

PREMESSA

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.

Tra il 21 e il 25 novembre l'intera regione è stata colpita da precipitazioni forti e persistenti inizialmente nel cuneese e 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 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.

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. La piena del Tanaro e dei suoi affluenti nella parte alta del bacino è confrontabile, in termini di severità, a quella dell'alluvione del novembre 1994 e quella del Po nel tratto fino a Torino ha fatto registrare valori del tutto simili a quelli osservati nell'alluvione dell'ottobre 2000.

A partire dai giorni immediatamente successivi all'evento, i tecnici degli Enti preposti al controllo del territorio hanno condotto una serie di sopralluoghi conoscitivi finalizzati alla definizione del quadro degli effetti al suolo per il proprio territorio e per le finalità di propria competenza. Al fine di pervenire ad un quadro delle conoscenze strutturato è stato istituito un gruppo di lavoro tra Arpa, Regione e CNR che ha prodotto una base dati condivisa e strutturata dei danni e degli effetti al suolo. Le attività congiunte hanno permesso la realizzazione di due differenti prodotti: da una parte il censimento, con ubicazione puntuale dei principali effetti sul territorio, dall'altra una cartografia di dettaglio degli effetti rilevati sui corsi d'acqua principali.

Su tutto il territorio regionale sono stati censiti e ubicati quasi un migliaio di fenomeni di dissesto desunti da rilievi diretti o dedotti da segnalazioni fatte da Comuni ed enti locali e provinciali, testate giornalistiche e informazioni on-line. Circa i 2/3 sono fenomeni legati all'attività fluviale e fluvio-torrentizia, il restante sono fenomeni franosi che hanno interessato oltre 360 comuni, determinando danni alle infrastrutture di vario tipo e interruzioni alla viabilità. Rispetto ad altri eventi passati, il numero di fenomeni di versante risulta decisamente inferiore; nel solo novembre '94 erano infatti state rilevate circa 30'000 singole frane superficiali. Nell'evento del novembre 2016 le piogge hanno interessato maggiormente gli ambiti appenninici e pedemontani, risparmiando le zone della Langa, del Monferrato e della collina di Torino.

Le infrastrutture più interessate sono state le vie di comunicazione (37%), seguite da nuclei e centri abitati. Nel primo caso è significativo il numero di ponti che sono rimasti distrutti o gravemente danneggiati. Particolarmente colpita, per quanto riguarda le aree produttive e i centri abitati, è la zona a sud di Torino, a seguito della rottura di un argine del T. Chisola e dal rigurgito in corrispondenza della confluenza con il Po. Altri centri abitati hanno riportato danneggiamenti anche gravi, come nei casi della bassa Val Chisone (Comuni di Pinasca e Perosa Argentina) e nella alta Val Tanaro (Comune di Briga alta, loc. Piaggia).

Nella presente pubblicazione è riportata l'analisi meteorologica ed idrologica dell'evento, sulla base dei dati acquisiti ed elaborati dal Centro Funzionale di Arpa Piemonte e sono descritti i processi e gli effetti causati dall'evento attraverso un quadro di sintesi delle attività di rilevamento condotte cercando di fornire un quadro quanto più possibile organico degli effetti sul territorio regionale, anche attraverso confronti con gli eventi passati o l'analisi di dettaglio sulle aree ritenute di maggior interesse.

Sono presenti altresì due capitoli che descrivono le attività dell'Amministrazione Regionale relativamente alla macchina organizzativa della Protezione Civile agli interventi che vengono messi in campo a seguito di una calamità naturale.

ANALISI METEOROLOGICA E IDROLOGICA	3
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).

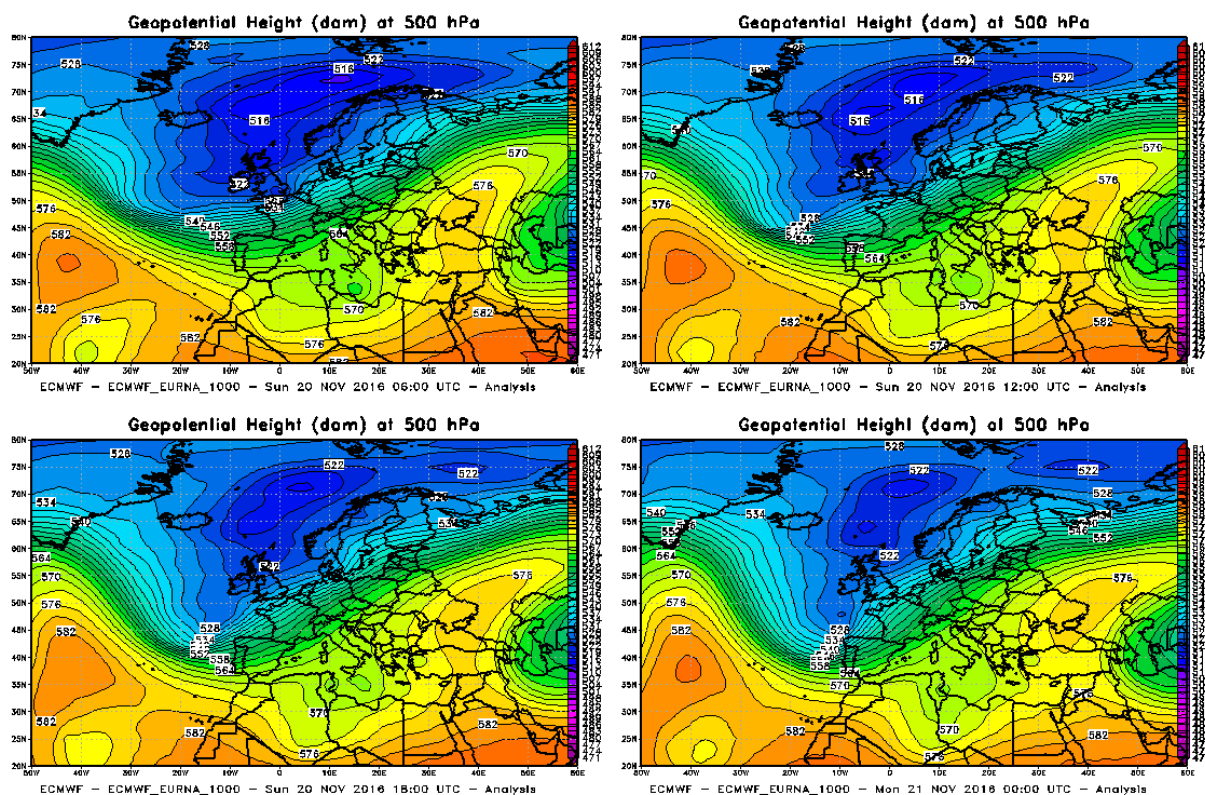


Figura 1. Analisi dell'evoluzione dell'altezza di geopotenziale a 500 hPa nella giornata del 20 novembre 2016, alle 06 UTC (in alto a sn), alle 12 UTC (in alto a dx), alle 18 UTC (in basso a sn) e il 21 novembre alle 00 UTC (in basso a dx)

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).

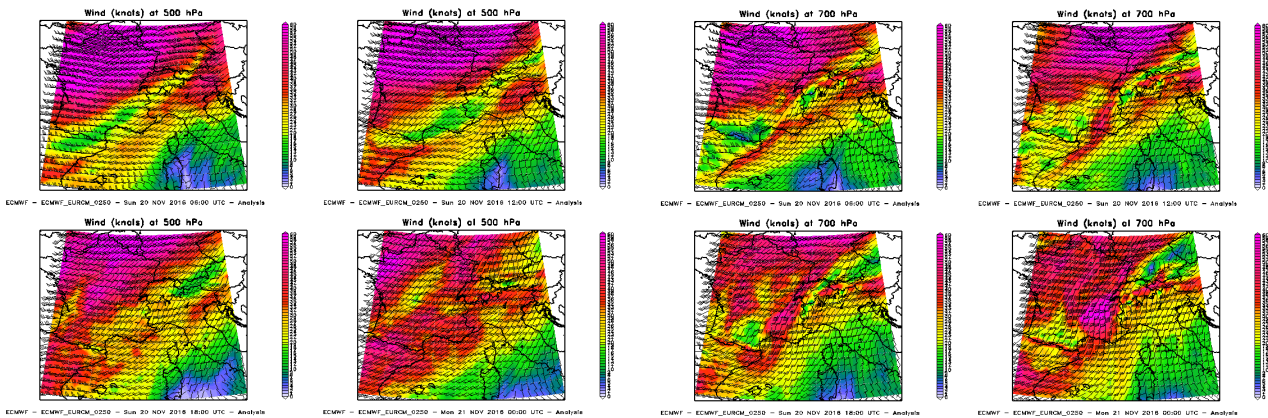


Figura 2. Analisi dei venti a 500 hPa (a sn) e 700 hPa (a dx) nella giornata del 20 novembre 2016

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).

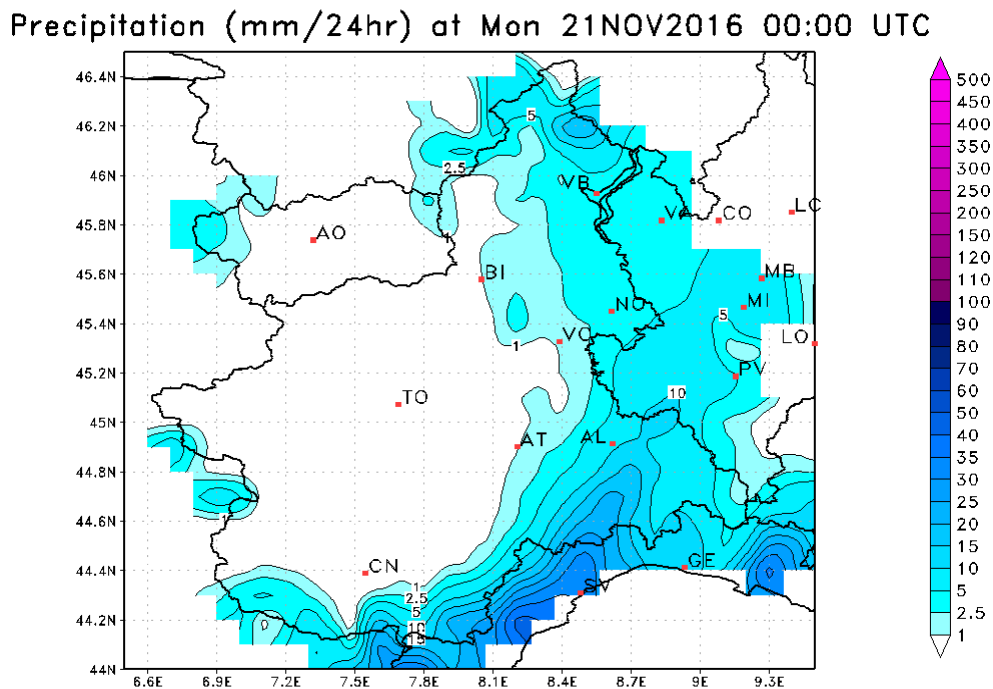


Figura 3. Precipitazioni cumulate durante la giornata del 20 novembre 2016

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.

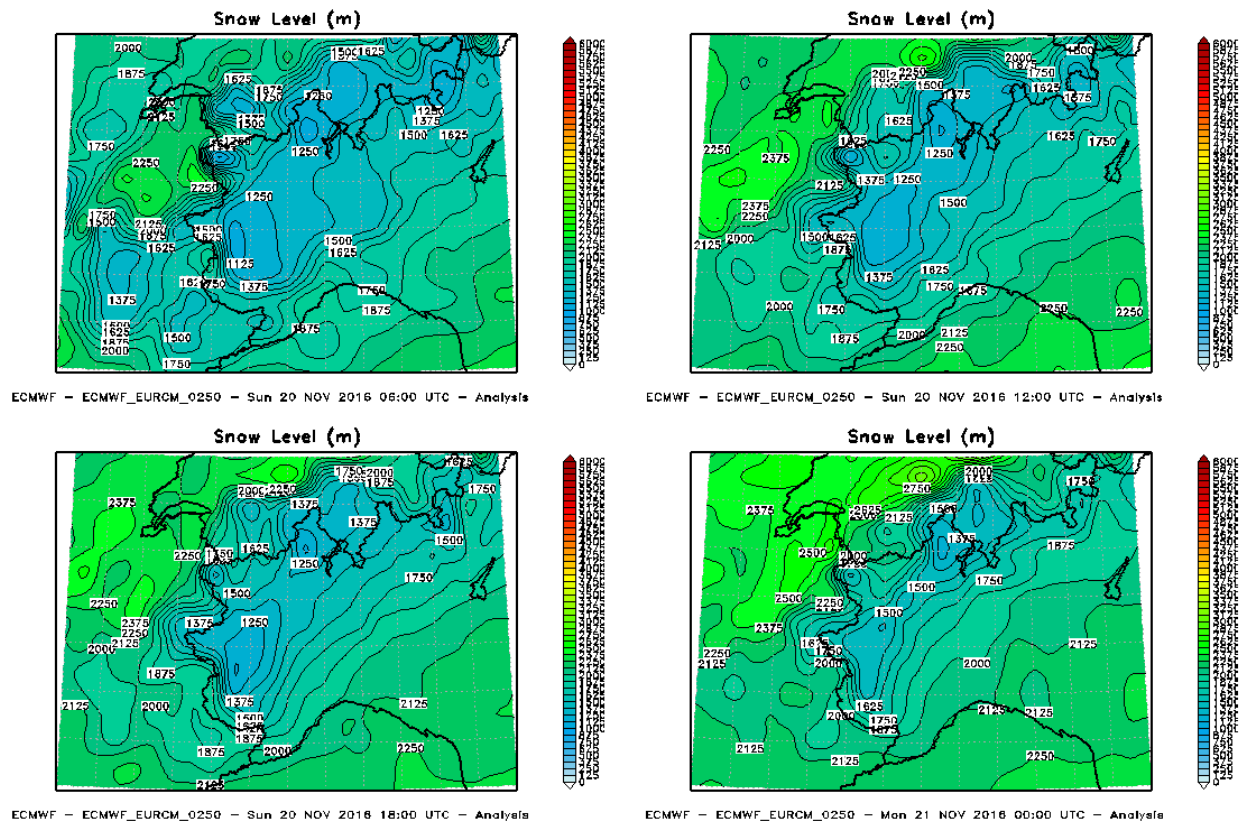


Figura 4. Analisi della quota neve per la giornata del 20 novembre 2016

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).

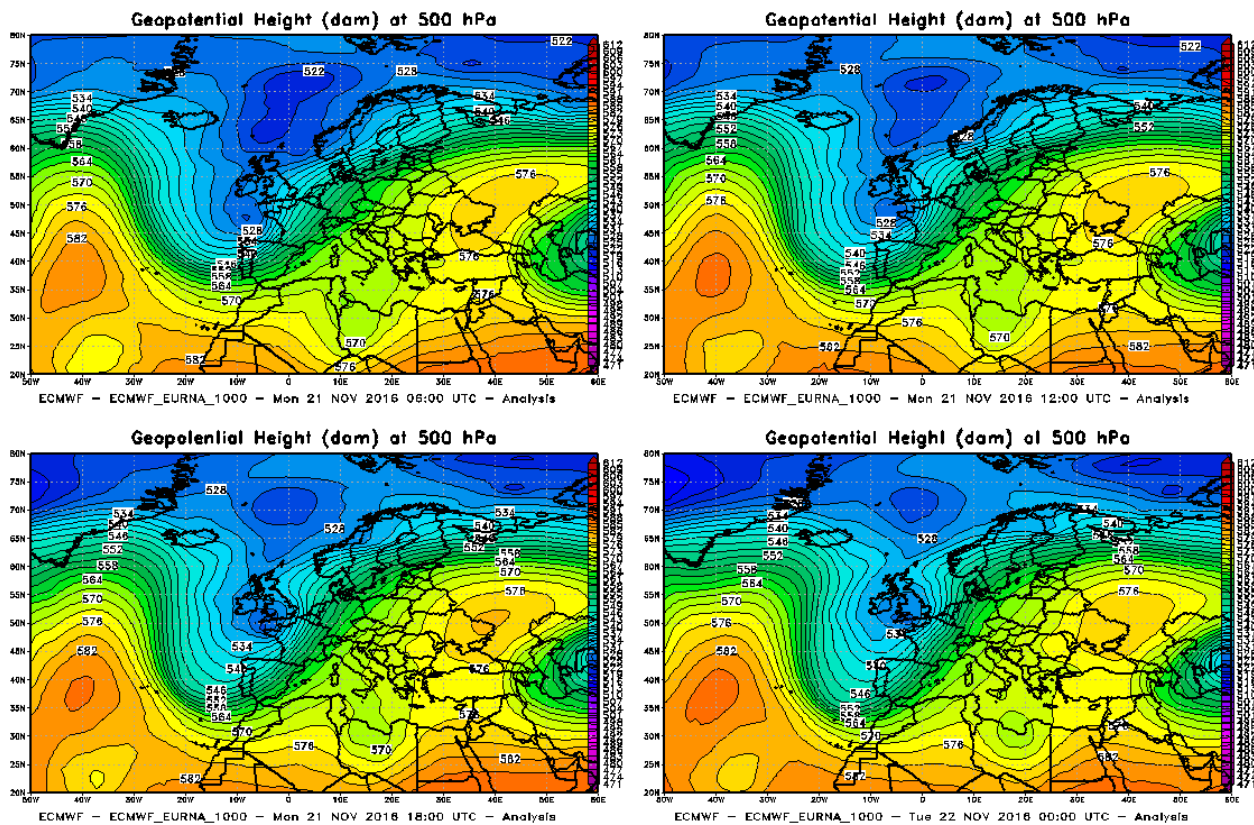


Figura 5. Analisi dell'altezza di geopotenziale a 500 hPa nella giornata del 21 novembre 2016, alle 06 UTC (in alto a sn), alle 12 UTC (in alto a dx), alle 18 UTC (in basso a sn) e del giorno 22 novembre alle 00 UTC (in basso a dx)

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).

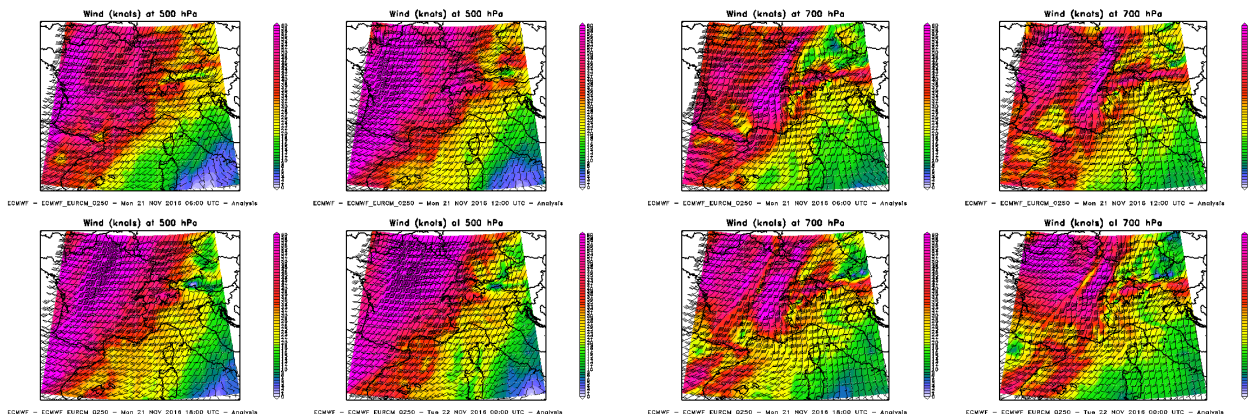


Figura 6. Analisi dei venti a 500 hPa (a sn) e 700 hPa (a dx) nella giornata del 21 novembre 2016

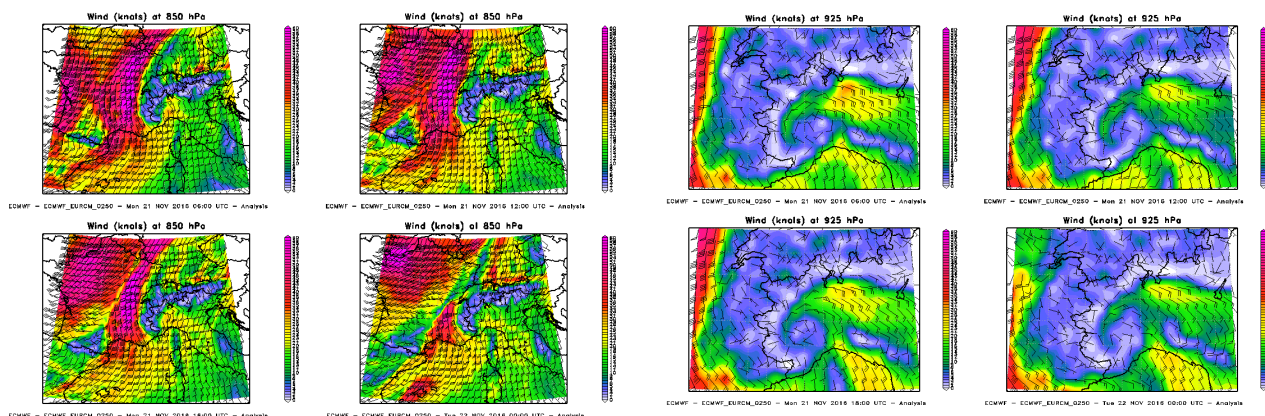


Figura 7. Analisi dei venti a 850 hPa (a sn) e 925 hPa (a dx) nella giornata del 21 novembre 2016

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).

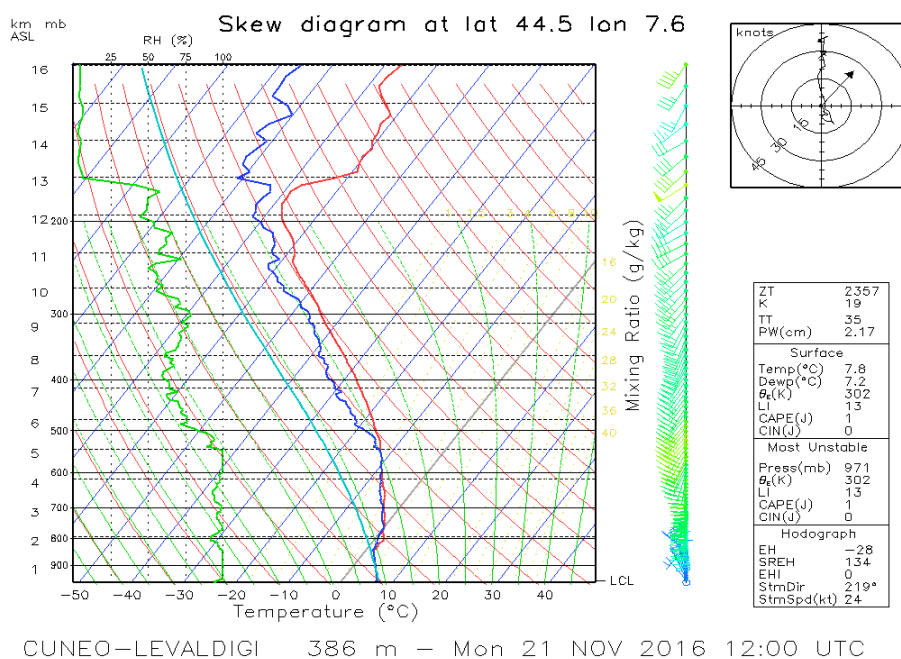


Figura 8. Radiosondaggio di Cuneo Levaldigi delle ore 12 UTC del 21 novembre 2016. Si registra un cospicuo apporto di umidità su tutta la colonna d'aria dal suolo fino a 500 hPa per venti prevalentemente di Libeccio

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

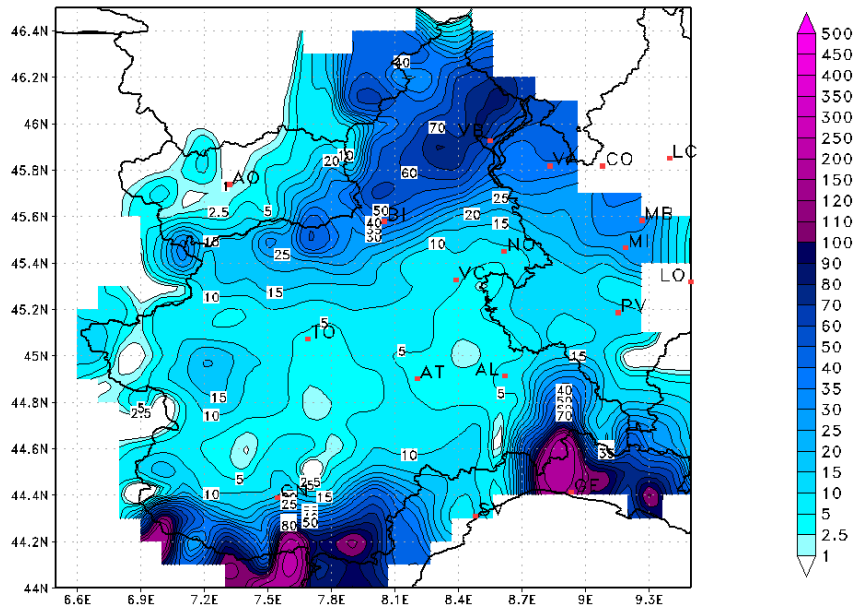


Figura 9. Precipitazioni cumulate durante la giornata del 21 novembre 2016

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).

