioni di Alba (CN) e Montecastello (AL). Nella Figura 94 si riporta anche il confronto grafico tra gli idrogrammi di livello registrati ad Alba durante i due eventi.

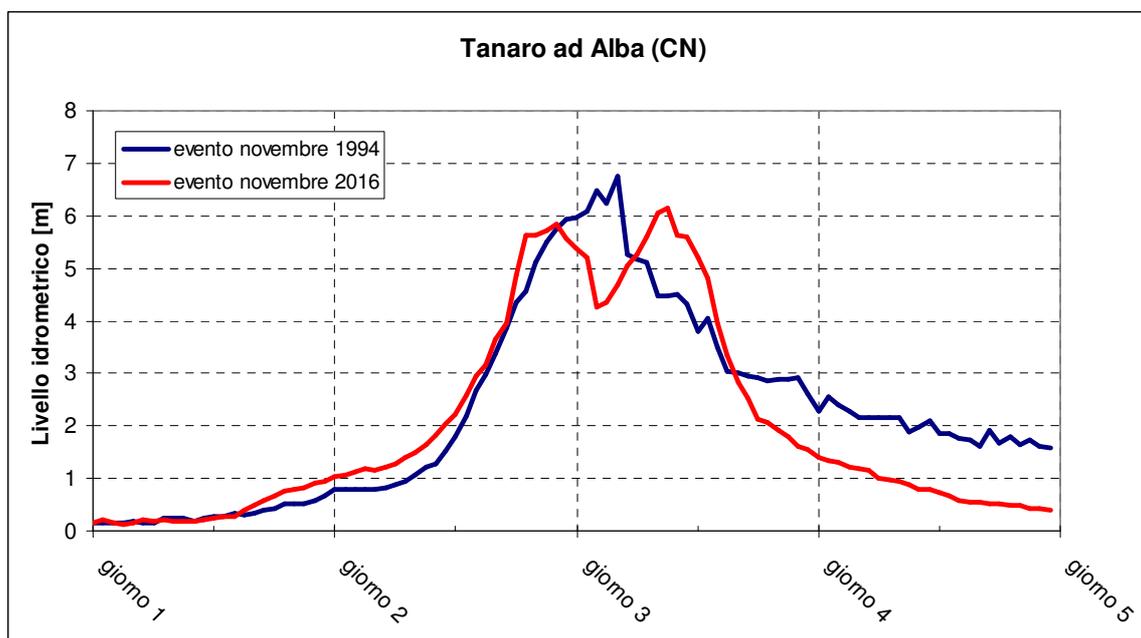


Figura 90. Confronto tra gli idrogrammi del Tanaro ad Alba registrati a novembre 1994 e a novembre 2016

Tra gli idrogrammi relativi ai due eventi, si nota similarità per ciò che riguarda la durata e la fase ascendente della piena, mentre lo sviluppo dell'onda è molto diverso (a novembre 2016 presenti due picchi ben distinti) come pure la fase discendente e di esaurimento che risulta più veloce.

Per il fiume Po è interessante confrontare i dati idrometrici registrati dalle stazioni di Carignano (TO), Torino e Isola S. Antonio (AL) durante l'evento dell'ottobre 2000 e del novembre 2016.

Per le stazioni suddette, è possibile il confronto tra gli idrogrammi completi di portata disponibili per entrambi gli eventi. I valori delle portate al colmo per i due eventi sono riportate nella Tabella 11.

Tabella 11. Valori di livello massimo e portate corrispondenti per le sezioni del Po

Bacino	Comune	Provincia	Stazione	Ottobre 2000	Novembre 2016
				Portata [mc/sec]	Portata [mc/sec]
PO	CARIGNANO	TO	CARIGNANO PO	1970	2200
PO	TORINO	TO	TORINO MURAZZI PO	2300	2450
PO	ISOLA SANT'ANTONIO	AL	ISOLA S. ANTONIO PO	12100	9900

A seguire, si riporta il confronto tra gli idrogrammi di portata dei due eventi nelle sezioni suddette