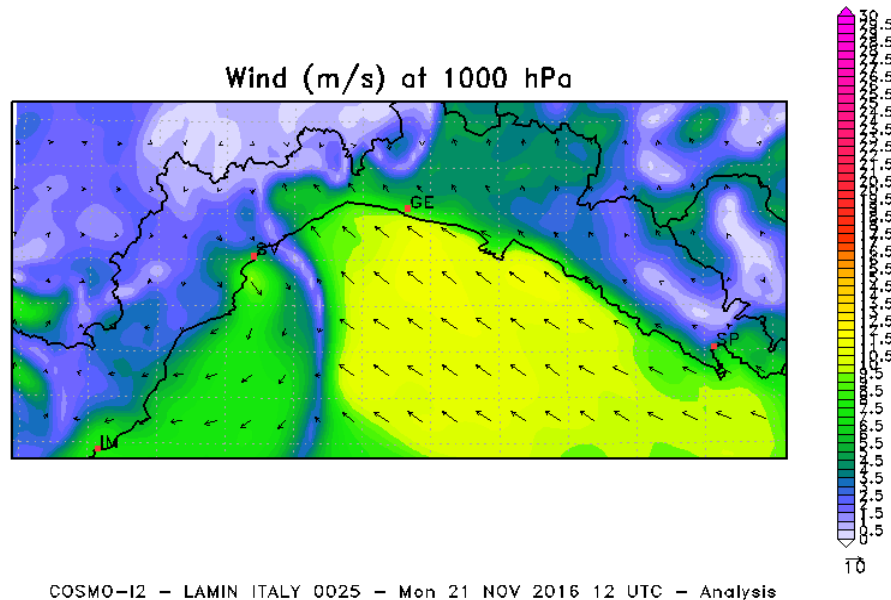


Figura 10. I venti in bassa quota (1000 hPa) alle 12 UTC del 21 novembre 2016 al confine con la Liguria. Si vede molto bene la zona di convergenza sul mare che attraversa il golfo ligure portandosi sul savonese

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).

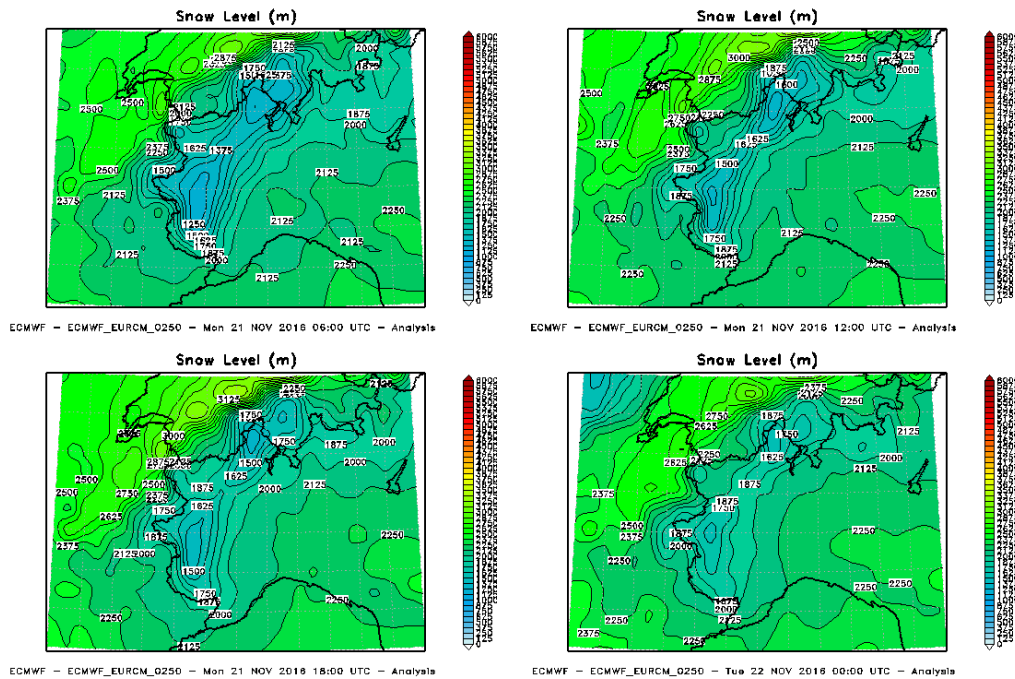


Figura 11. Analisi della quota neve per la giornata del 21 novembre 2016

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.

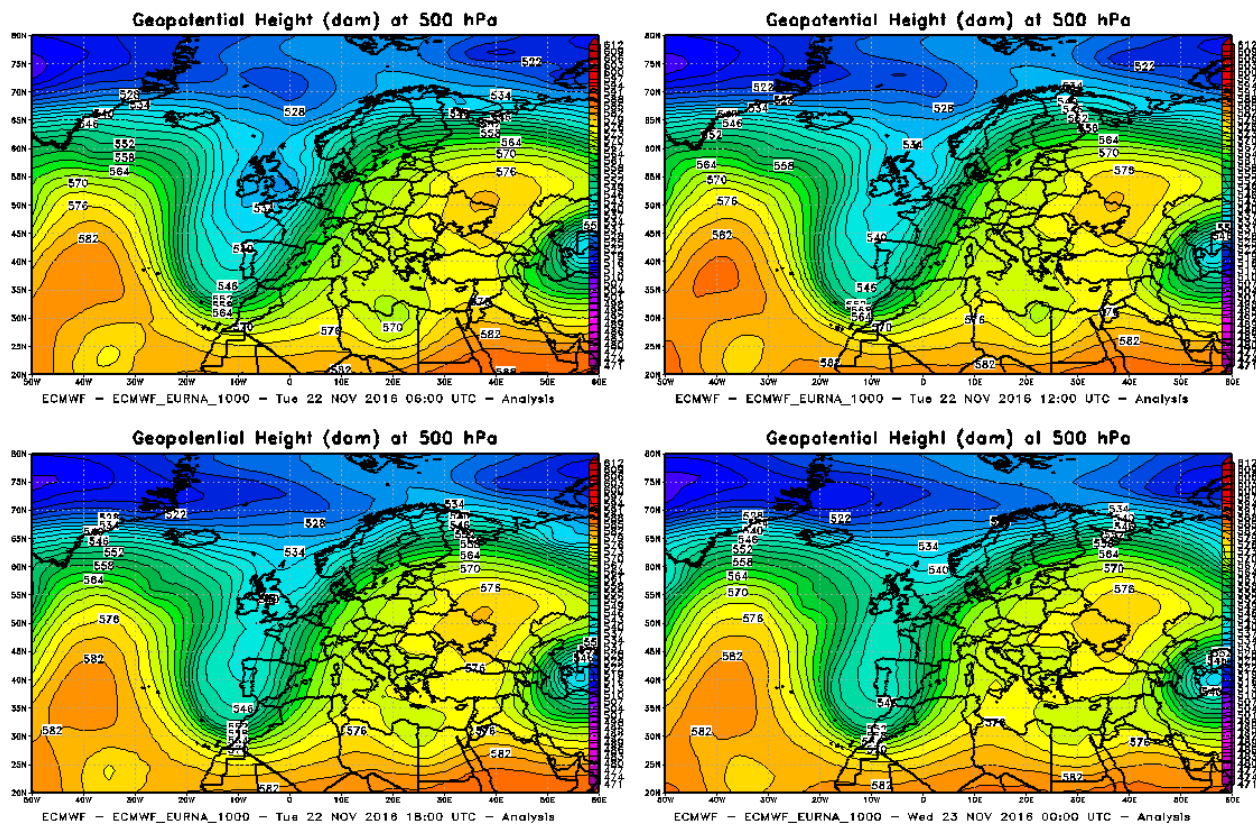


Figura 12. Analisi dell'altezza di geopotenziale a 500 hPa nella giornata del 22 novembre 2016

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.

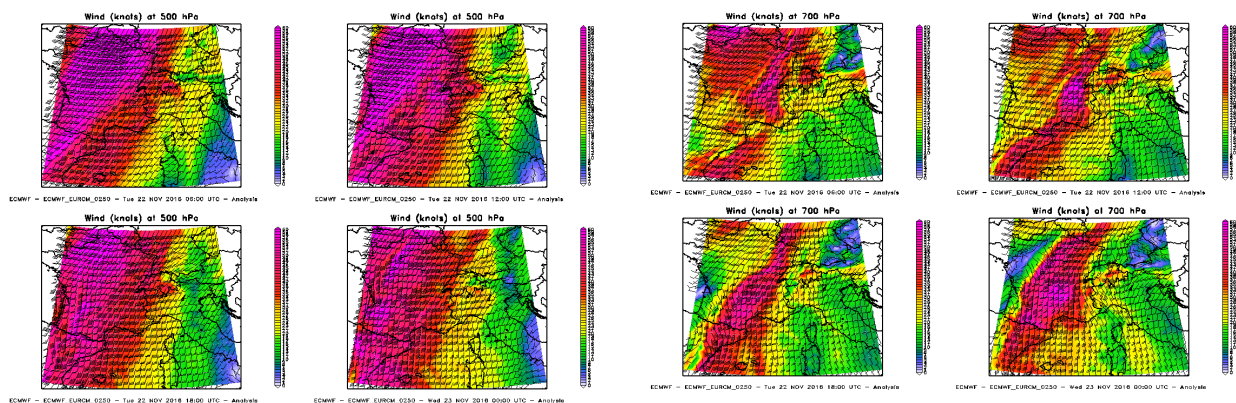


Figura 13. Analisi dei venti a 500 hPa (sinistra) e 700 hPa (destra) nella giornata del 22 novembre 2016

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 nord-est in prossimità dei rilievi appenninici.

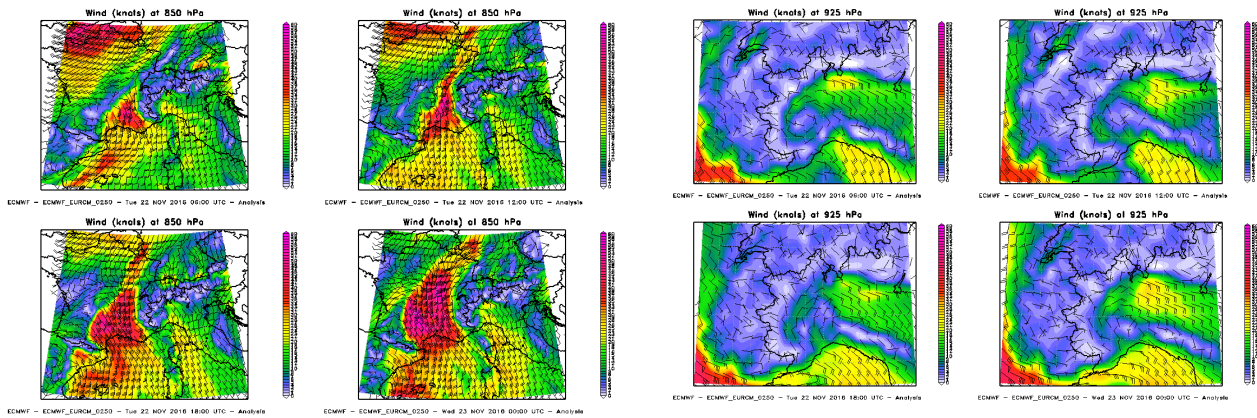


Figura 14. Analisi dei venti a 850 hPa (a sn) e 925 hPa (a dx) nella giornata del 22 novembre 2016

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).

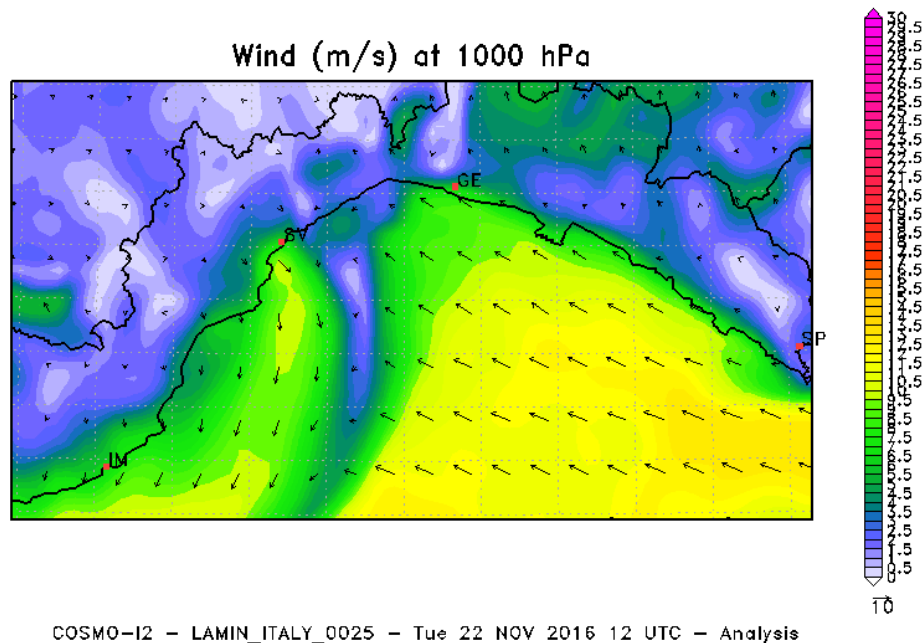


Figura 15. Venti nei bassi strati dell'atmosfera (1000 hPa) alle 12:00 UTC del 22 novembre 2016

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

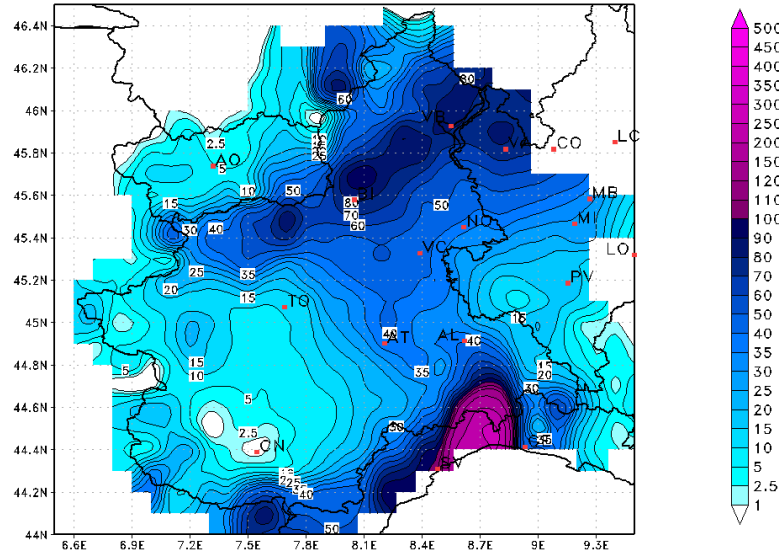


Figura 16. Precipitazioni cumulate durante la giornata del 22 novembre 2016

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).

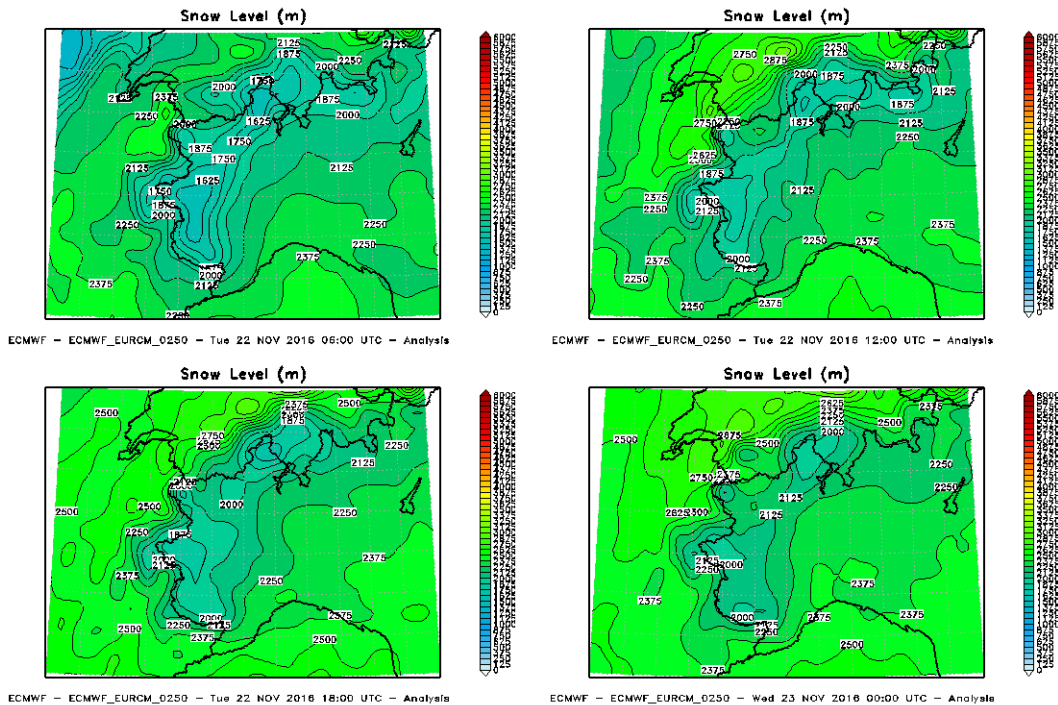


Figura 17. Analisi della quota neve per la giornata del 22 novembre 2016

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.

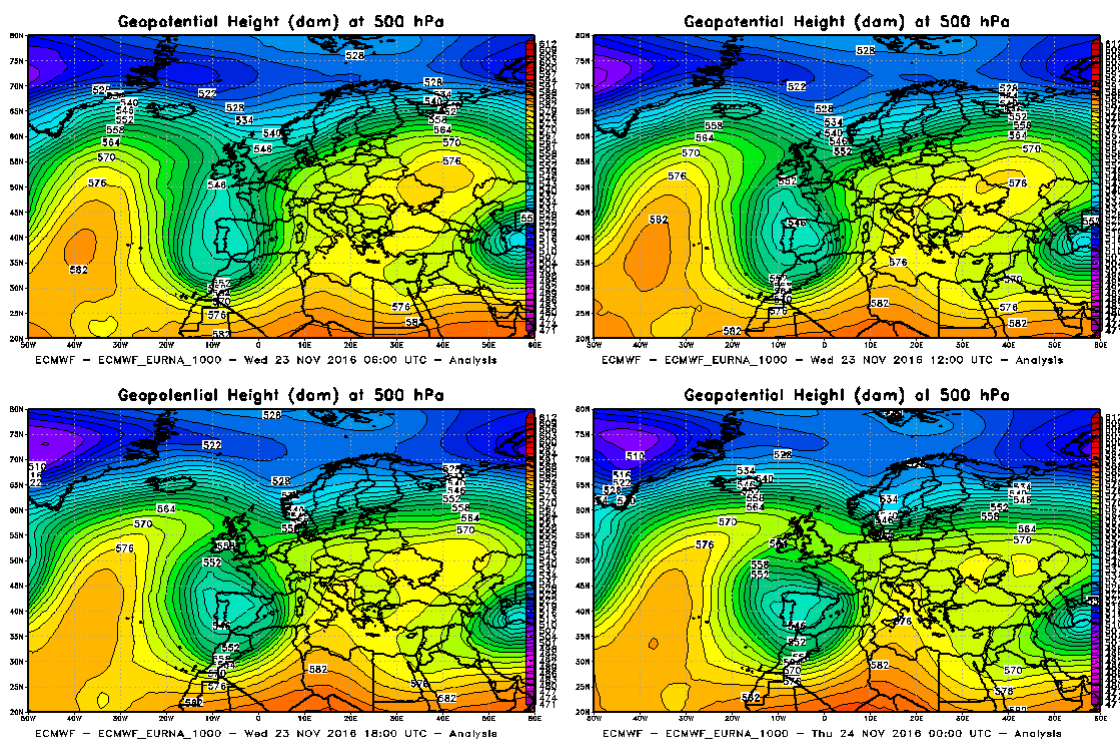


Figura 18. Analisi dell'altezza di geopotenziale a 500 hPa nella giornata del 23 novembre 2016

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).

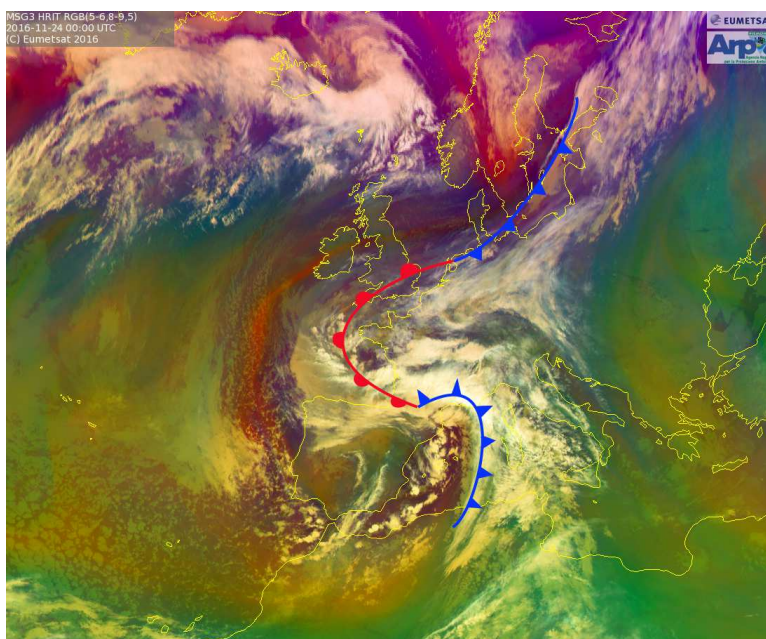


Figura 19. Immagine Meteosat (airmass, composizione di bande di infrarosso) alle 00 UTC del 24 novembre 2016 con mappa dei fronti

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.

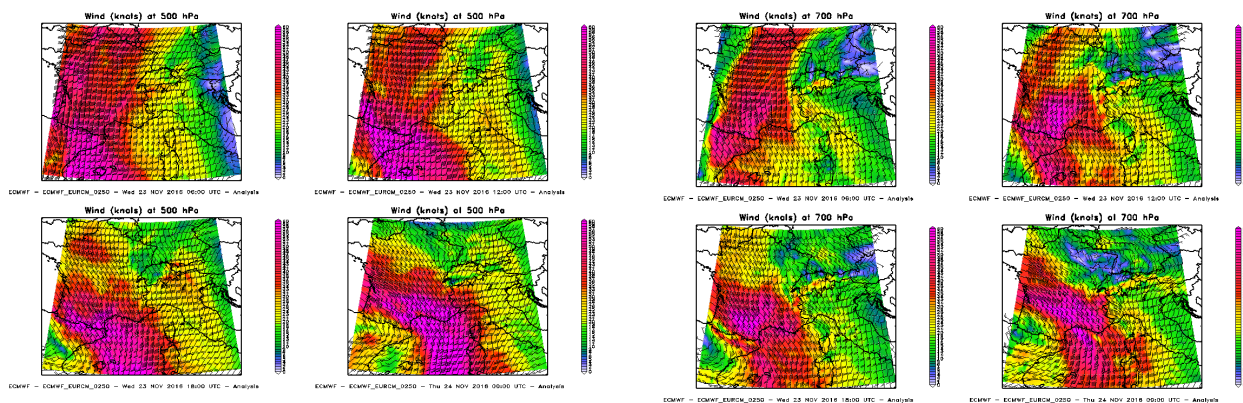


Figura 20. Analisi dei venti a 500 hPa (a sn) e 700 hPa (a dx) nella giornata del 23 novembre 2016

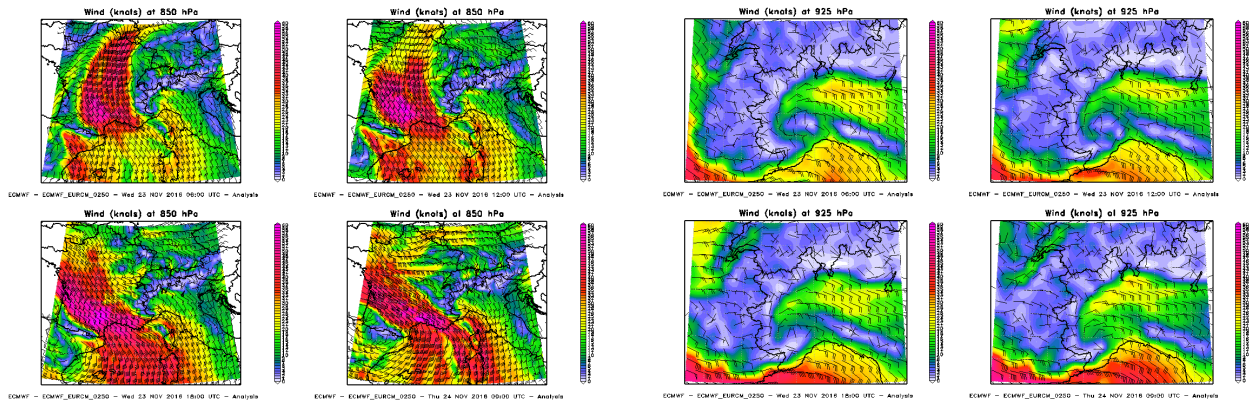


Figura 21. Analisi dei venti a 850 hPa (a sn) e 925 hPa (a dx) nella giornata del 23 novembre 2016

I fenomeni precipitativi associati a questa configurazione fortemente instabile sono abbondanti tra Verbania 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).

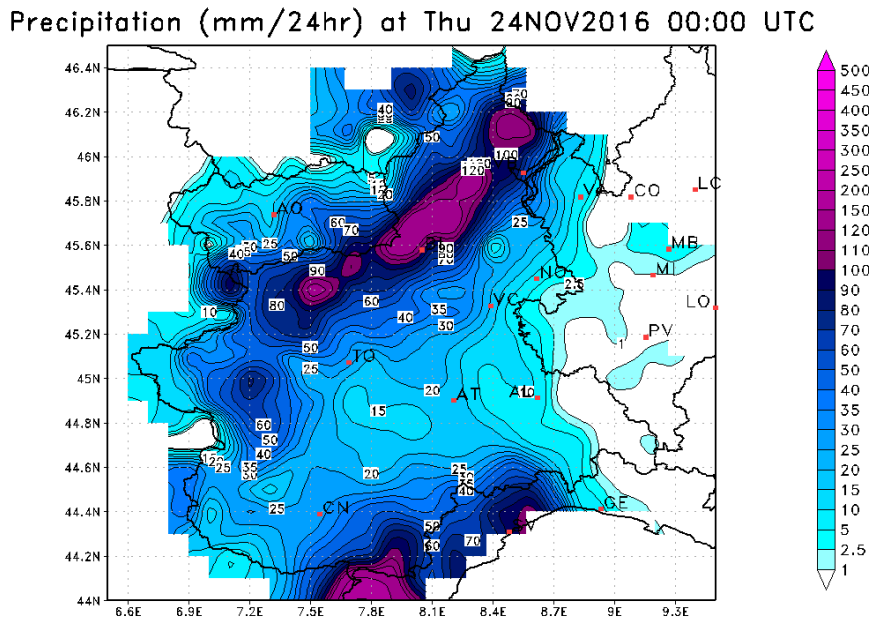


Figura 22. Precipitazioni cumulate durante la giornata del 23 novembre 2016

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).

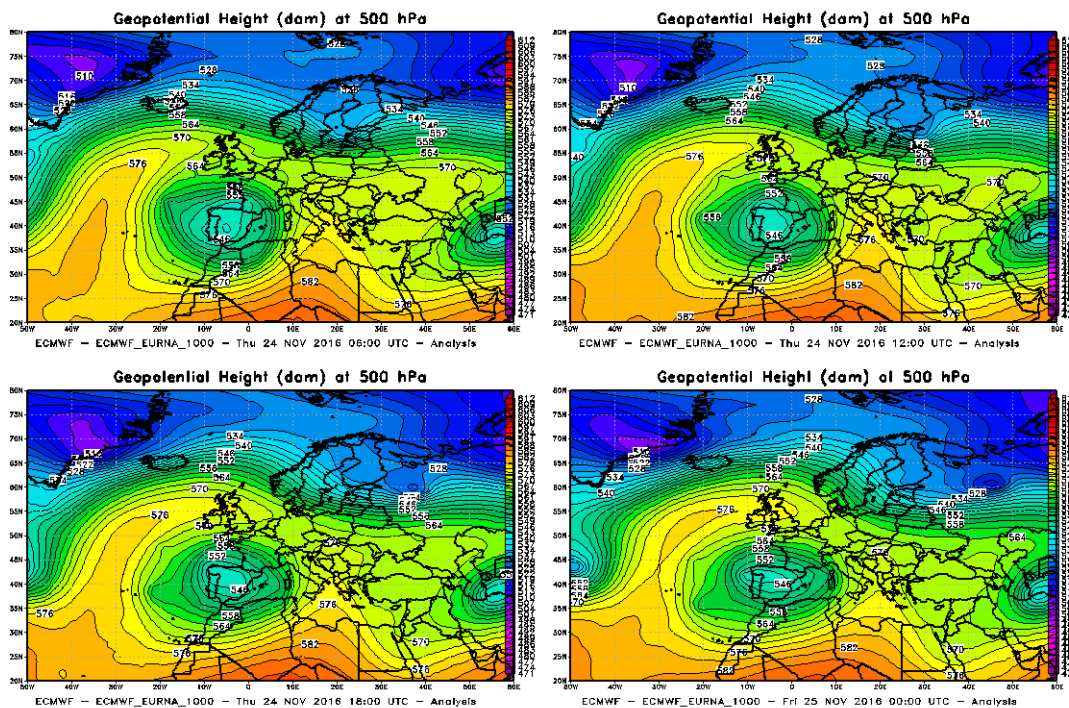


Figura 23. Analisi dell'altezza di geopotenziale a 500 hPa nella giornata del 24 novembre 2016

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).

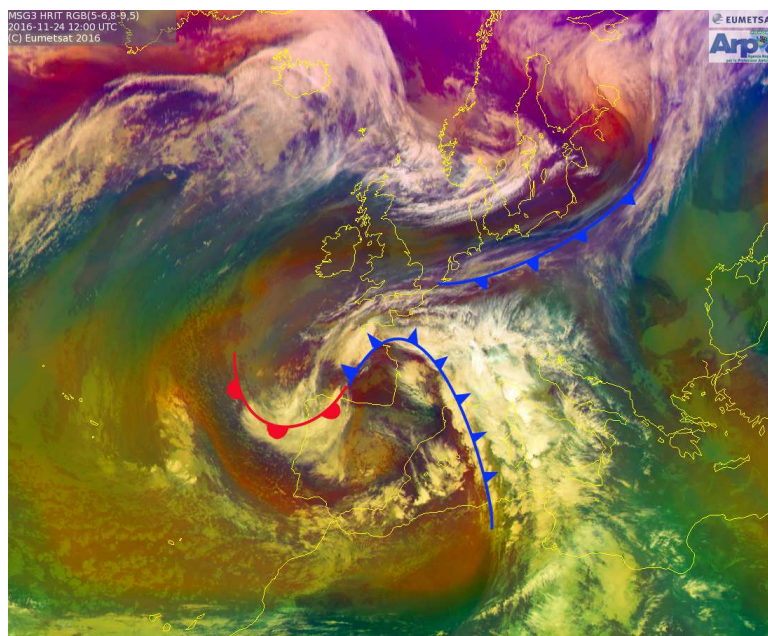


Figura 24. Immagine Meteosat (airmass, composizione di bande di infrarosso) alle 12 UTC del 24 novembre 2016 con mappa dei fronti

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).

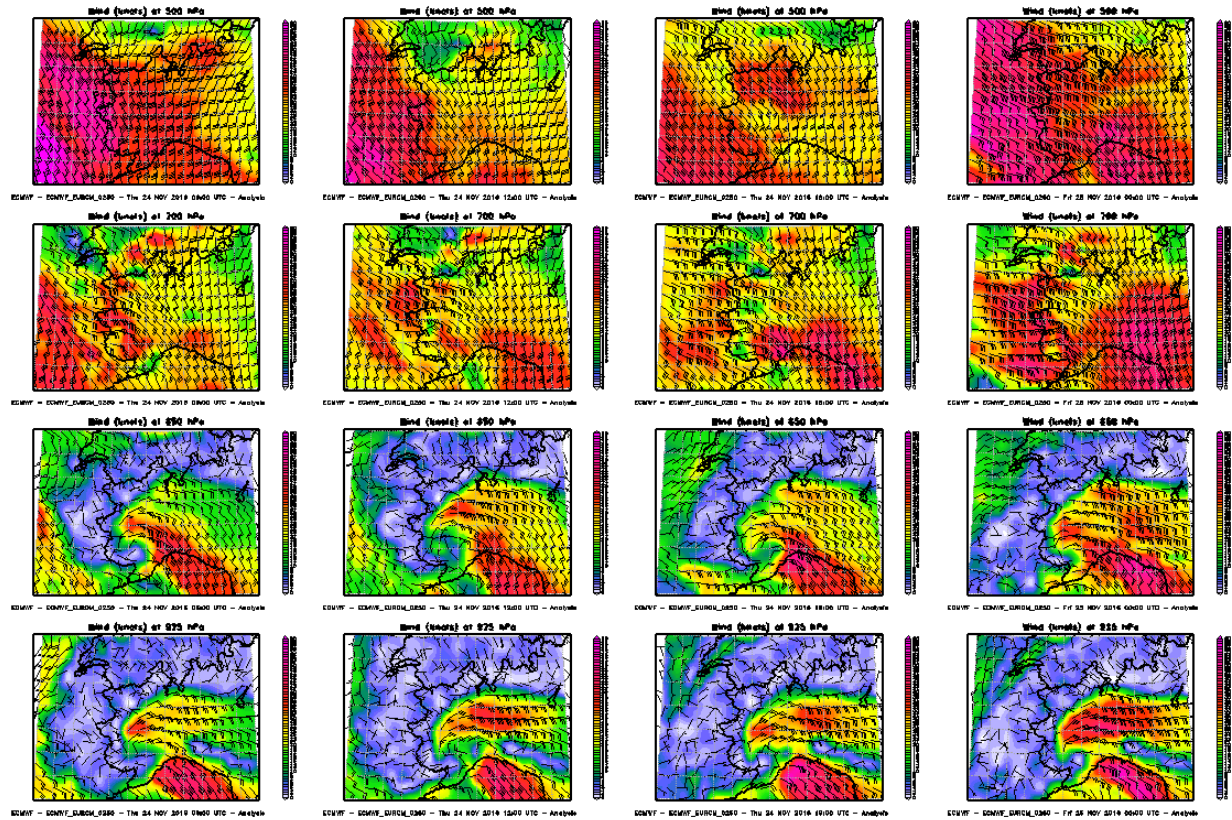


Figura 25. Analisi dei venti alle quote sinottiche principali nella giornata del 24 novembre 2016

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

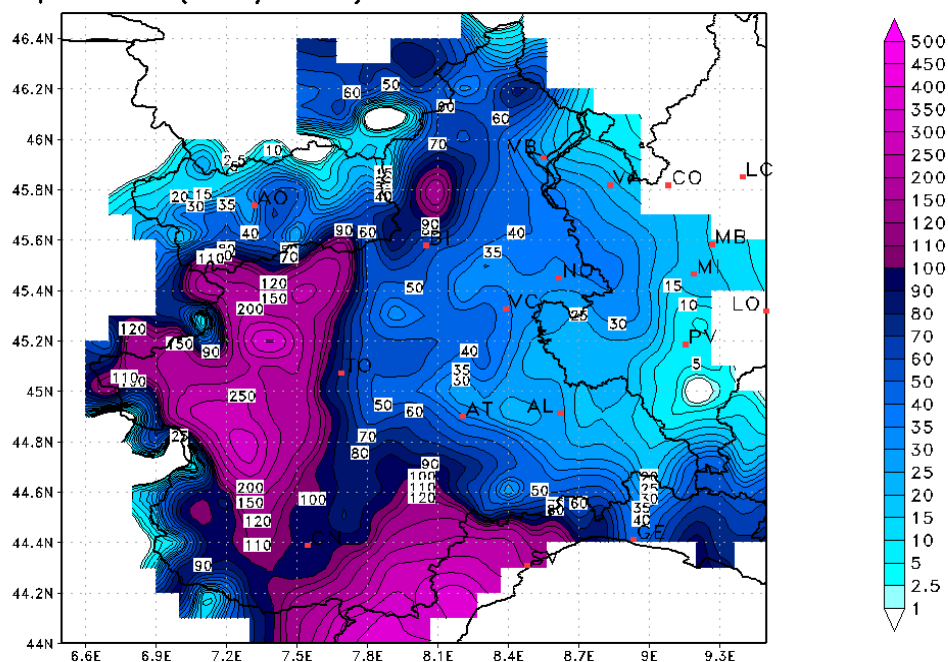


Figura 26. Precipitazioni cumulate durante la giornata del 24 novembre 2016

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).

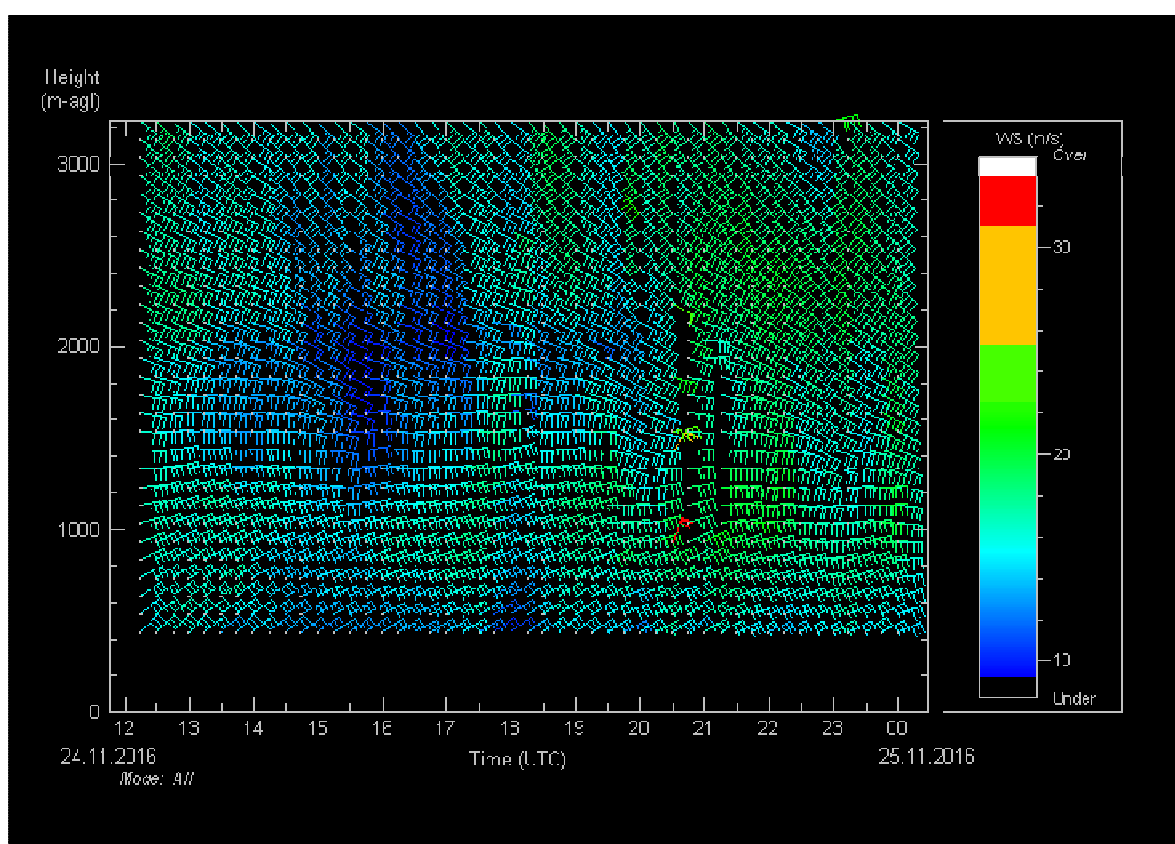
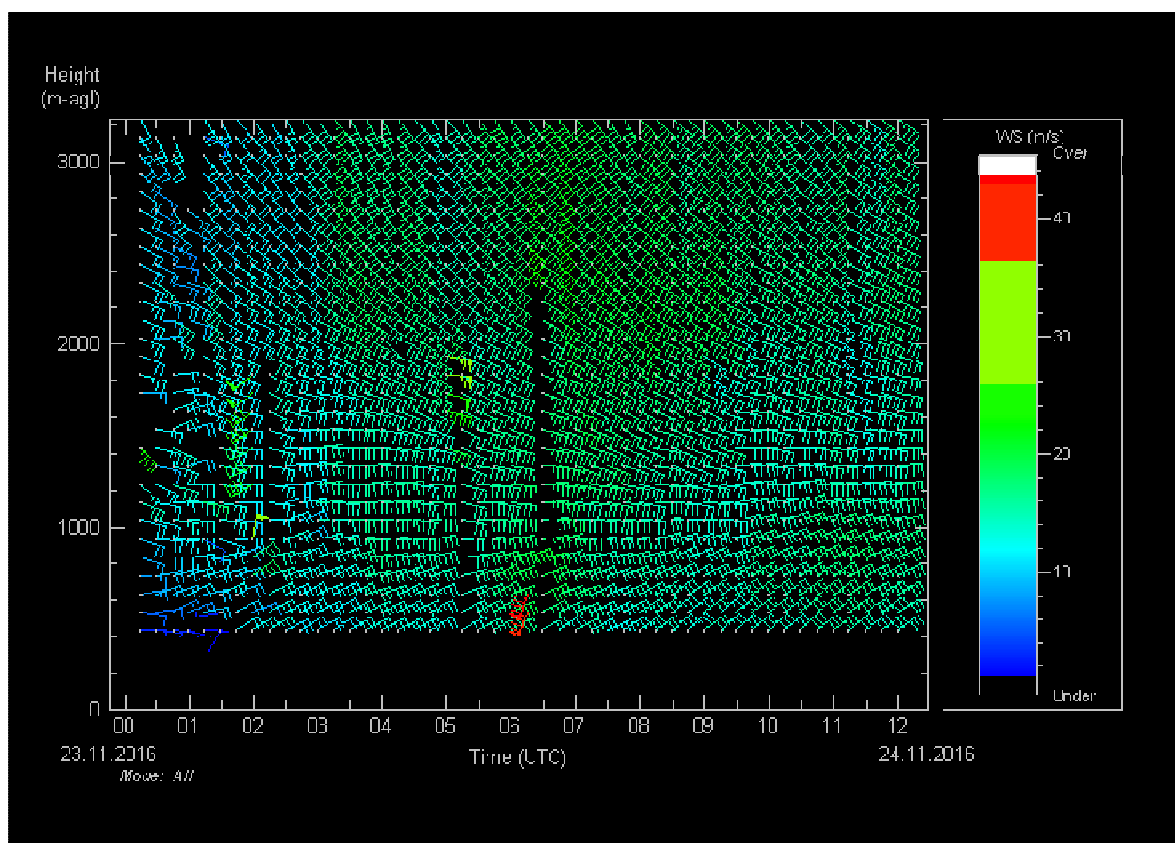


Figura 27. Osservazioni da remoto del vento fino a 3000 m mediante il wind profiler posizionato a Torino in corso Stati Uniti nella giornata del 24 novembre 2016

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.

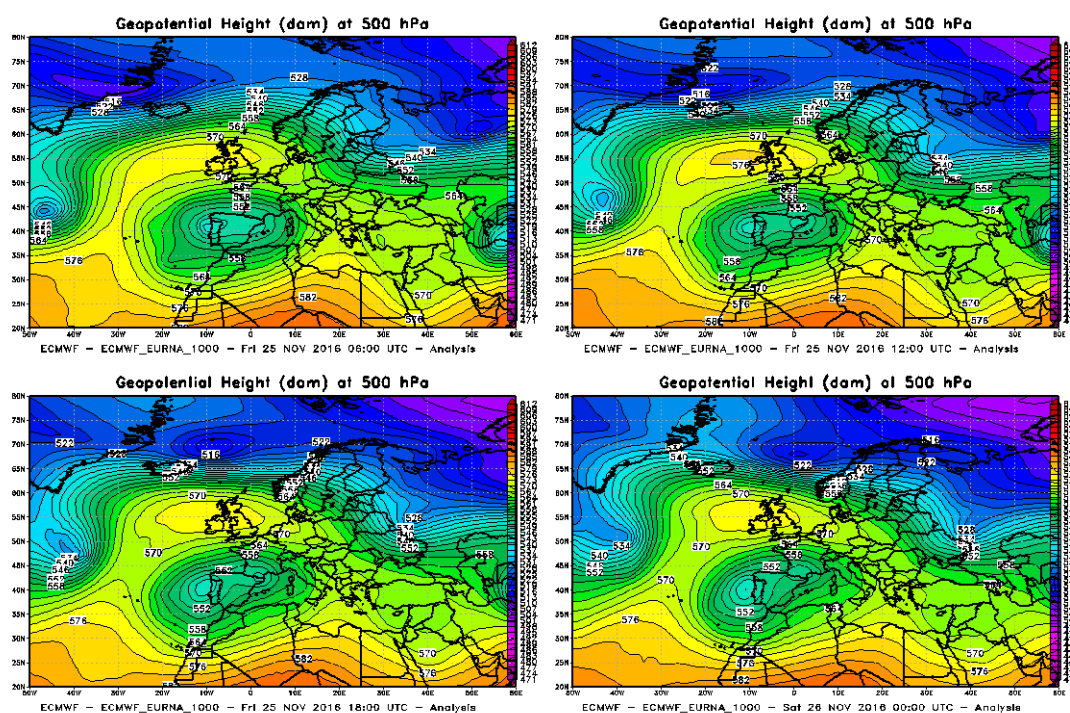
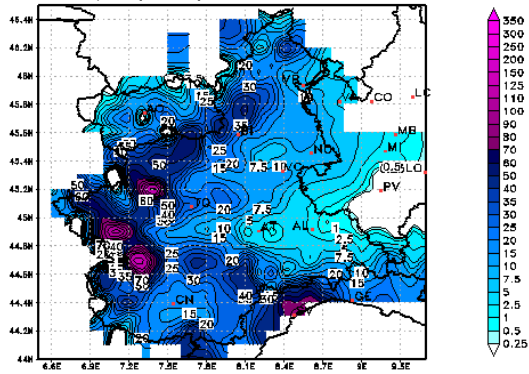


Figura 28. Analisi dell'altezza di geopotenziale a 500 hPa nella giornata del 25 novembre 2016

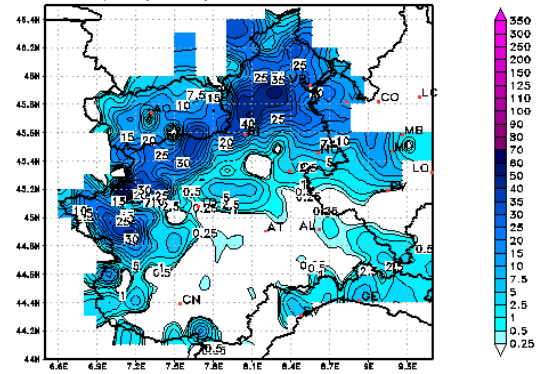
Le precipitazioni interessano invece ancora il settore alpino nordoccidentale e settentrionale nella prima parte della giornata (Figura 29), con valori localmente anche molto forti: tra Alpi Graie e Cozie le precipitazioni cumulate sulle 24 ore sono comprese tra i 130 mm ed i 160 mm, sul Biellese si 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.

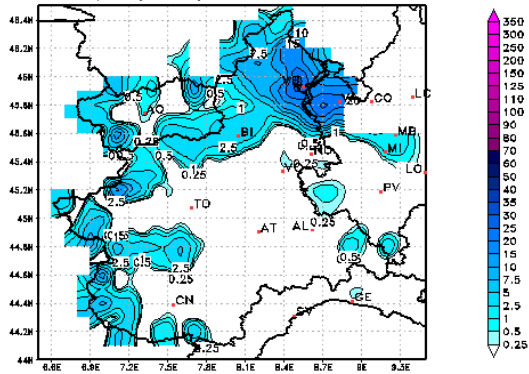
Precipitation (mm/06hr) at Fri 25NOV2016 06:00 UTC



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

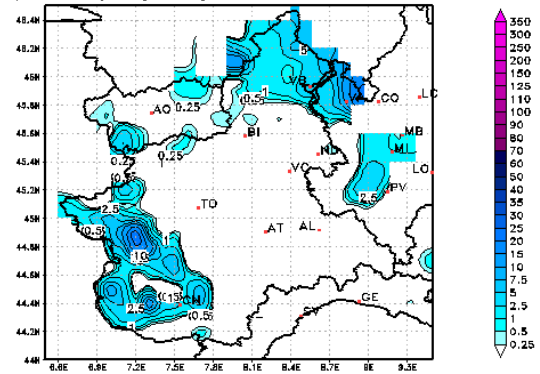


Figura 29. Precipitazioni cumulate esaorarie durante la giornata del 25 novembre 2016

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.