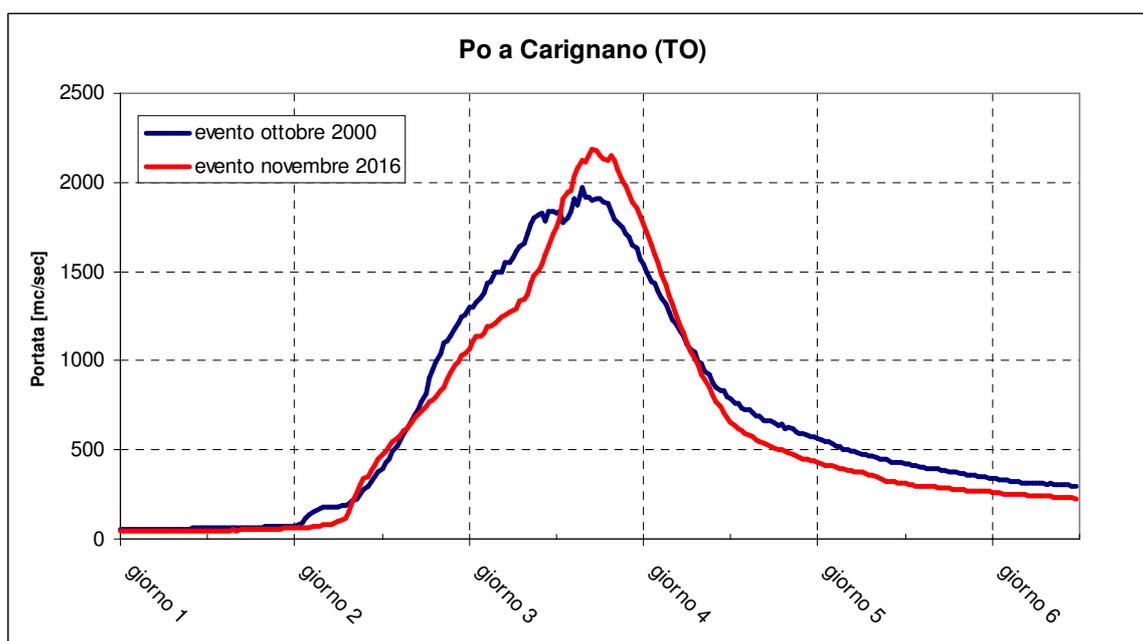


Figura 91. Confronto tra gli idrogrammi di portata del Po a Carignano (TO) ad ottobre 2000 e a novembre 2016

Nella sezione di Carignano (TO), l'evento di novembre 2016 risulta più gravoso in termini di valore al colmo di circa 200 mc/sec. (Figura 95) La forma dell'idrogramma presenta delle analogie nella fase discendente e di esaurimento, mentre la fase ascendente è più ripida con durata del colmo minore. I volumi defluiti sono confrontabili.

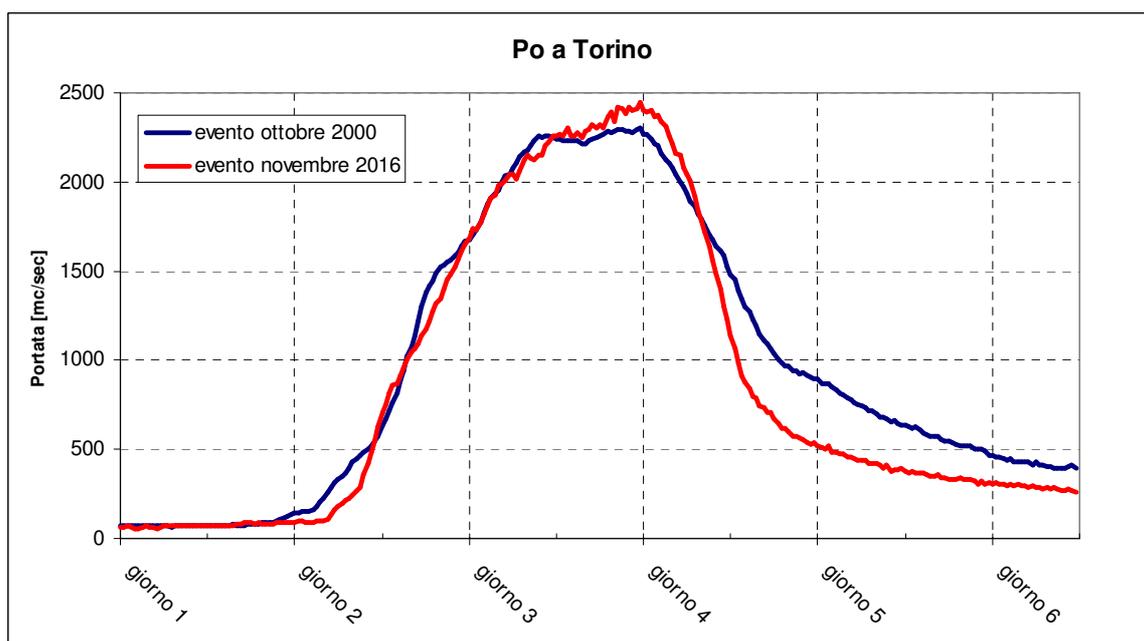


Figura 92. Confronto tra gli idrogrammi di portata del Po a Torino ad ottobre 2000 e a novembre 2016

Anche a Torino il valore al colmo dell'evento 2016 risulta maggiore di circa 200 mc/sec rispetto a quello del 2000, tuttavia si osservano significative analogie nella struttura degli idrogrammi, con riferimento alla durata della fase di crescita dell'idrogramma e della fase di colmo (Figura 96). I volumi defluiti sono confrontabili.