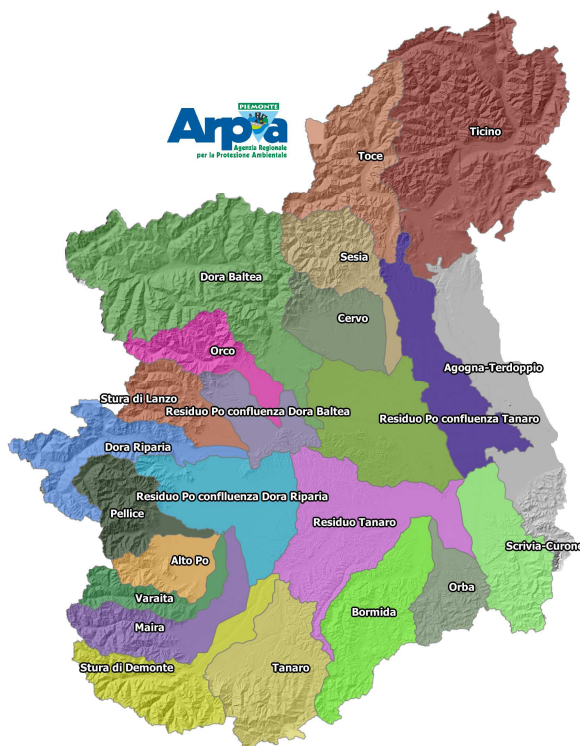


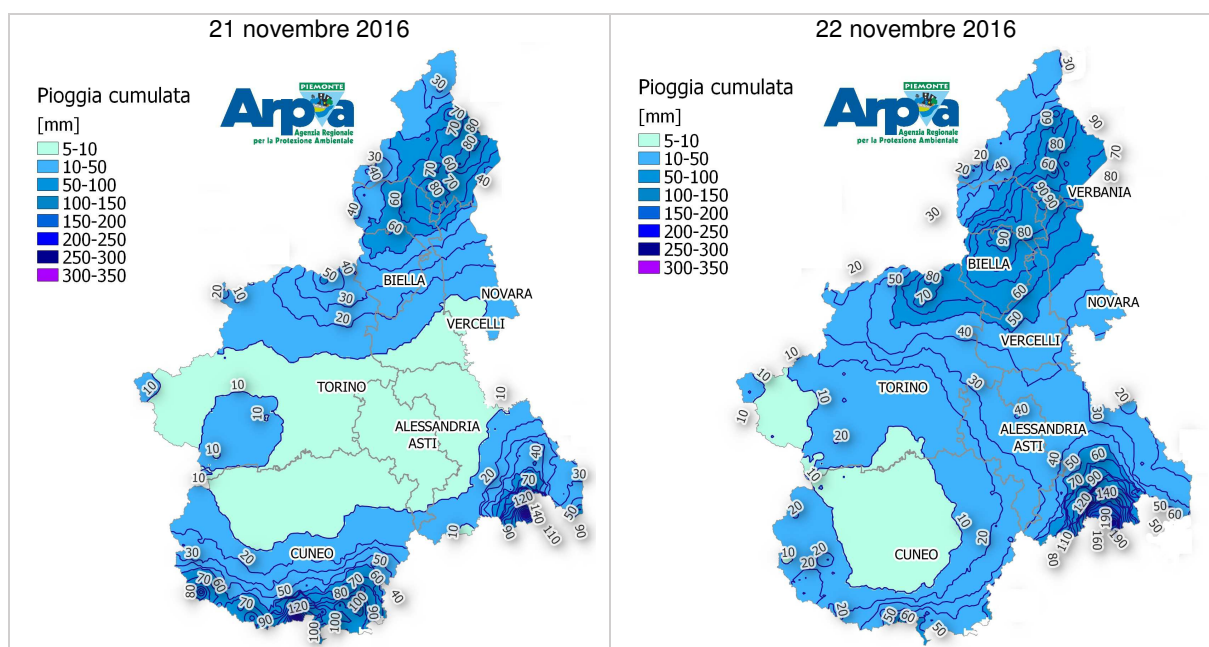
Figura 30. Bacini idrografici piemontesi

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

Bacino	Precipitazione [mm]					Totale
	21 novembre	22 novembre	23 novembre	24 novembre	25 novembre	
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
Bacino del Po a Ponte Becca (PV)	25,7	35,9	35,6	78,5	32,8	208,5

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.



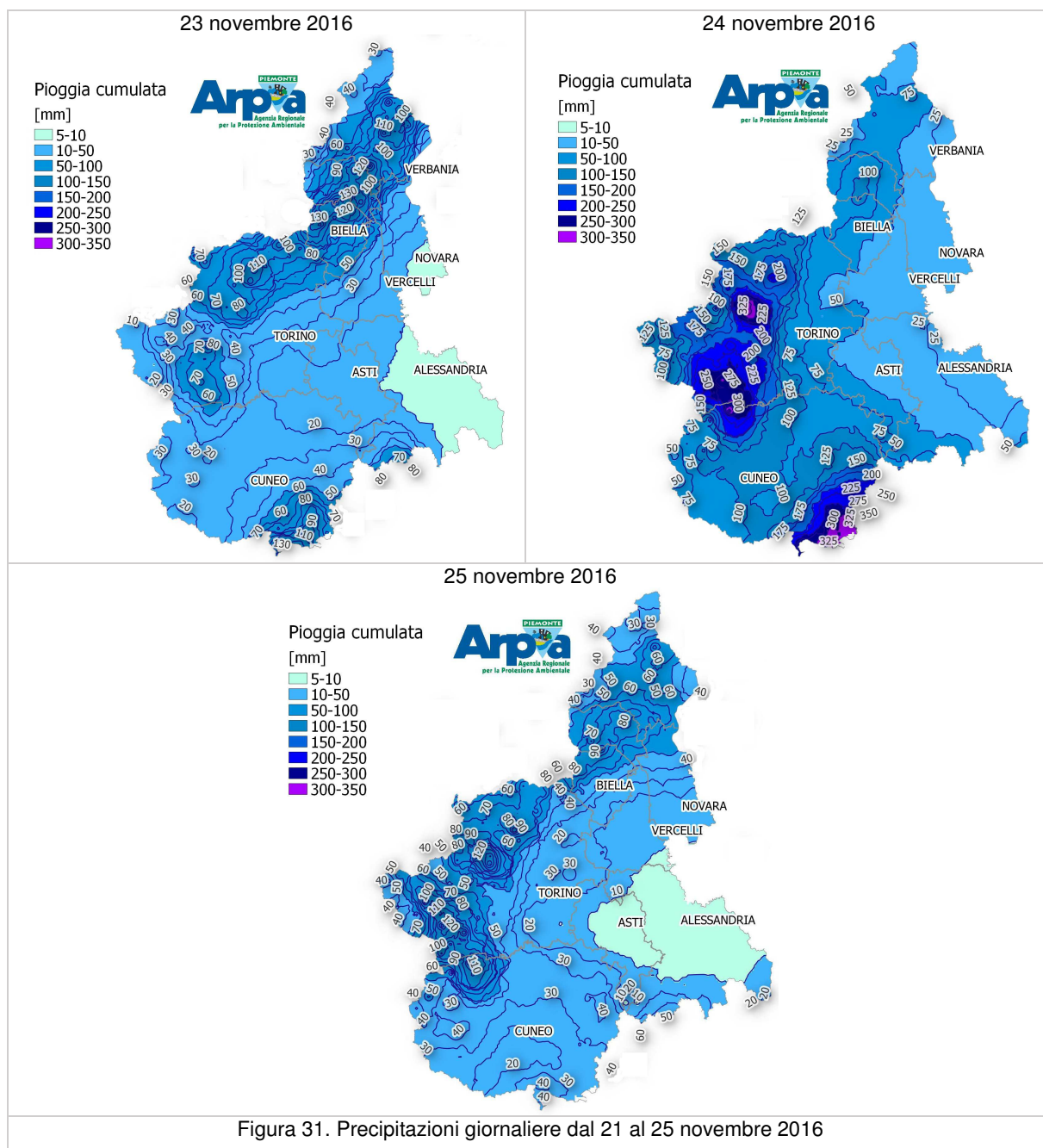
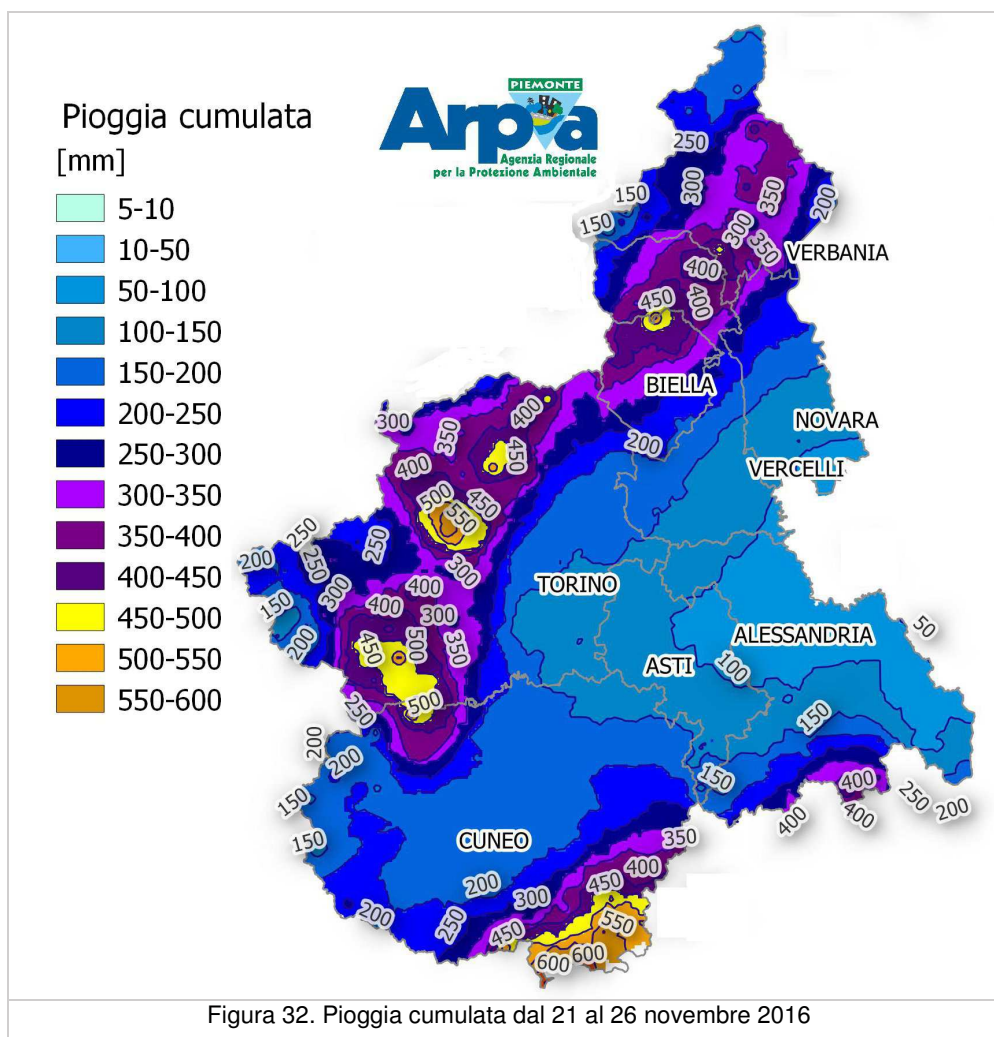


Figura 31. Precipitazioni giornaliere dal 21 al 25 novembre 2016

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
A	TICINO	VALSTRONA	VB	SAMBUGHETTO	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	SEZIA	TRIVERO	BI	CAMPARIENT	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	SEZIA	BIELLA	BI	OROPA	51,2	83,2	150,8	84,8	76,2	446,2
B	DORA BALTEA	PONTBOSET	AO	PONTBOSET-FOURNIER	31,2	51,6	104,2	154,4	99,6	441,0
B	SEZIA	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
C	STURA DI LANZO	VIU'	TO	NIQUIDETTO	2,8	18,0	69,2	353,4	166,2	609,6
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
D	ALTO PO	BARGE	CN	BARGE	8,6	10,4	56	375,6	142,8	593,4
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
E	TANARO	LIMONE PIEMONTE	CN	LIMONE PANCANI	216,8	75,6	62,8	152,6	38,4	546,2
E	TANARO	VINADIO	CN	VINADIO S, BERNOLFO	116,6	34,0	15,6	88,2	22,0	276,4
F	TANARO	BRIGA ALTA	CN	PIAGGIA	93,0	59,2	164,2	295,8	51,0	663,2
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
G	TANARO	CALIZZANO	SV	SETTEPANI	41,0	95,4	81,2	350,8	44,0	612,4
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.

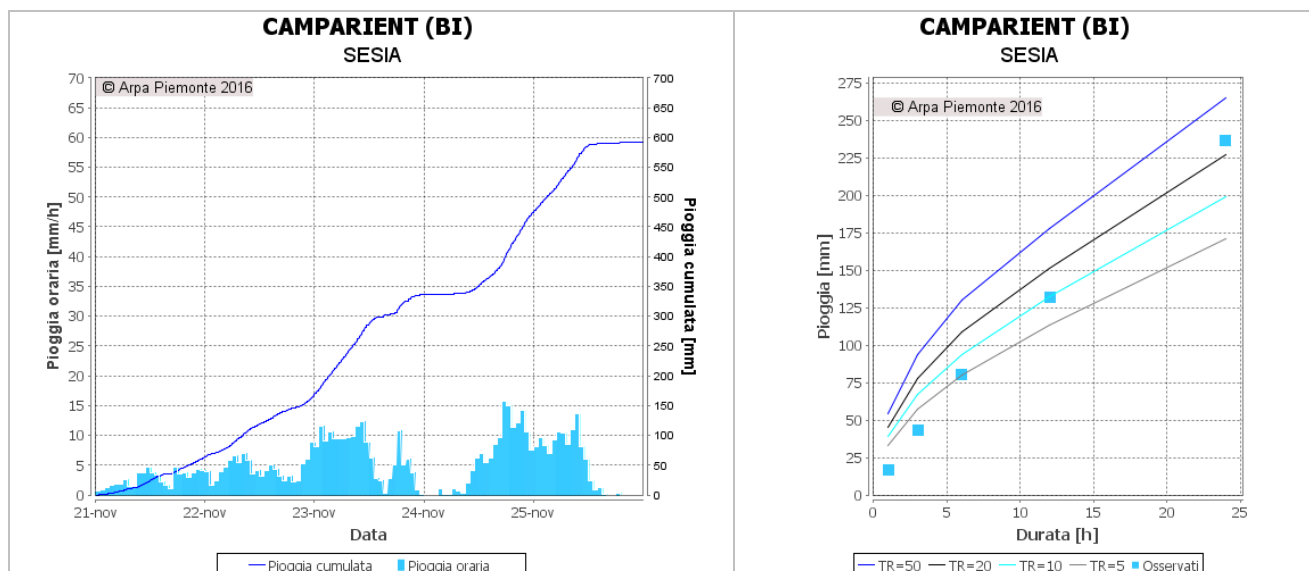
Zona di allerta	Bacino	Comune	Provincia	Stazione	Max 1 h	Max 3 h	Max 6 h	Max 12 h	Max 24 h
A	TICINO	VALSTRONA	VB	SAMBUGHETTO	12,8	34	53,4	95,2	161,0
A	TICINO	MONTECRETESE	VB	LARECCHIO	10,2	26,4	42,6	79,2	143,8
A	TICINO	TRONTANO	VB	MOTTAC	10,8	23,4	44,4	73,4	136,6
B	SEZIA	TRIVERO	BI	CAMPARIENT	16,4	43	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

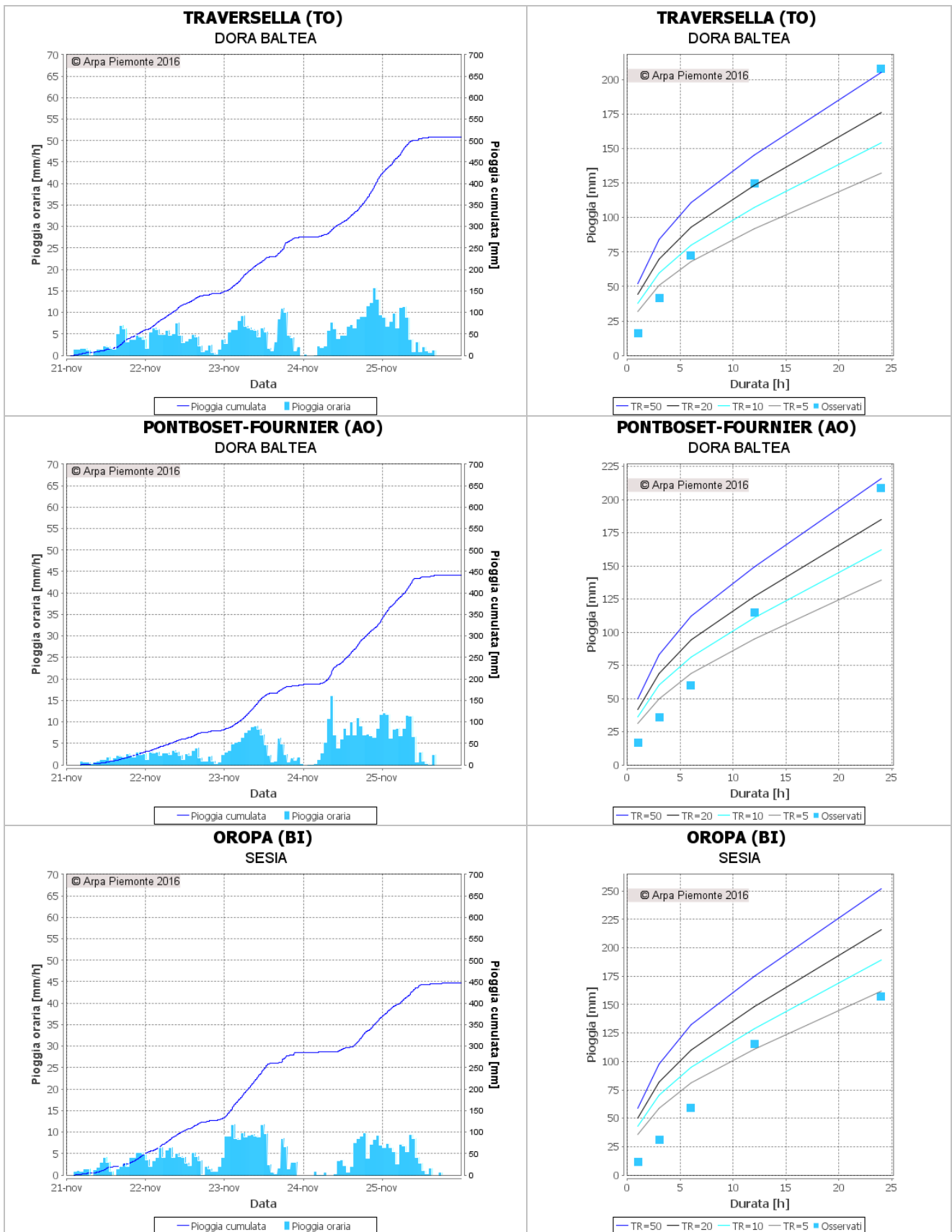
Zona di allerta	Bacino	Comune	Provincia	Stazione	Max 1 h	Max 3 h	Max 6 h	Max 12 h	Max 24 h
C	PO	COAZZE	TO	COAZZE	18	38	70	134,2	263,8
C	STURA DI LANZO	LEMIE	TO	LEMIE	14,8	41,6	80,4	143,2	262,6
C	STURA DI LANZO	BALME	TO	BALME	14,6	36,4	66,8	125	226,6
C	ORCO	SPARONE	TO	SPARONE	14,8	38,4	70,4	125,6	223,6
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

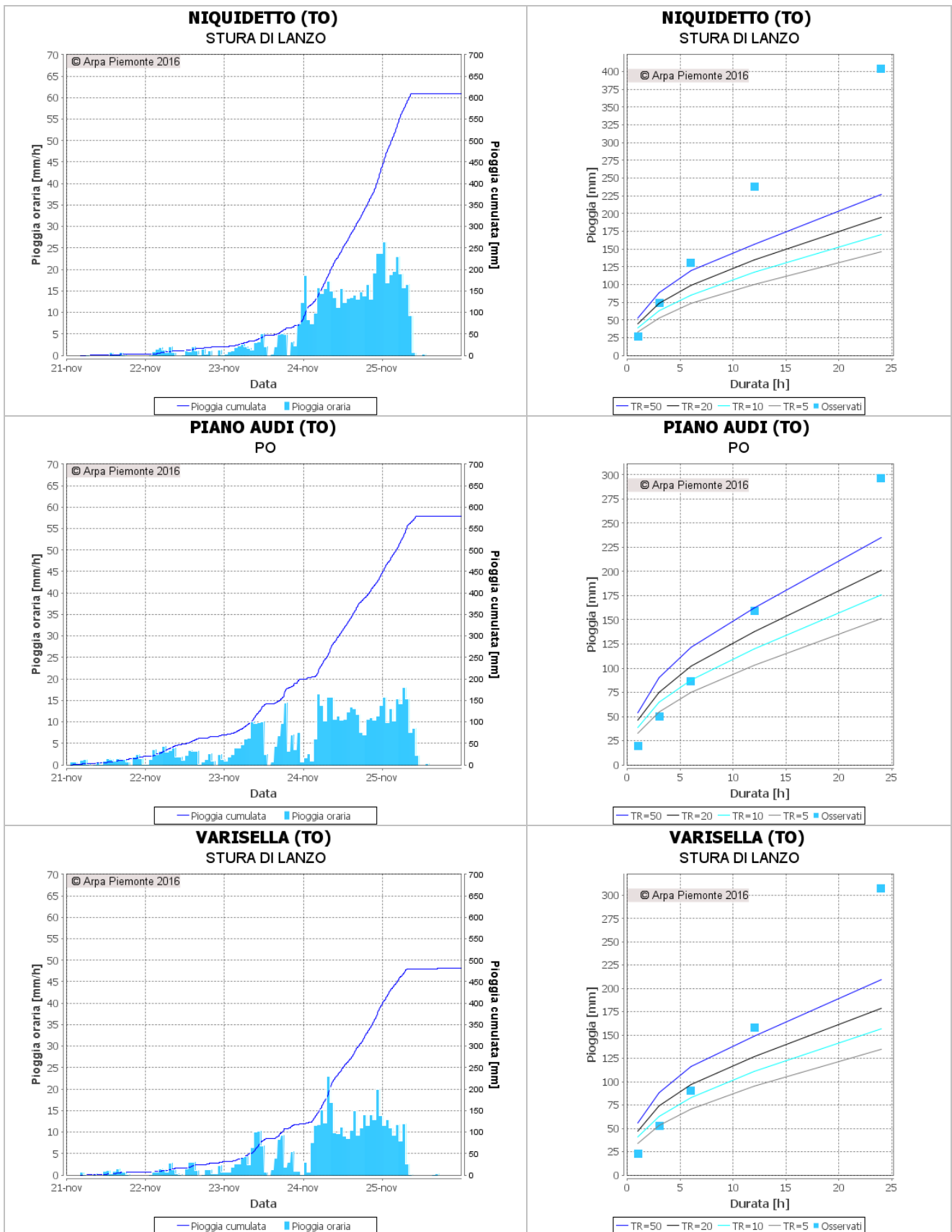
Zona di allerta	Bacino	Comune	Provincia	Stazione	Max 1 h	Max 3 h	Max 6 h	Max 12 h	Max 24 h
G	TANARO	ROSSIGLIONE	GE	ROSSIGLIONE	16,2	45,4	79,6	130,8	205,6
H	SCRIVIA	FRACONALTO	AL	FRACONALTO	46,4	112	126,8	175,8	256,2
I	TICINO	PARUZZARO	NO	PARUZZARO	8,8	19,2	33,6	46,8	92,0
L	PELLICE	PINEROLO	TO	SAN MARTINO 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

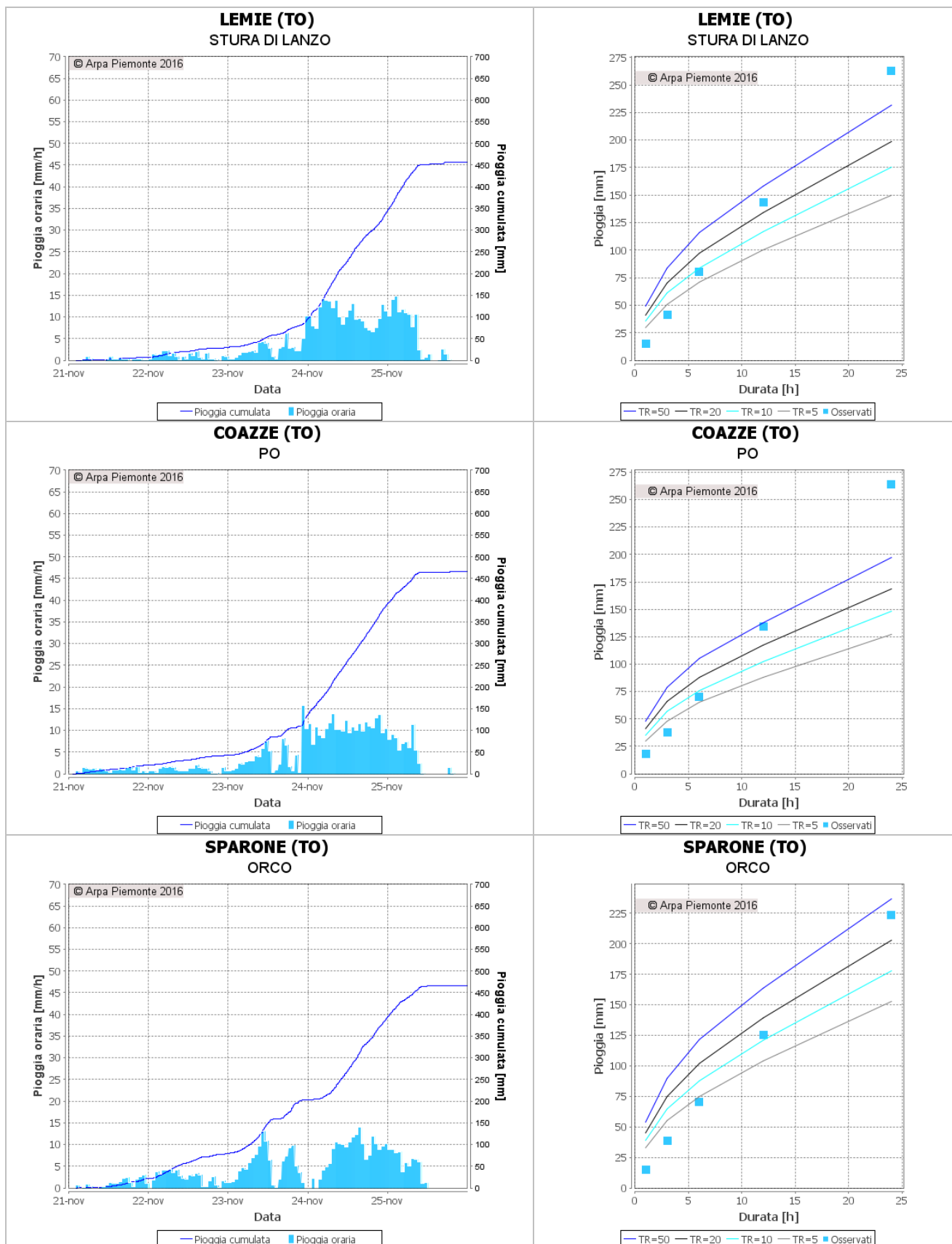
La caratterizzazione in termini statistici dell'evento si effettua mediante il confronto dei valori di altezza e durata delle precipitazioni registrate in corso d'evento con quelli relativi alle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP) utilizzate nel sistema di allerta regionale

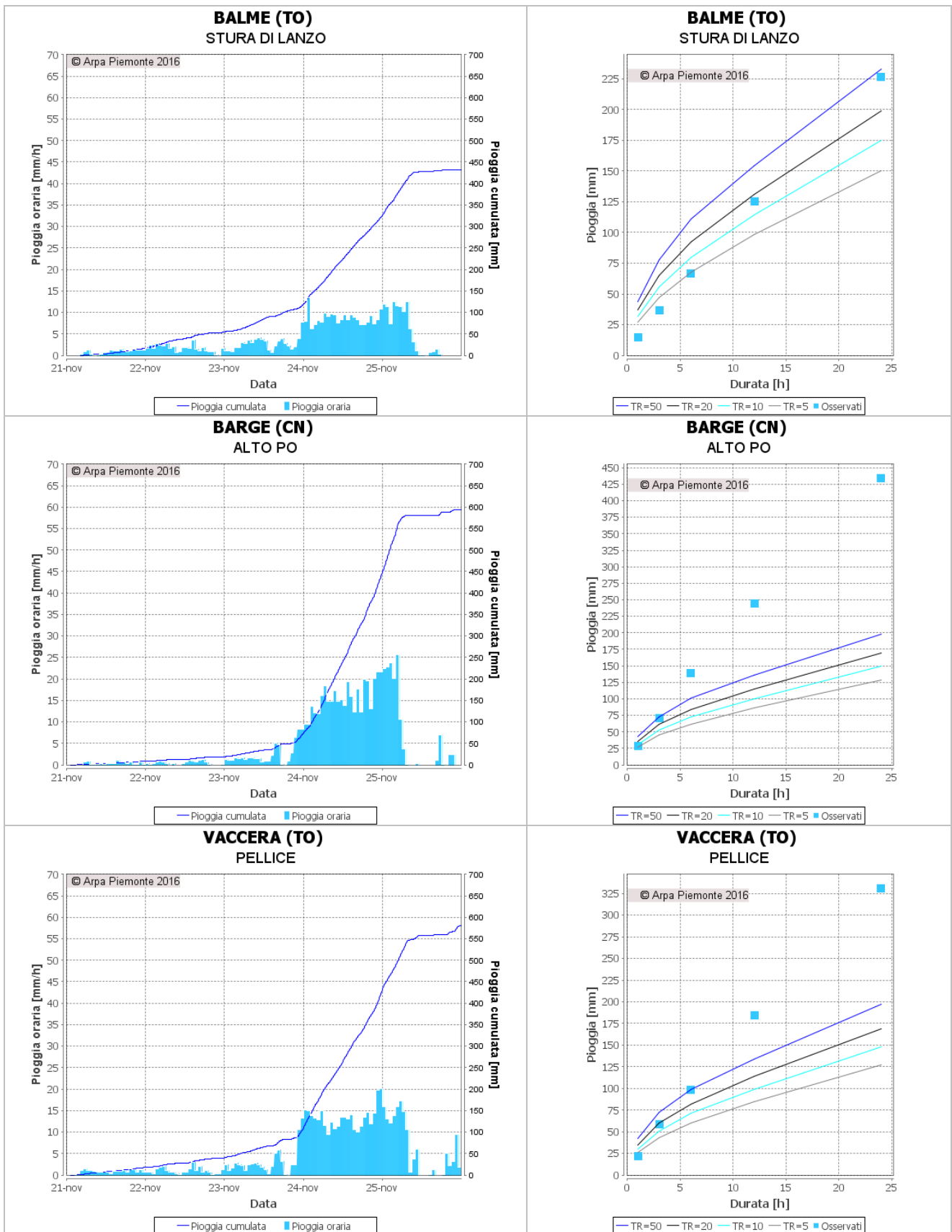
Nei grafici seguenti (Figura 33) sono riportati, per alcune stazioni ritenute più significative, gli ietogrammi a sinistra e a destra le altezze di pioggia dell'evento (asse delle ordinate), espresse in funzione delle diverse durate (1, 3, 6, 12, 24 ore - asse delle ascisse) confrontate con le curve 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.

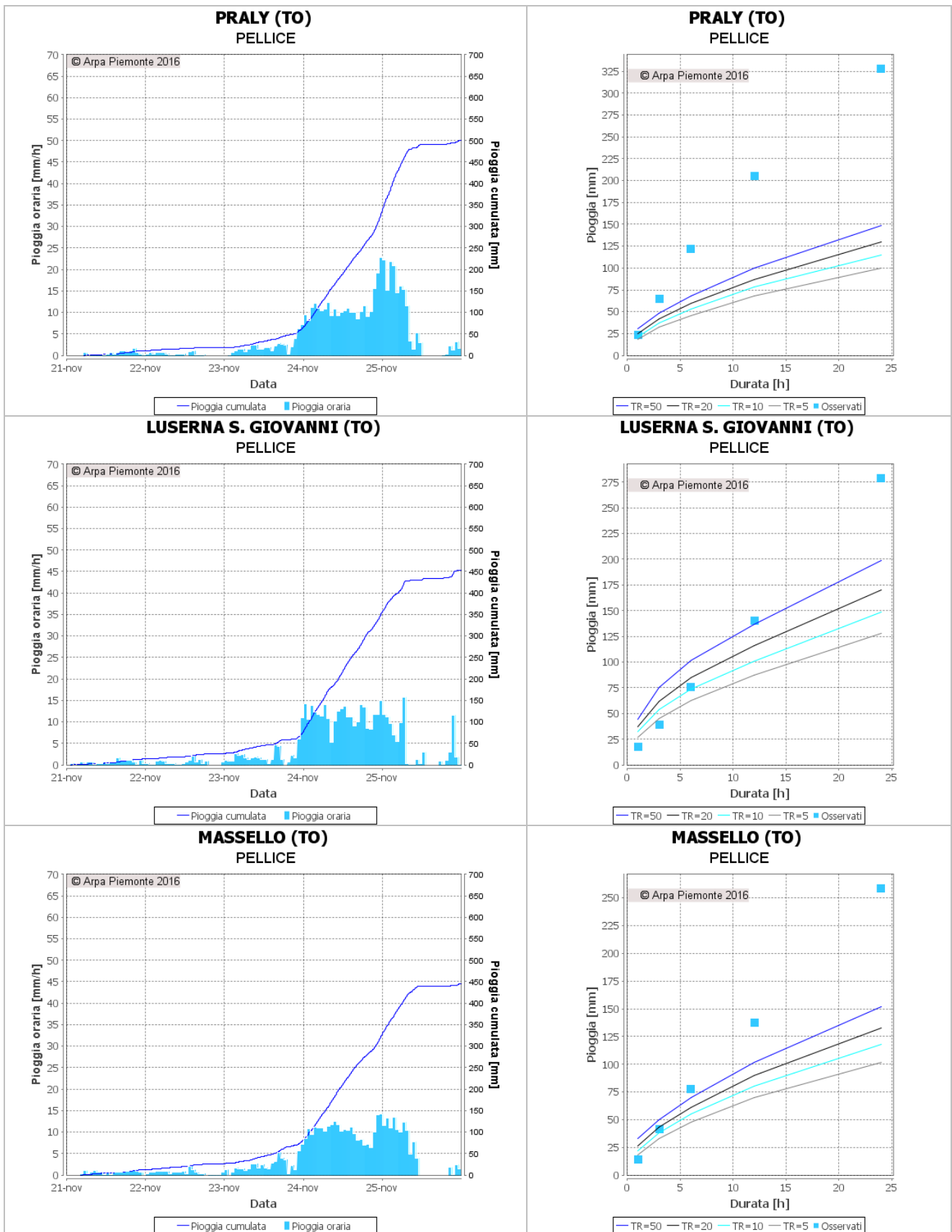


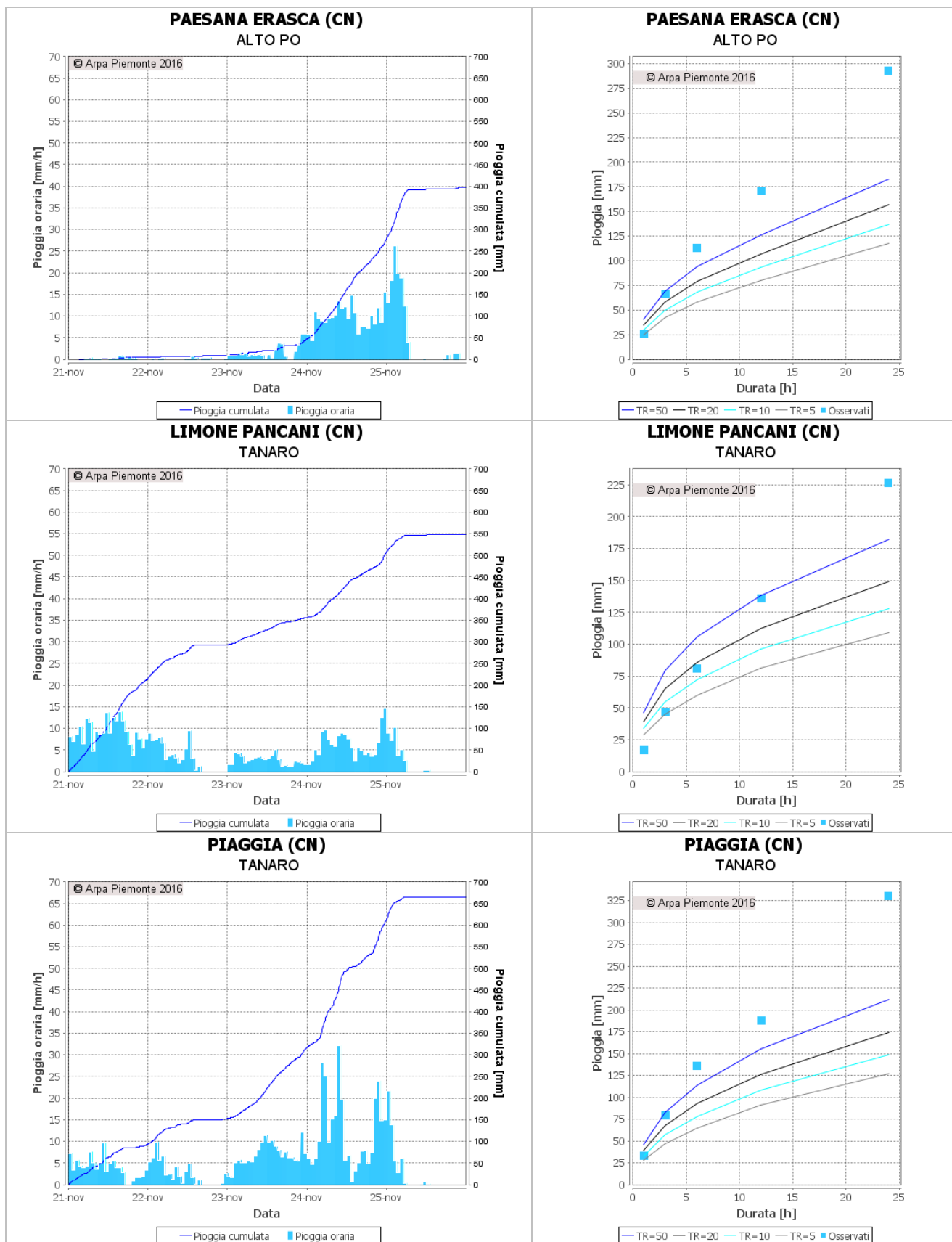


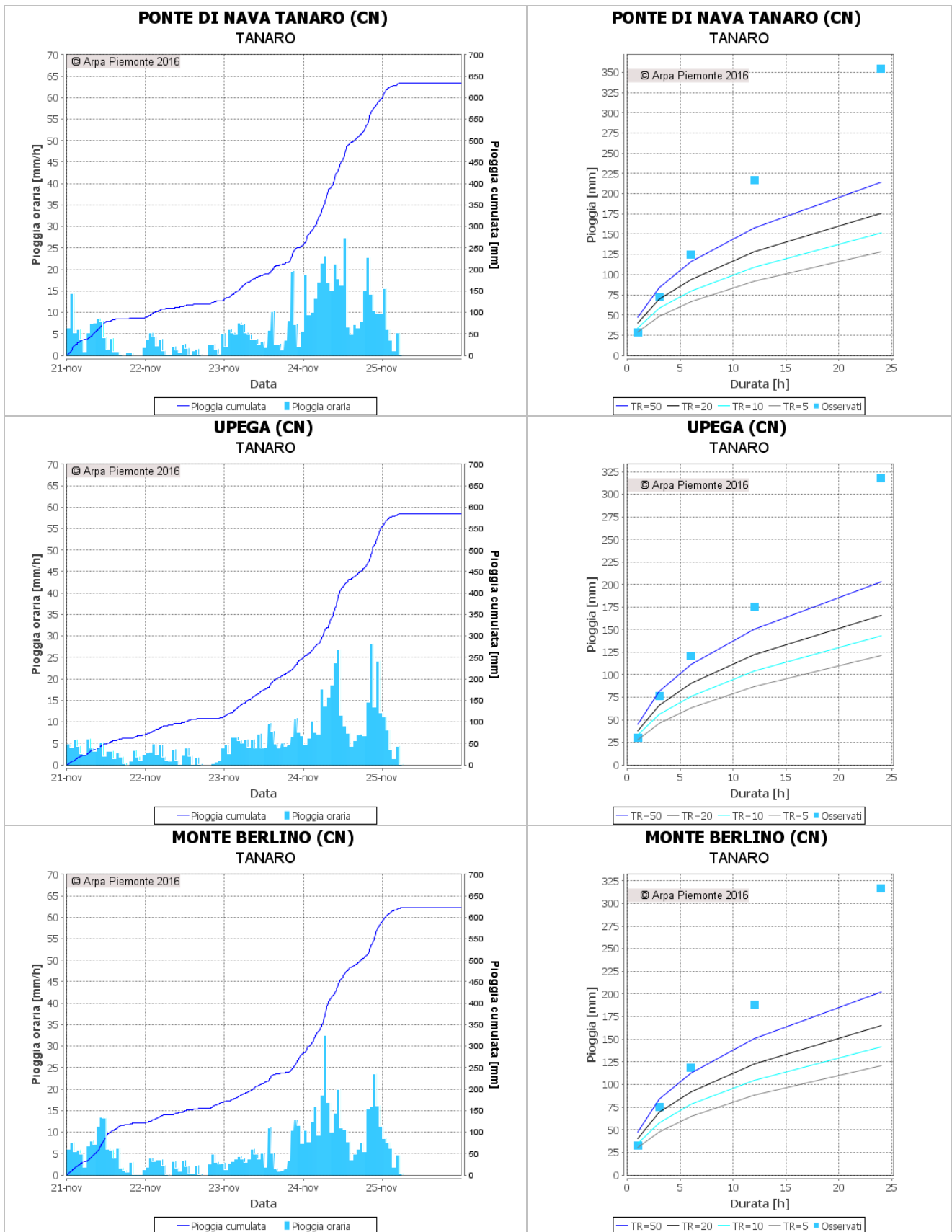


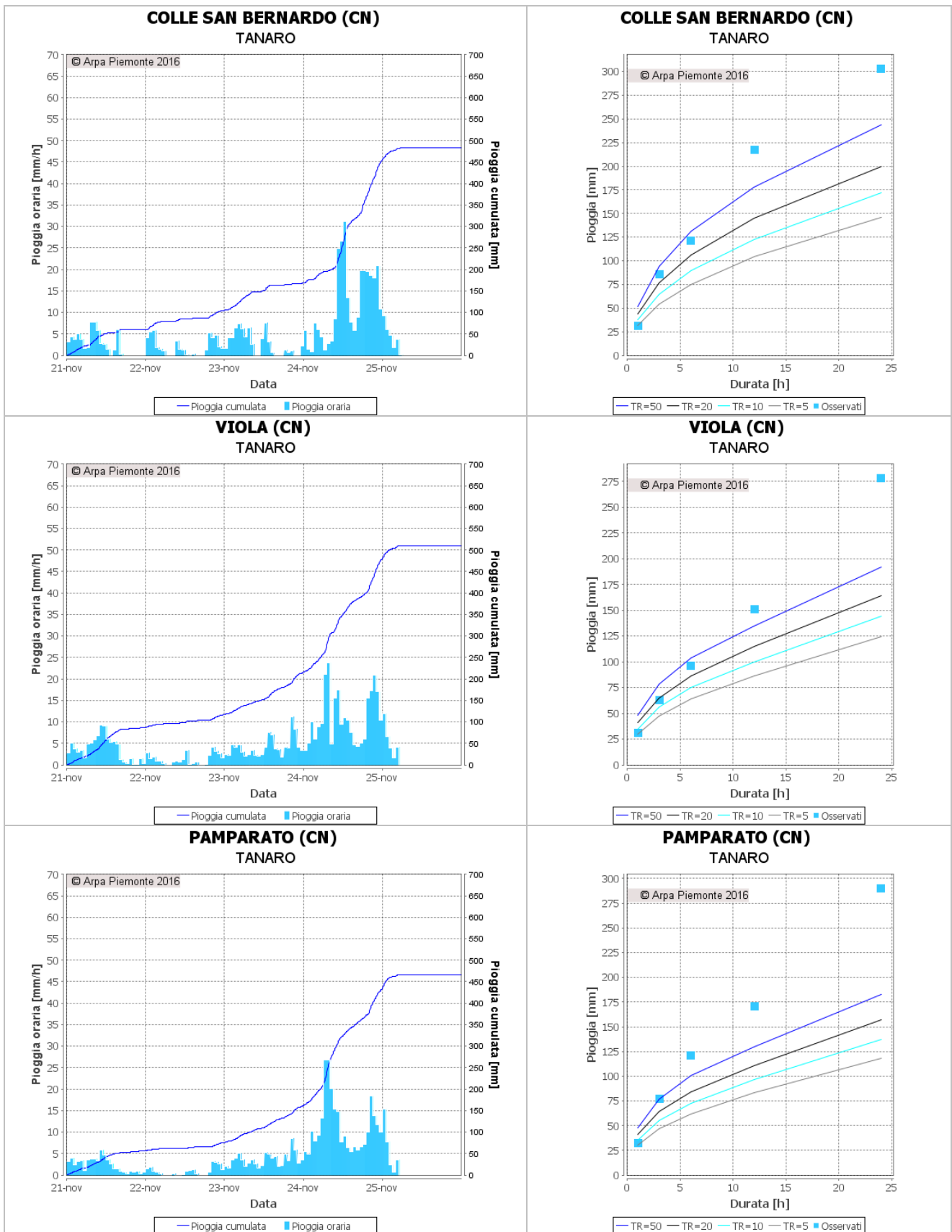


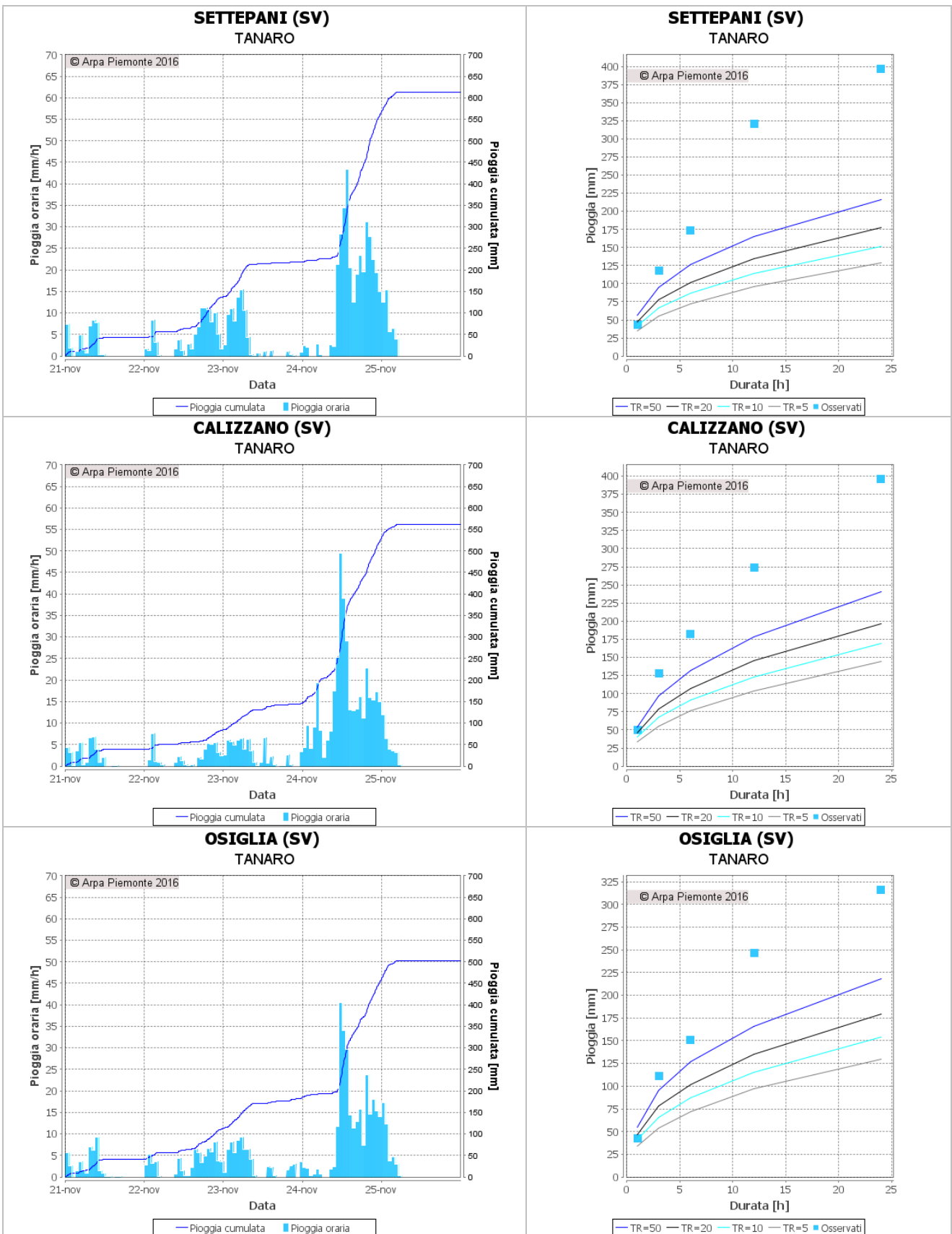












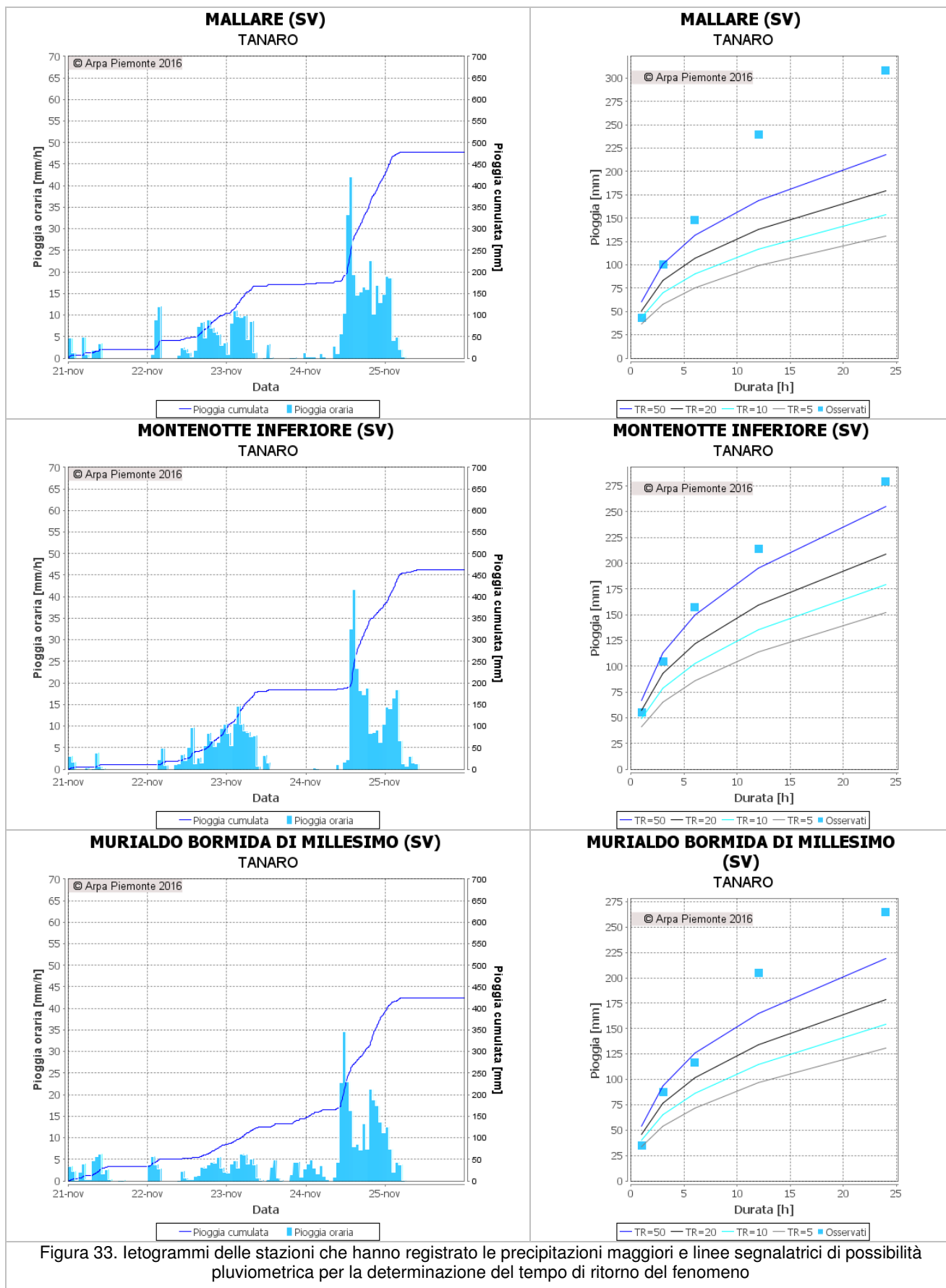


Figura 33. Ietogrammi delle stazioni che hanno registrato le precipitazioni maggiori e linee segnalatrici di possibilità pluviometrica per la determinazione del tempo di ritorno del fenomeno