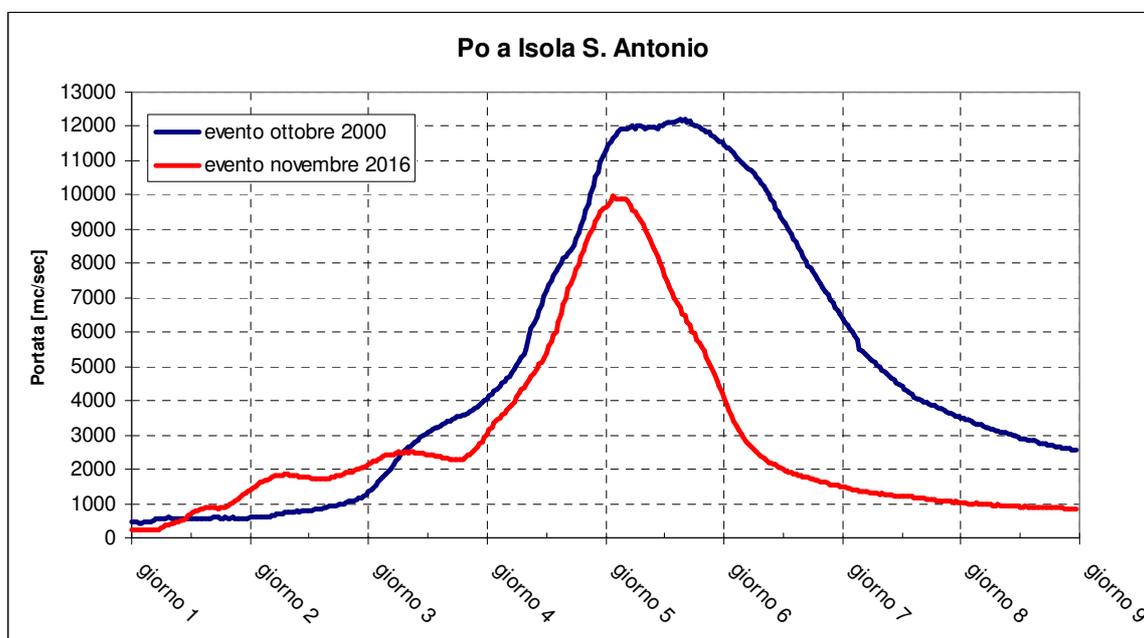


Figura 93. Confronto tra gli idrogrammi di portata del Po a Isola S. Antonio ad ottobre 2000 e a novembre 2016

Nella sezione di Isola S. Antonio (AL), chiusura del bacino del Po piemontese, l'evento del novembre 2016 è risultato significativamente inferiore a quello dell'ottobre 2000 sia in termini di volumi che di portate al colmo (Figura 97).

## BIBLIOGRAFIA – SITOGRAFIA

Boni G. and Parodi A. (2001) Sintesi pluviometrica regionale: realizzazione di un atlante delle piogge intense sulle Alpi franco-italiane. Rapporto Finale, Progetto INTERREG II Italia-Francia. Azione 3, 61-80

Libertino A., Allamano P., Claps P., Cremonini R., Laio F. (2015) Radar Estimation of Intense Rainfall Rates through Adaptive Calibration of the Z-R Relation, Atmosphere, Vol. 6, 10, 1559-1577. <http://www.mdpi.com/2073-4433/6/10/1559>, ISSN 2073-443

Goudenhoofd E. and Delobbe L. (2009) Evaluation of radar-gauge merging methods for quantitative precipitation estimates. Hydrol. Earth Syst. Sci., 13, 195–203.

Tiranti D. and Rabuffetti D. (2010) Estimation of rainfall thresholds triggering shallow landslides for an operational warning system implementation. Landslides 7 (4): 471-48. DOI: 10.1007/s10346-010-0198-8

DIRETTIVA 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2000 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque

Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica (<http://www.adbpo.it/on-multi/ADBPO/Home/Pianificazione/Direttivetecnicheeregolamenti/Direttivetecnicheperlassettoidrogeologico/Direttivasullapienadiprogettodaassumereperleprogettazioneieverifichedicompatibilitaidraulica/Direttivasullapienadiprogettodaassumereperleprogettazioneieverifichedicompatibilitaidraulica.html>)

Piano per la valutazione e la gestione del rischio di alluvioni Art. 7 della Direttiva 2007/60/CE e del D.lgs. n. 49 del 23.02.2010 ([http://www.adbpo.it/PDGA\\_Documenti\\_Piano/PGRA2015/Mappe/ProfiliPiena.pdf](http://www.adbpo.it/PDGA_Documenti_Piano/PGRA2015/Mappe/ProfiliPiena.pdf))

Analisi Regionale delle PIENE nei bacini Montani (con applicazione alla Valutazione delle piene in Piemonte) <http://www.idrologia.polito.it/web2/progetti/conclusi/arpiem/>