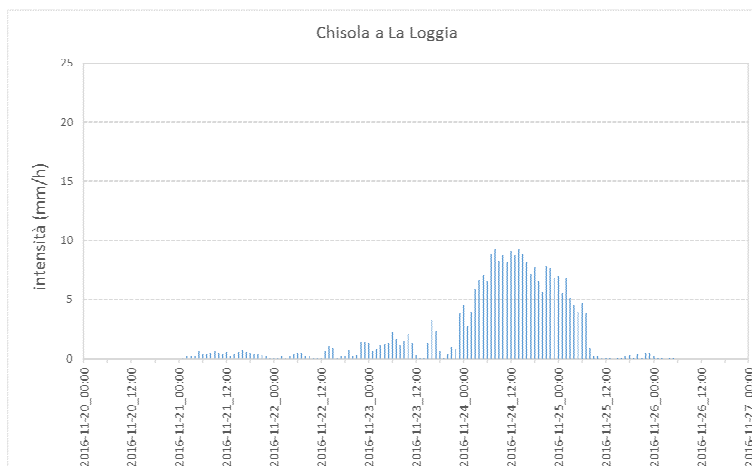
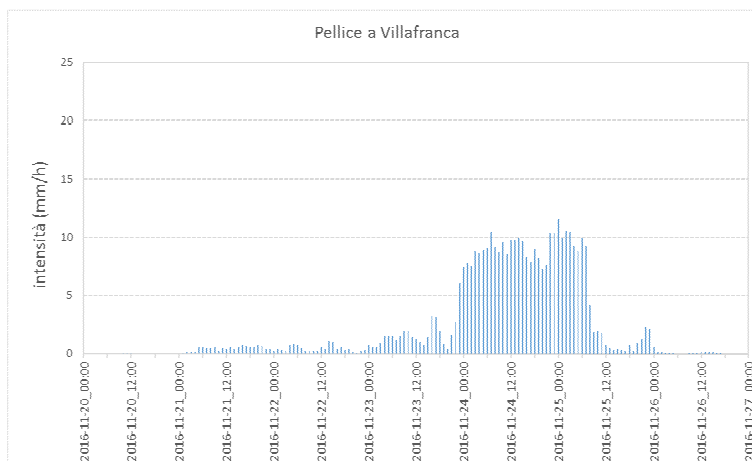
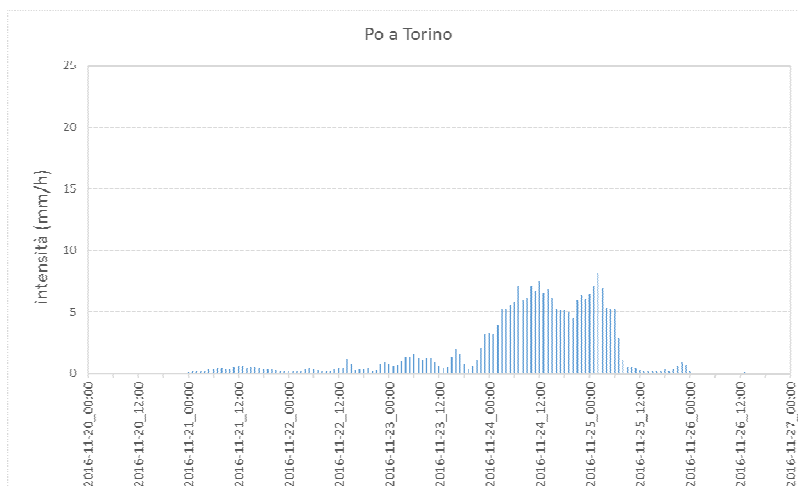
Osservando tali diagrammi si nota che la distribuzione delle precipitazioni confrontata con le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP), riflette le caratteristiche di un evento di lunga durata in cui i tempi di ritorno aumentano con le durate.

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.



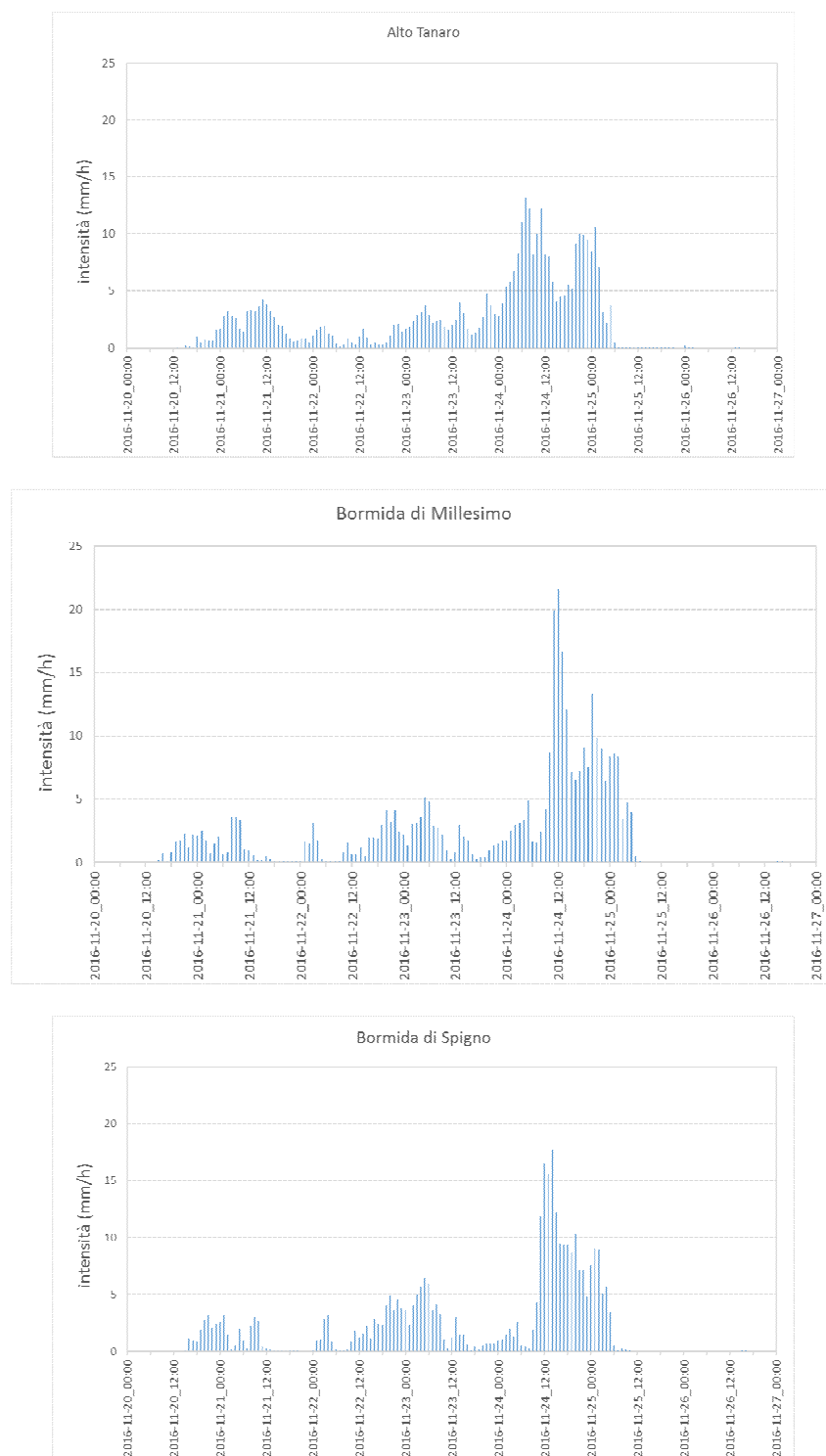


Figura 34. Ietogrammi medi per alcuni i bacini.

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).

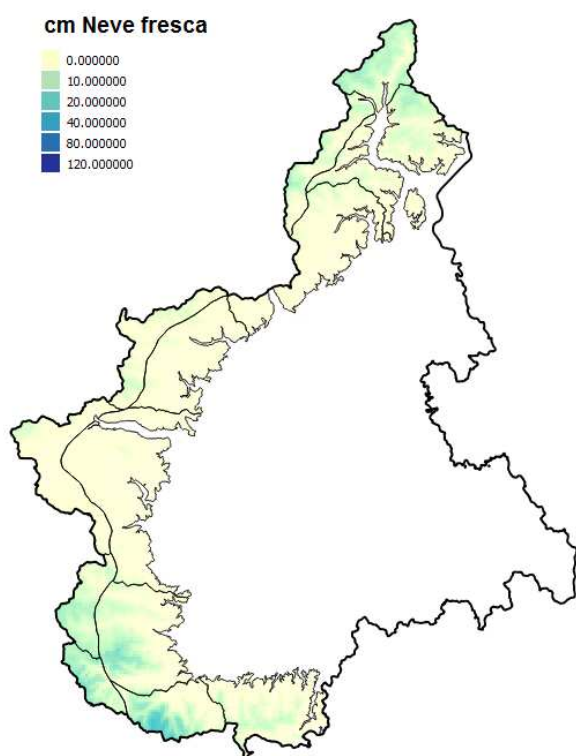


Figura 35. Neve fresca registrata il 21 novembre

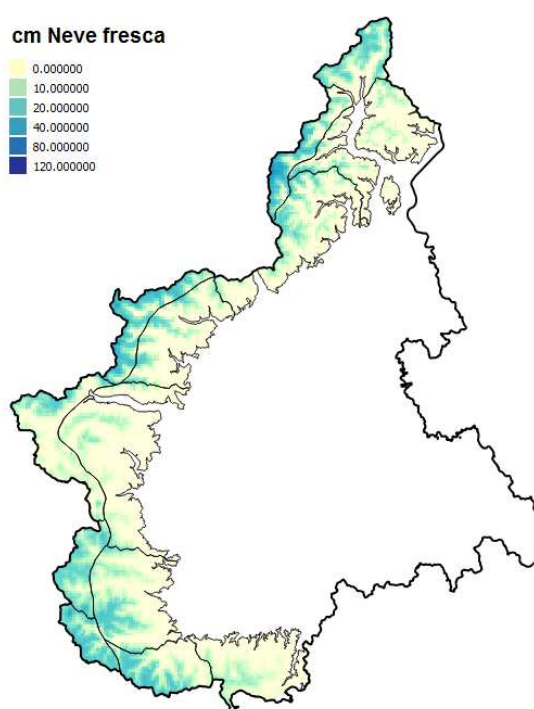


Figura 36. Neve fresca registrata il 22 novembre

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).

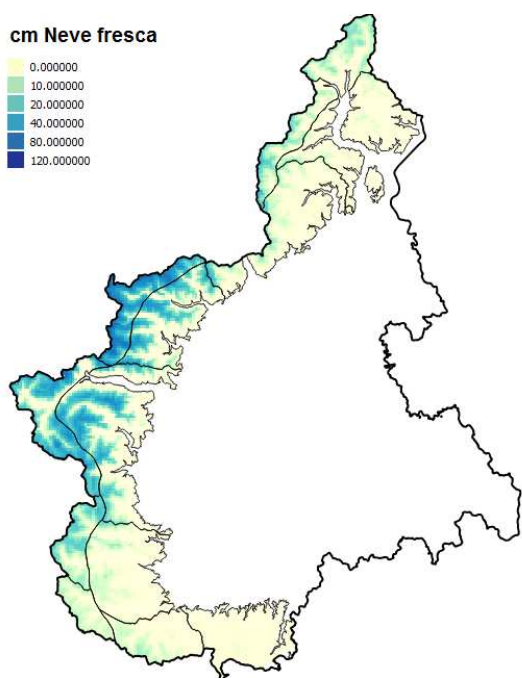


Figura 37. Neve fresca registrata il 23 novembre

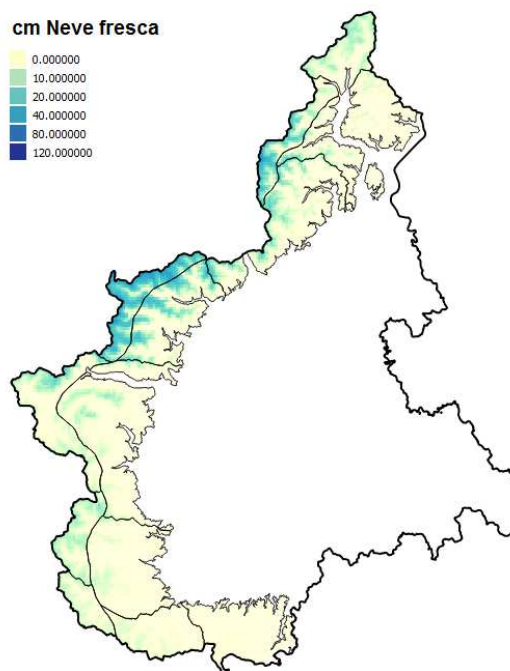


Figura 38. Neve fresca registrata il 24 novembre

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).

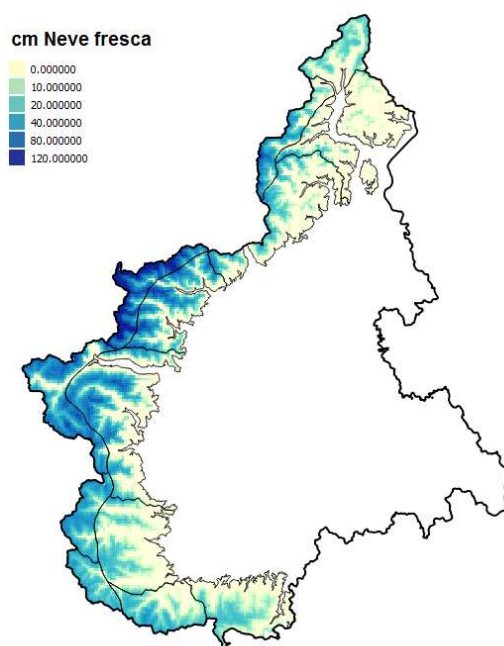


Figura 39. Neve fresca registrata il 25 novembre

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).

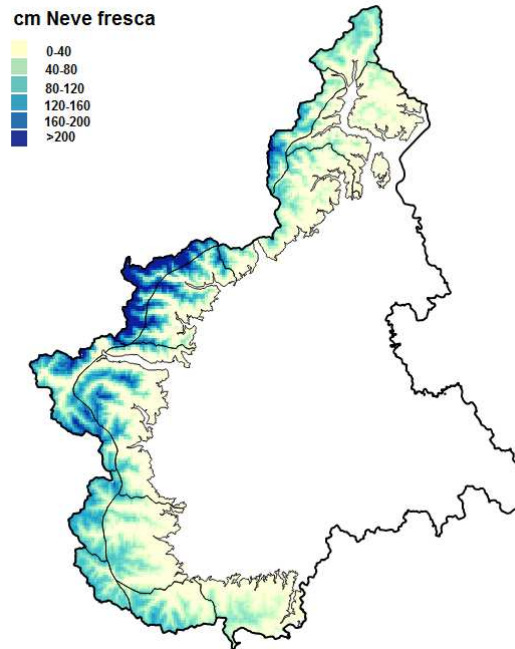


Figura 40. Neve fresca cumulata dal 21 al 25 novembre

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.

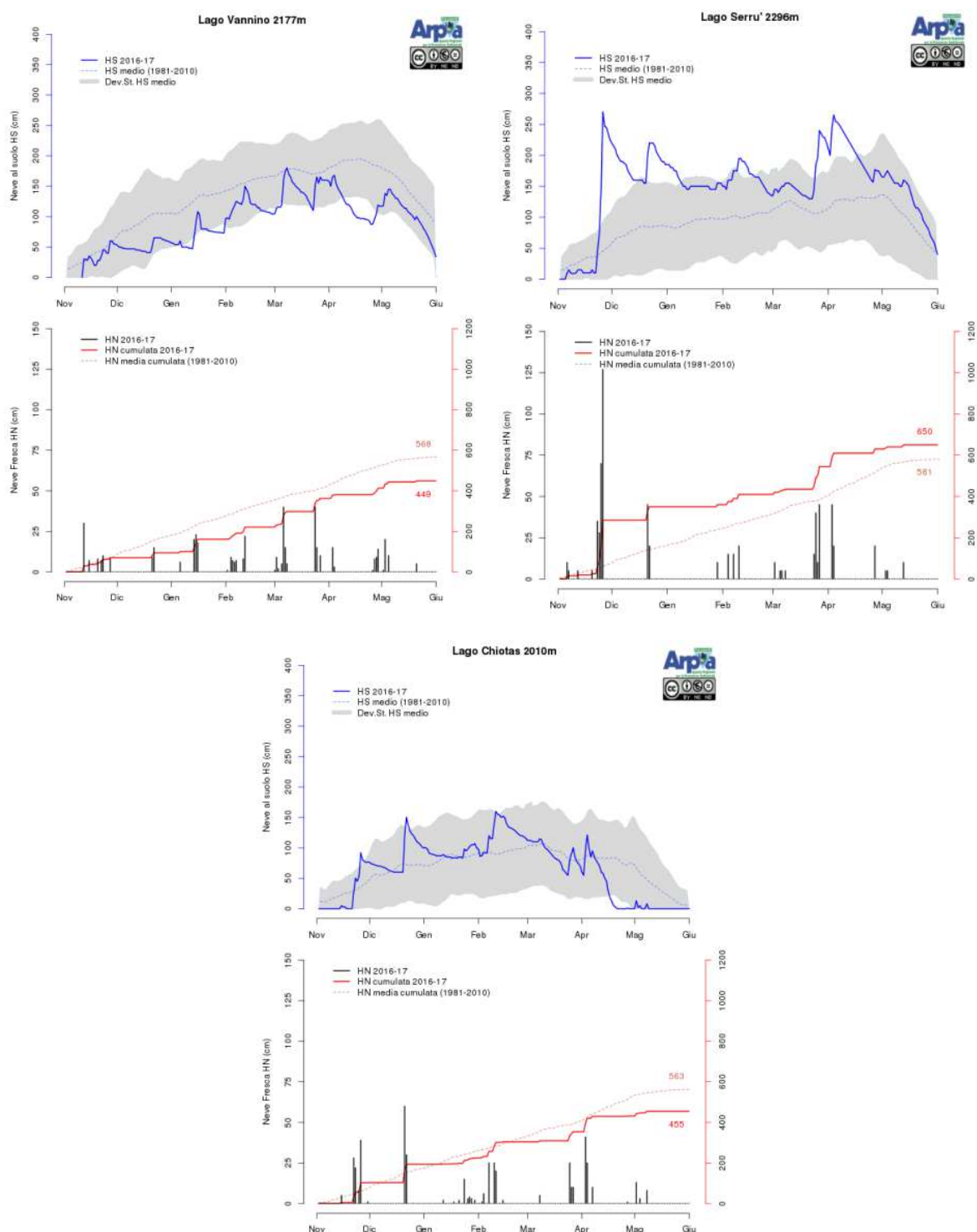


Figura 41. Confronto tra neve al suolo, neve fresca e valori storici, in ordine orario da in alto Diga Vannino – Formazza, Lago Serrù – Ceresole Reale, Diga Chiotas – Entracque

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.

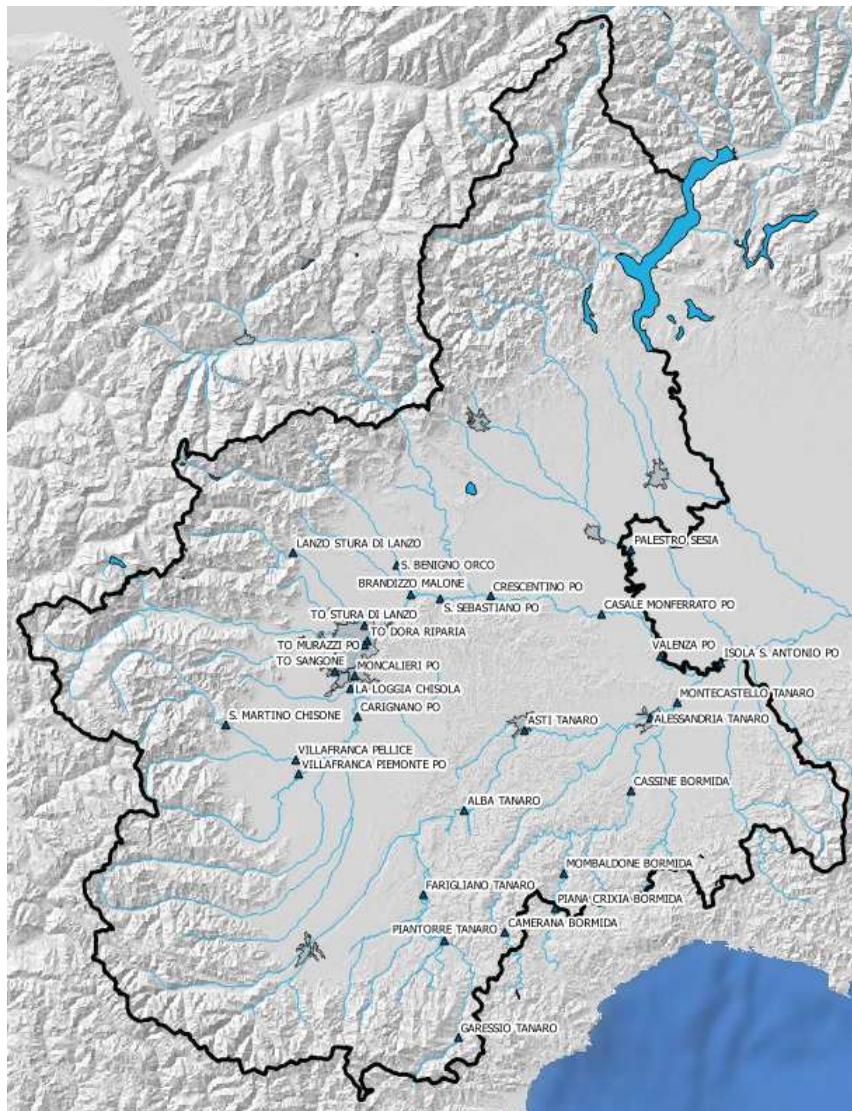


Figura 42. Ubicazione delle stazioni idrometriche più significative

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).

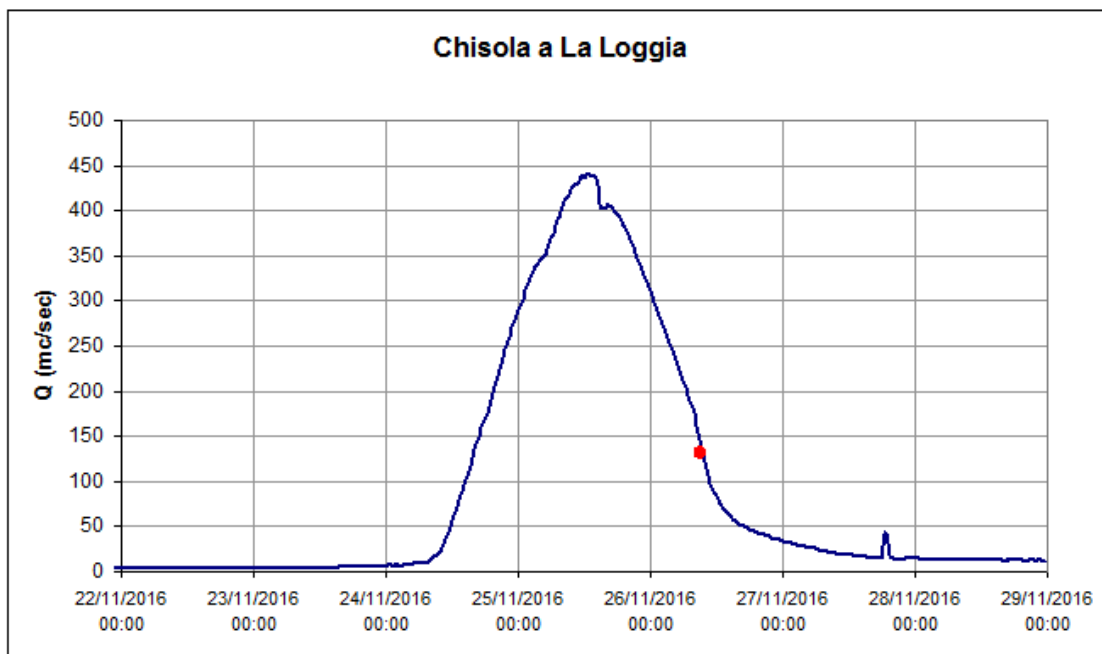


Figura 44. Idrogramma di piena del Chisola a La Loggia (TO) e misura diretta di portata in rosso

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.

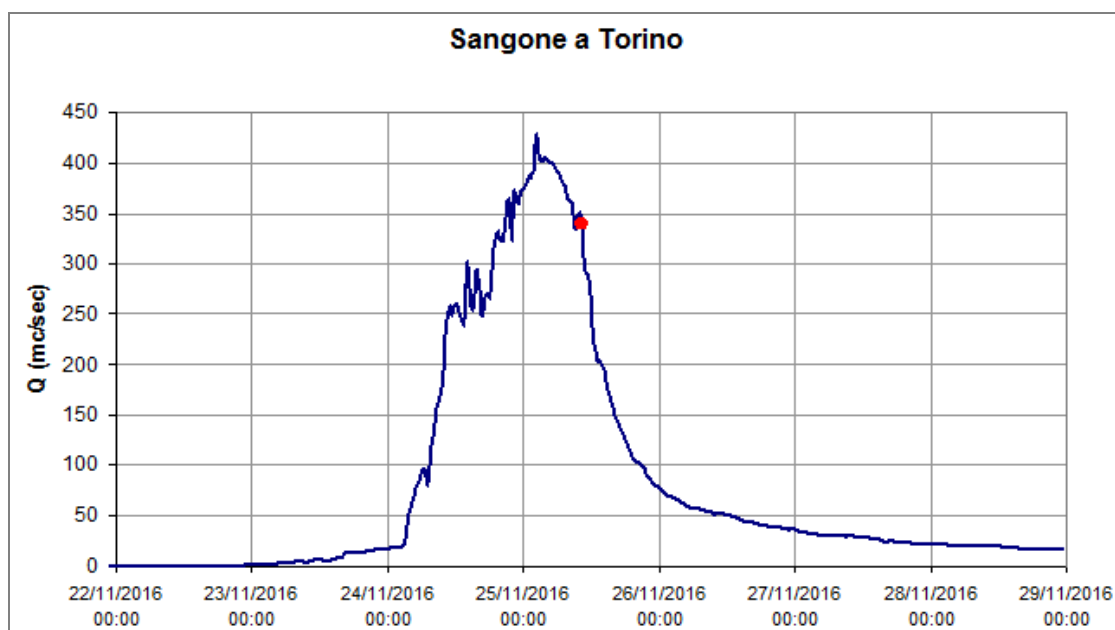


Figura 45. Idrogramma del Sangone a Torino e misura diretta di portata in rosso

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.

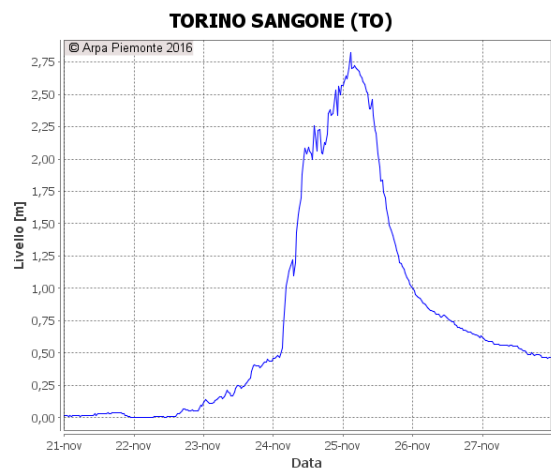
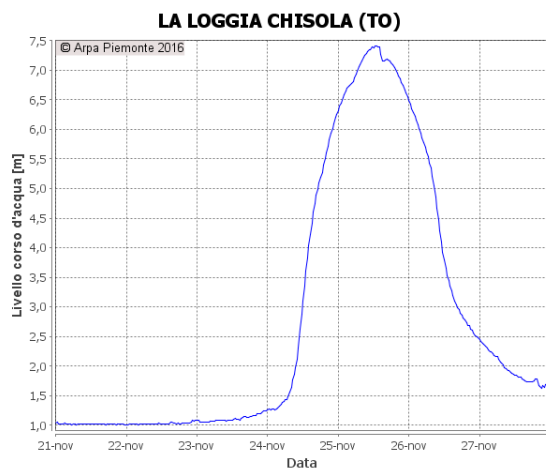
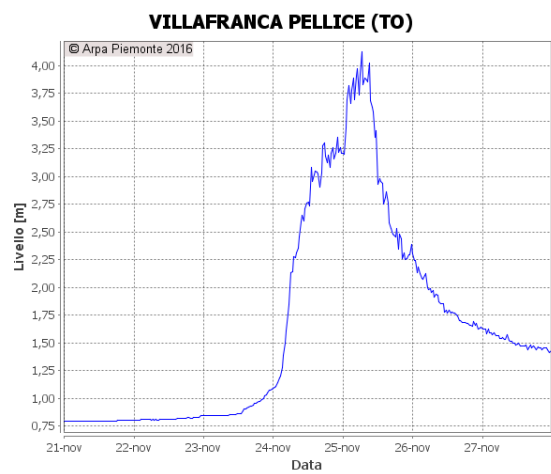
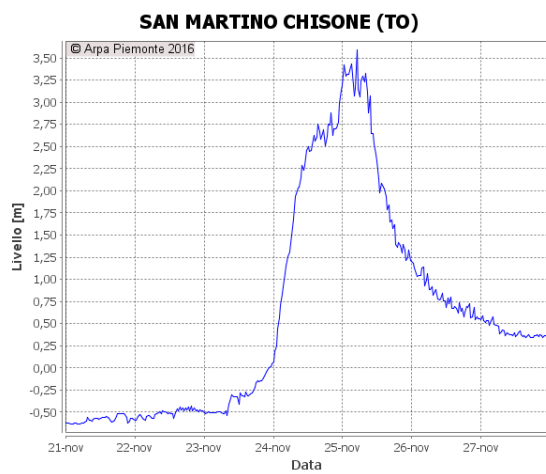
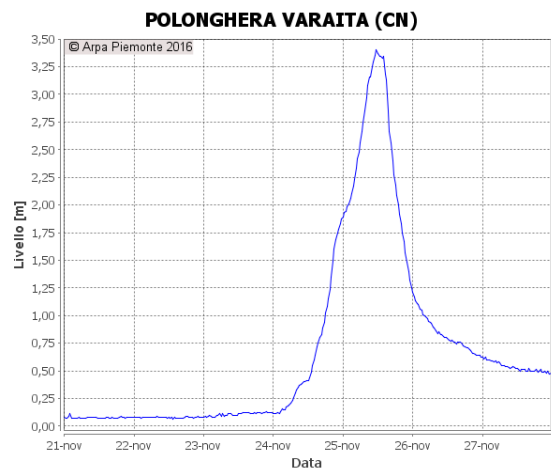
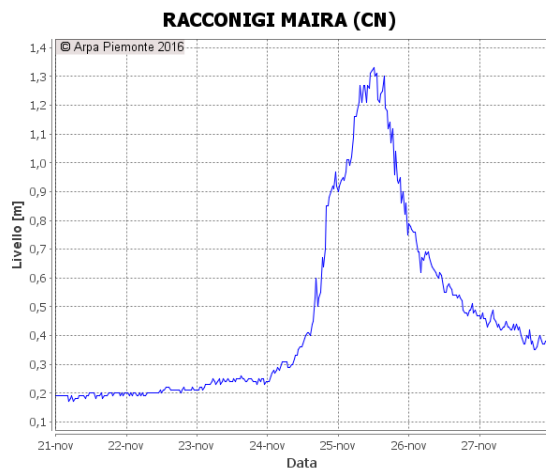
La portata al colmo della Bormida ad Alessandria può essere stimata intorno a 2000 – 2100 mc/s, in base alla traslazione dell'onda principale a partire dal colmo di Cassine, parzialmente laminato e integrato dal contributo dell'Orba (ritardato rispetto al transito dell'onda della Bormida, in modo da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

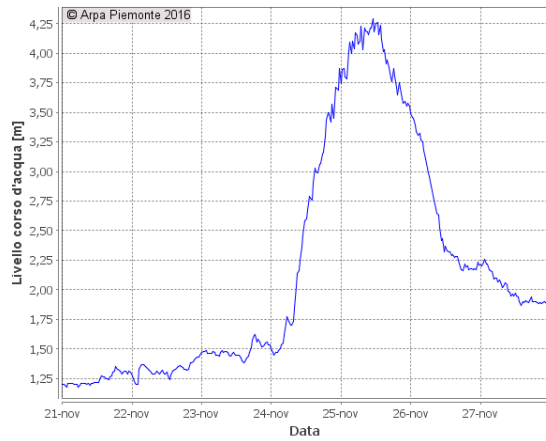
Tabella 4. Colmi e massimi incrementi di livello [m] registrati durante l'evento per le stazioni più significative

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

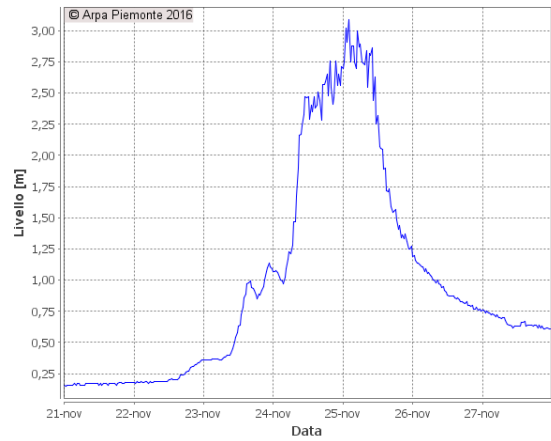
Nella Figura 46 si riportano gli idrogrammi di livello delle stazioni che hanno registrato i colmi più significativi.



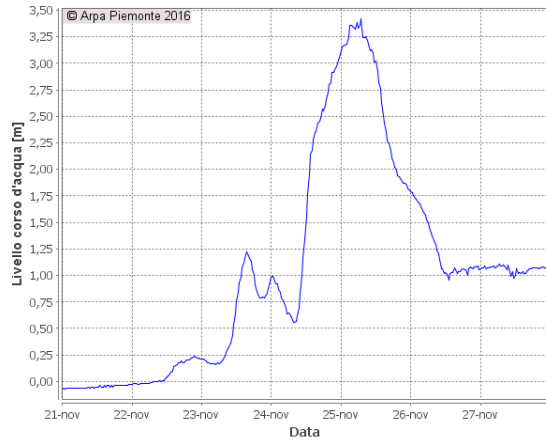
TORINO DORA RIPARIA (TO)



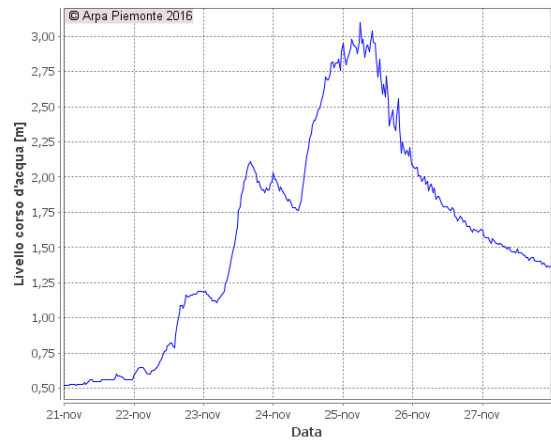
TORINO STURA DI LANZO (TO)



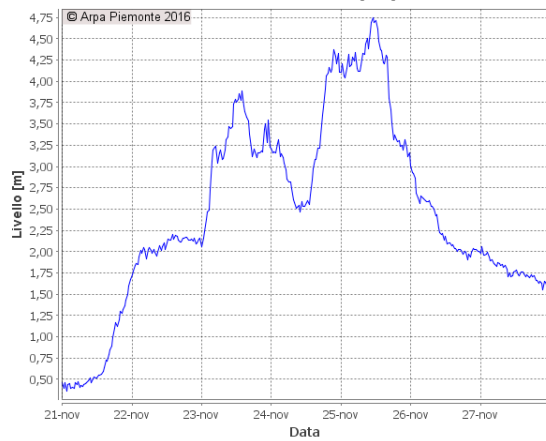
BRANDIZZO MALONE (TO)



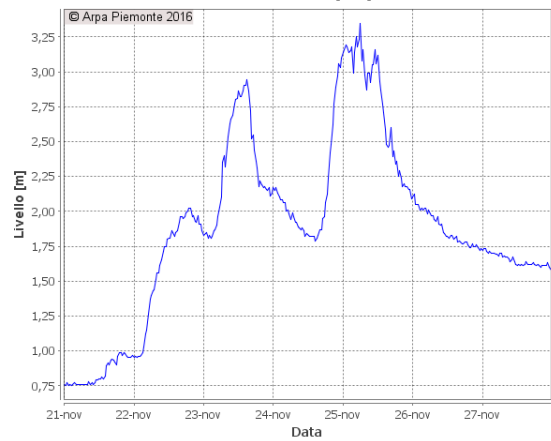
SAN BENIGNO ORCO (TO)



BORGESIA SESIA (VC)



CARISIO ELVO (VC)



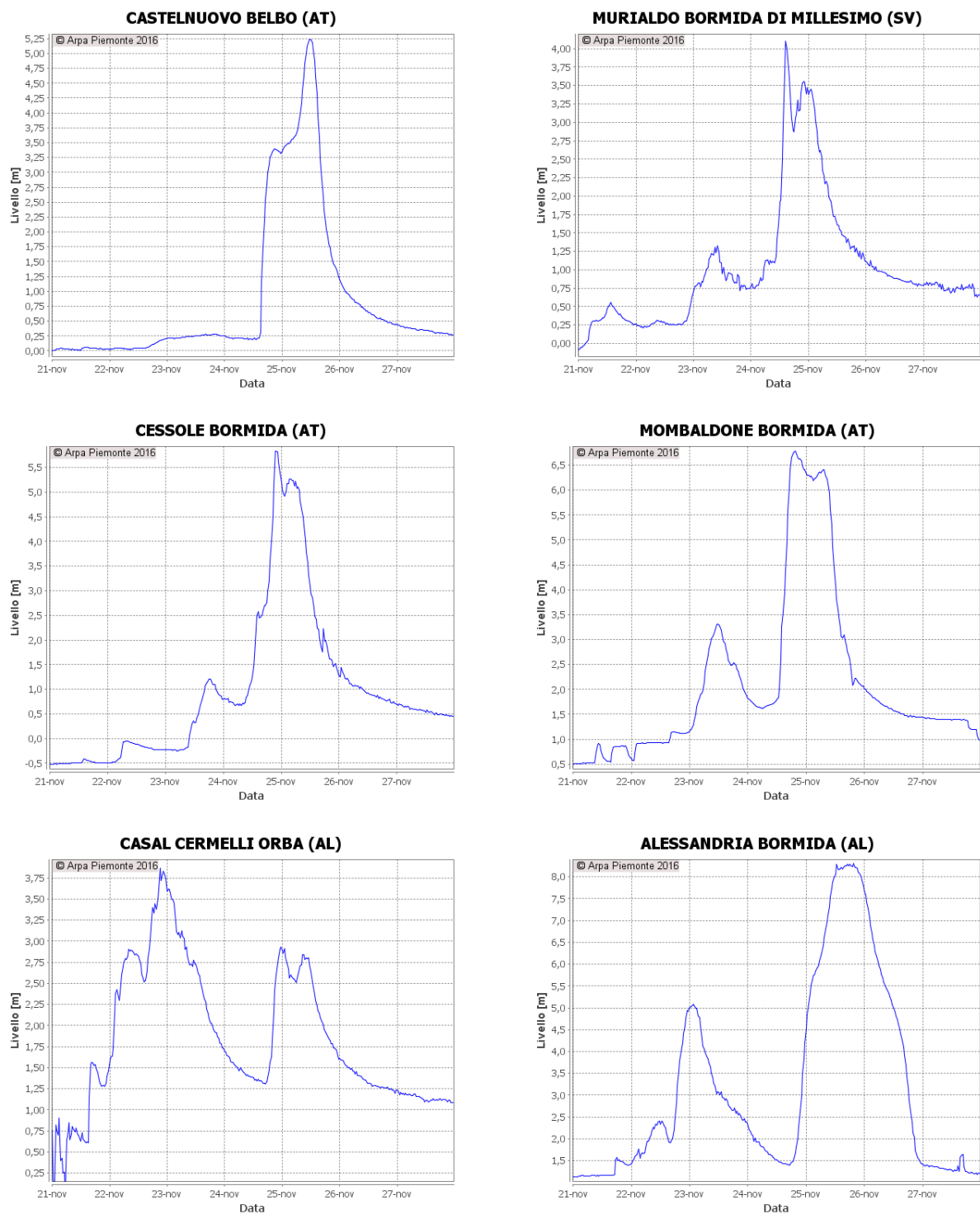


Figura 46. Idrogrammi delle stazioni idrometriche che hanno registrato i colmi più significativi

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).

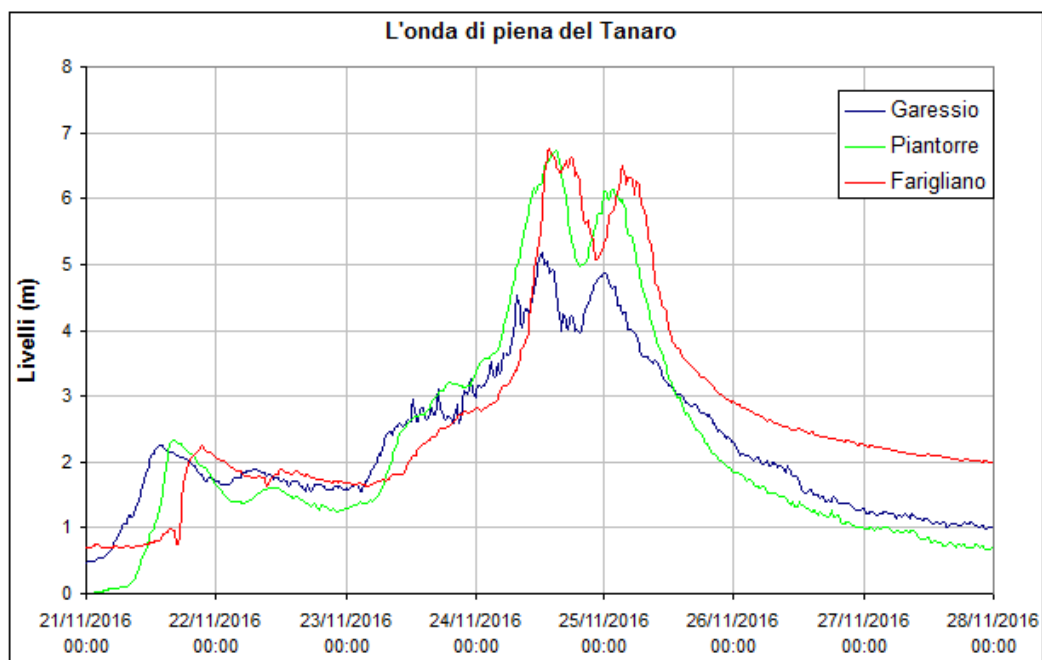


Figura 47. Traslazione della piena del Tanaro da Garessio (CN) a Farigliano (CN)

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).

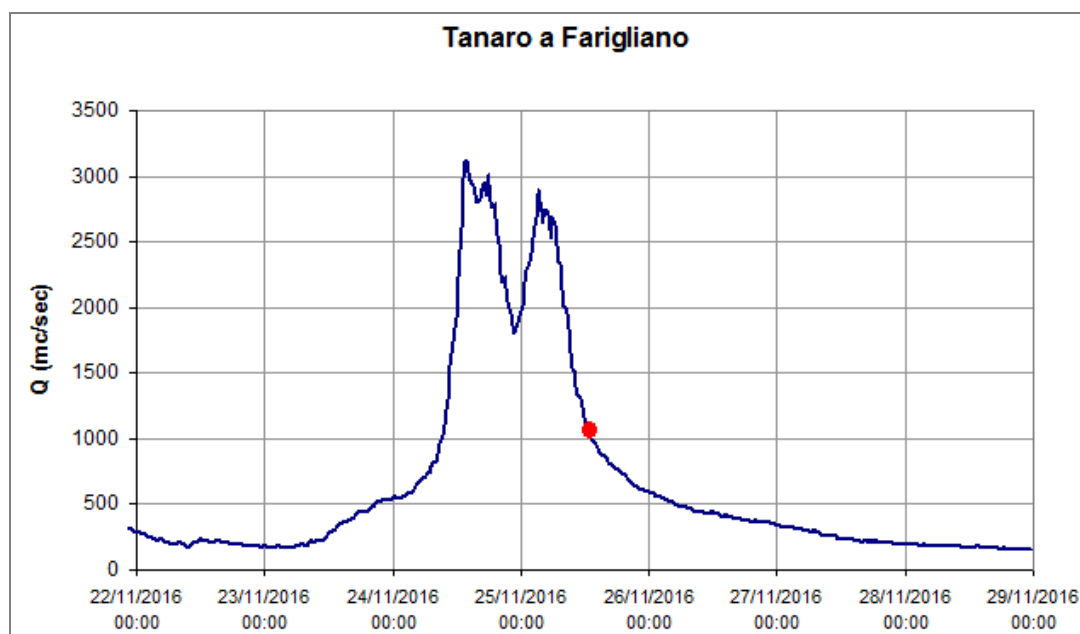


Figura 48. Idrogramma del Tanaro a Farigliano (CN) e misura diretta di portata in rosso

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.

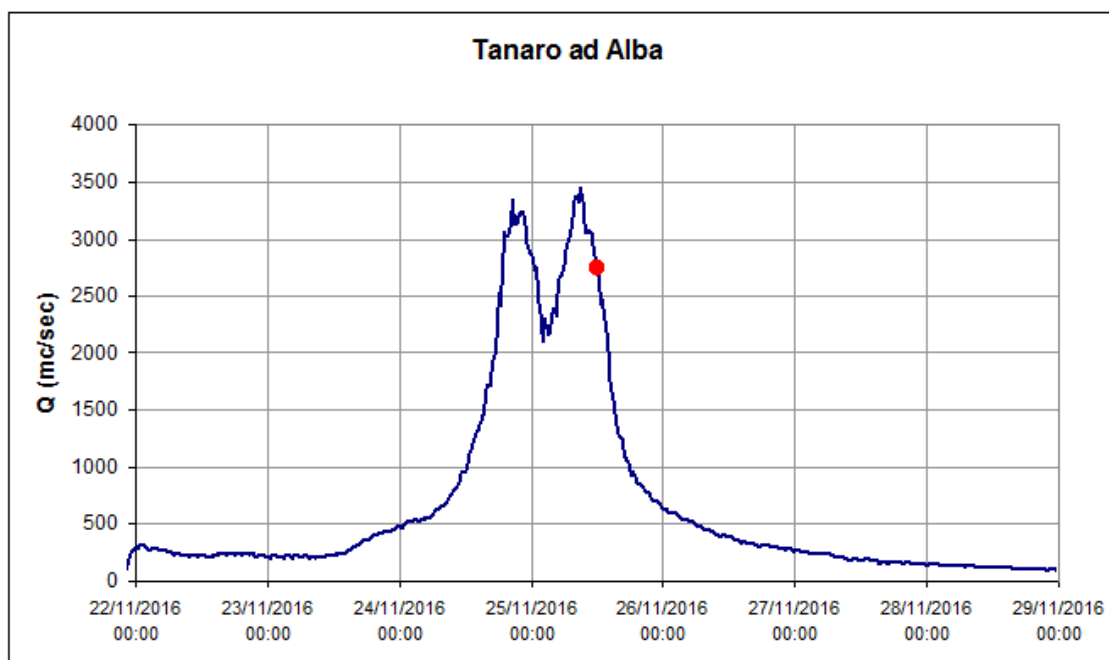


Figura 49. Idrogramma del Tanaro ad Alba (CN) e misura diretta di portata in rosso

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.

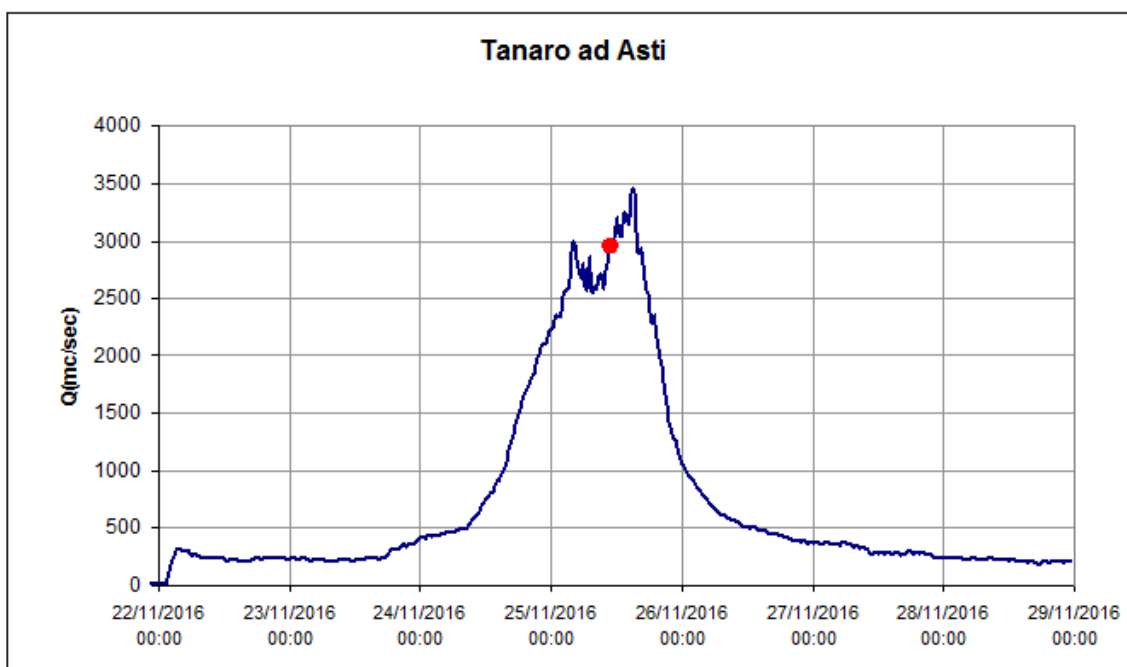


Figura 50 Idrogramma del Tanaro ad Asti e misura diretta di portata in rosso

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 mc/sec (Figura 51).

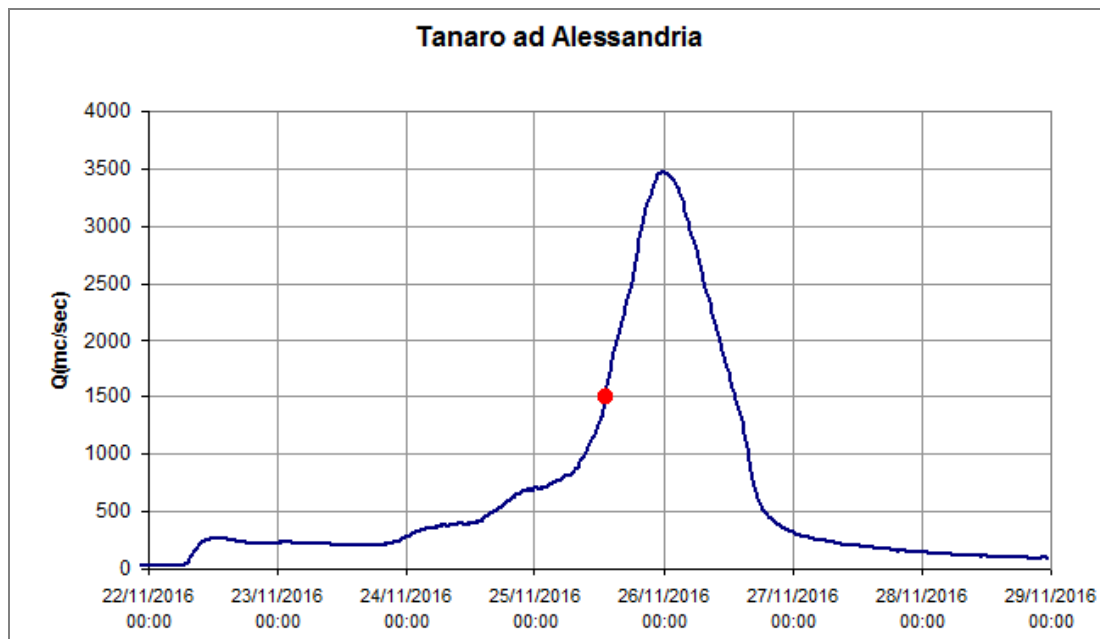


Figura 51. Idrogramma del Tanaro ad Alessandria e misura diretta di portata in rosso

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).

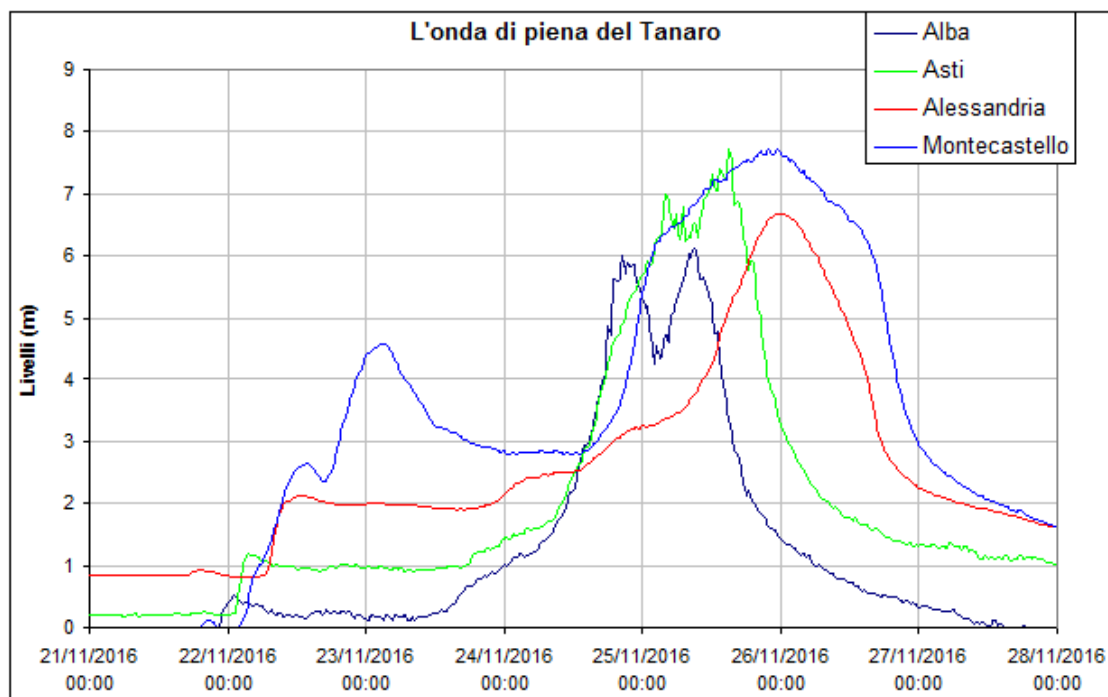


Figura 52. Traslazione della piena del Tanaro da Alba (CN) a Montecastello (AL)

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.

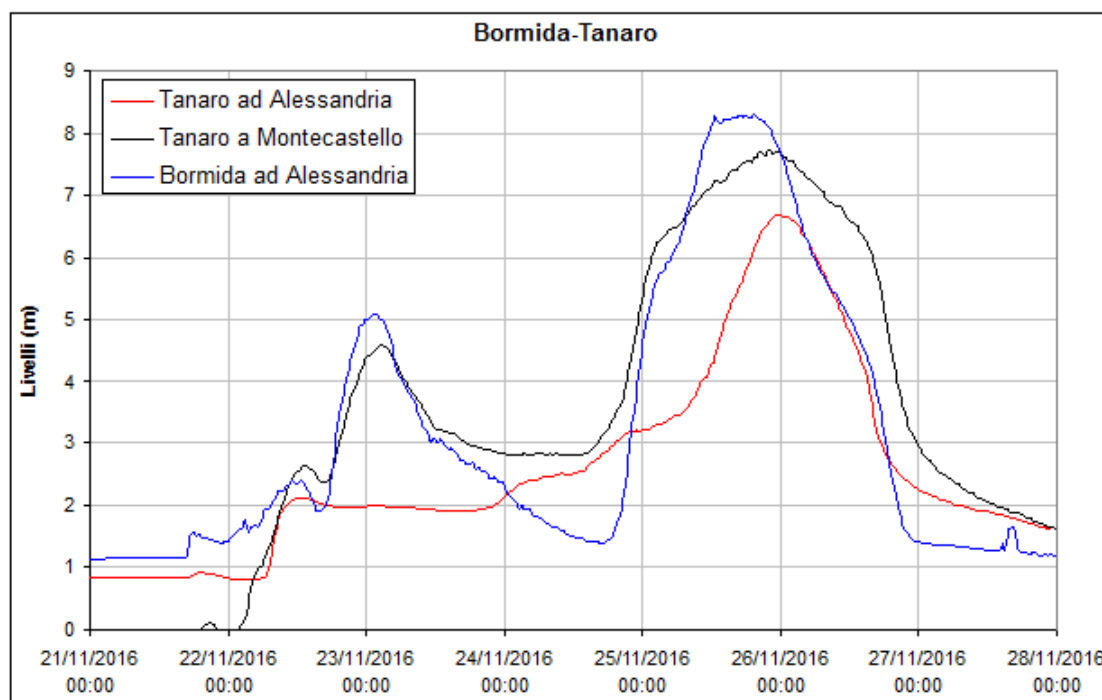


Figura 53. Idrogrammi di Tanaro e Bormida alla confluenza

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).

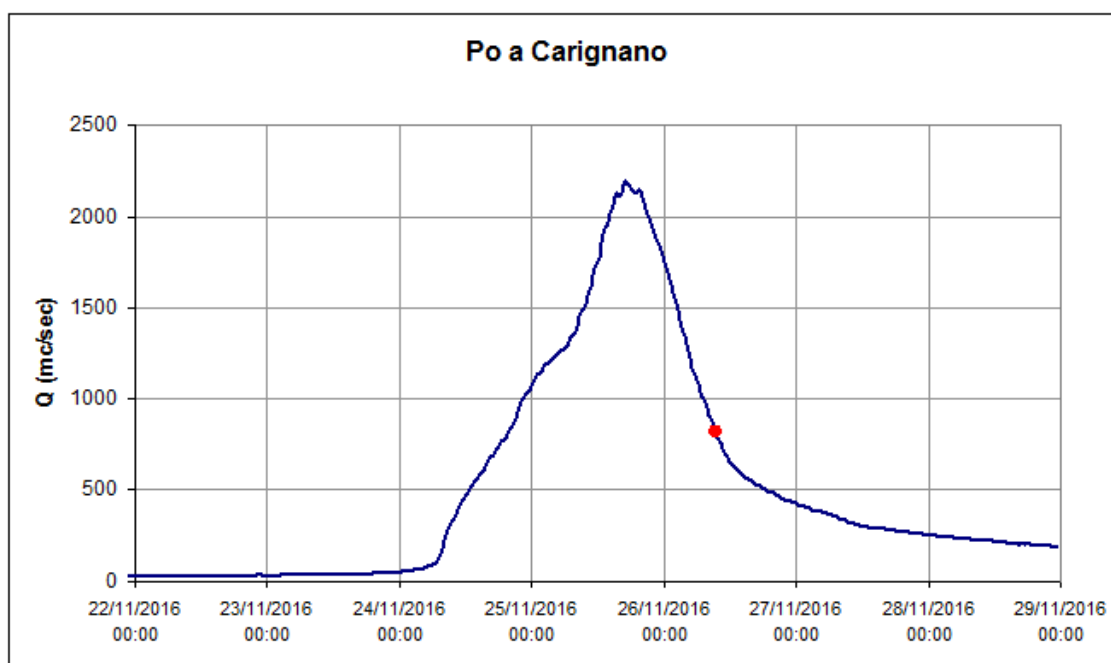


Figura 54 Idrogramma di Carignano (TO) e misura diretta di portata in rosso

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.

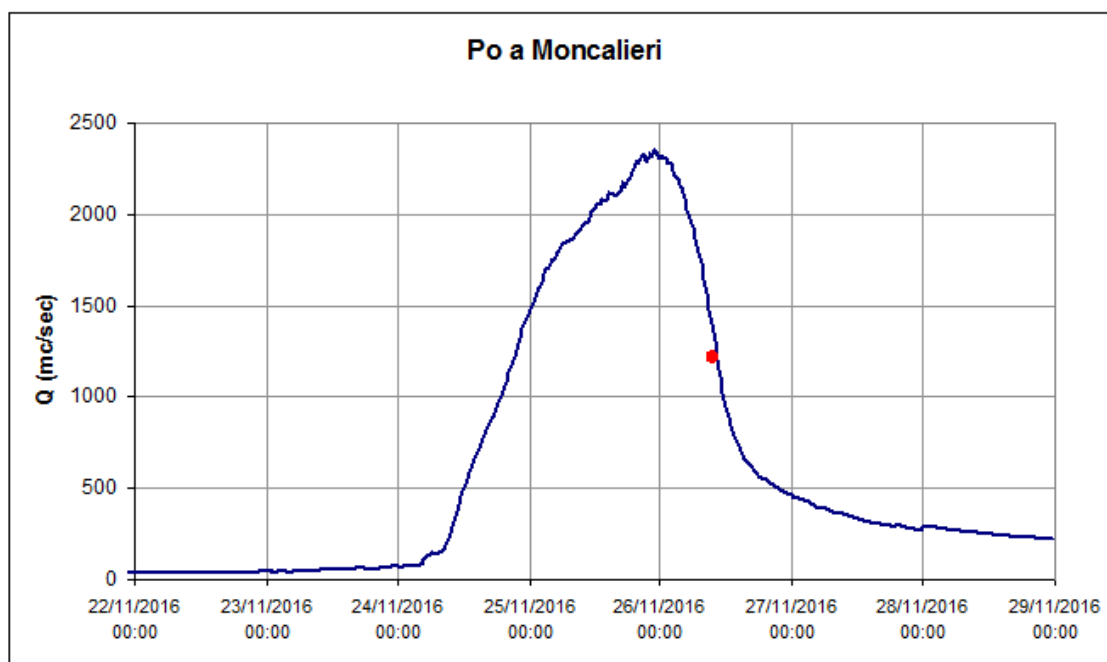


Figura 55. Idrogramma del Po a Moncalieri (TO) e misura diretta di portata in rosso

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.

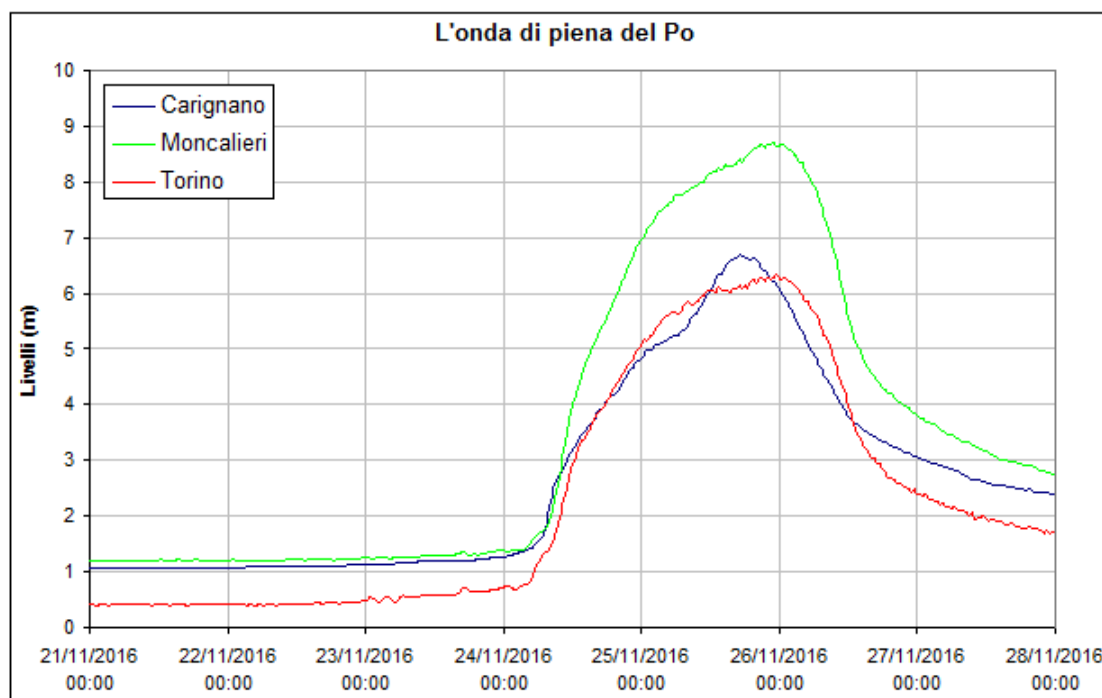


Figura 56. Traslazione della piena di Po fino a Torino

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).

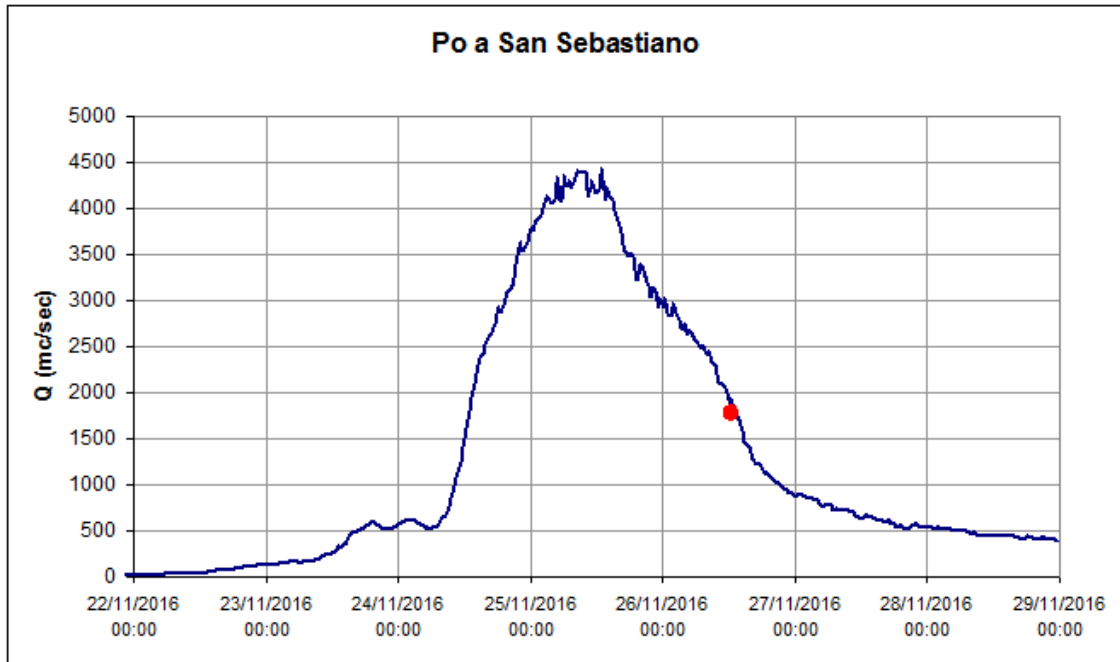


Figura 57. Idrogramma del Po a San Sebastiano (TO) e misura di portata diretta in rosso

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).

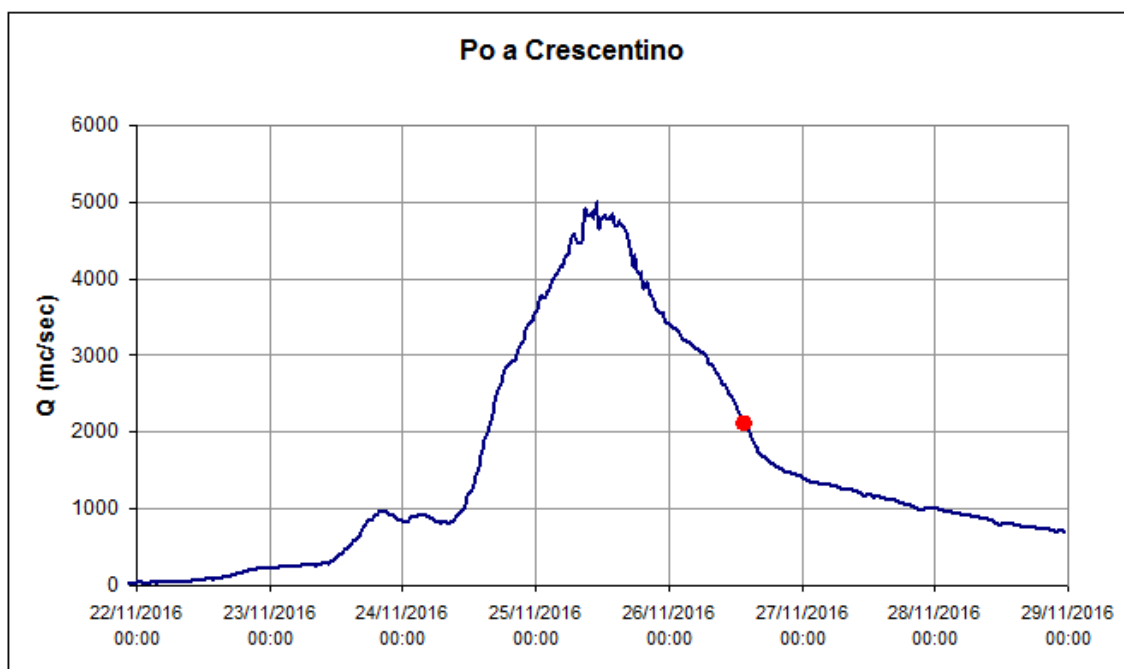


Figura 58. Idrogramma del Po a Crescentino e misura diretta di portata in rosso

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).

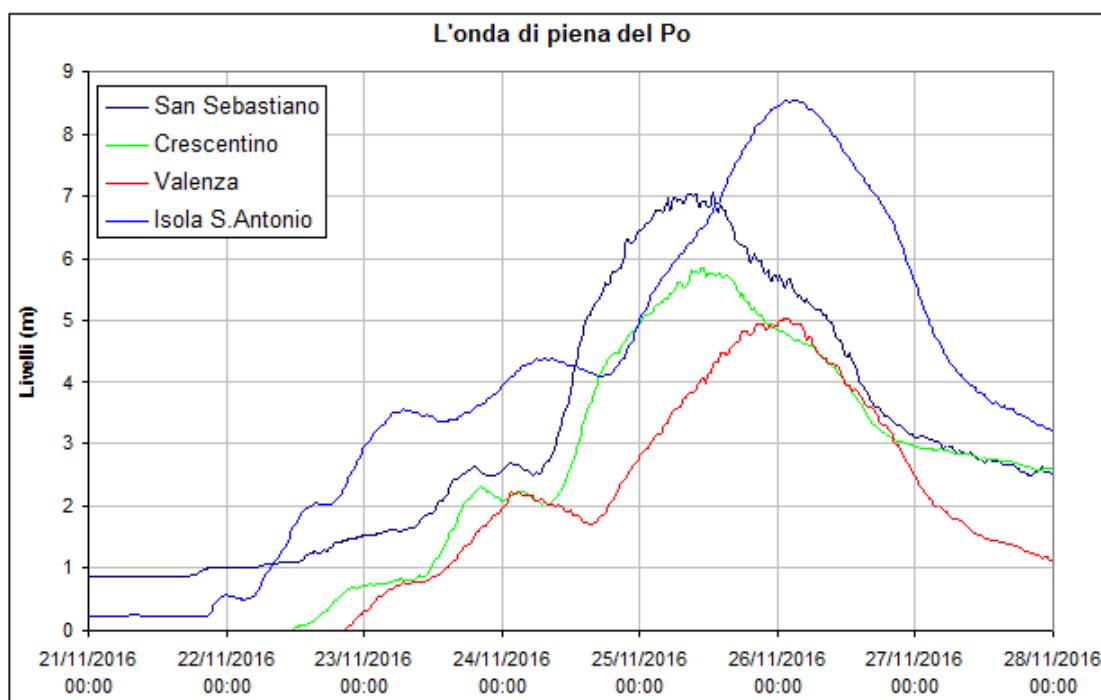


Figura 59. Traslazione della piena del Po a valle di Torino, fino Isola S. Antonio (AL)

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 ⁽¹⁾	5900 ⁽¹⁾	6600 ⁽¹⁾
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 ⁽²⁾	-	-	-
TANARO	Bormida di Millesimo a Camerana	940	200 ⁽²⁾	-	-	-
TANARO	Bormida di Millesimo a Cessole	1160	500 ⁽²⁾	-	-	-
TANARO	Bormida di Spigno a Piana Crixia	740	20-200 ⁽²⁾	-	-	-
TANARO	Bormida di Spigno a Mombaldone	1010	20-200 ⁽²⁾	-	-	-
TANARO	Bormida a Cassine	2110	20-200	2010	3020	3400
TANARO	Tanaro a Garessio	830	200-500 ⁽²⁾	-	-	-
TANARO	Tanaro a Piantorre	1430	200 ⁽²⁾	-	-	-
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	-

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

⁽²⁾ 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 verificatisi 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.

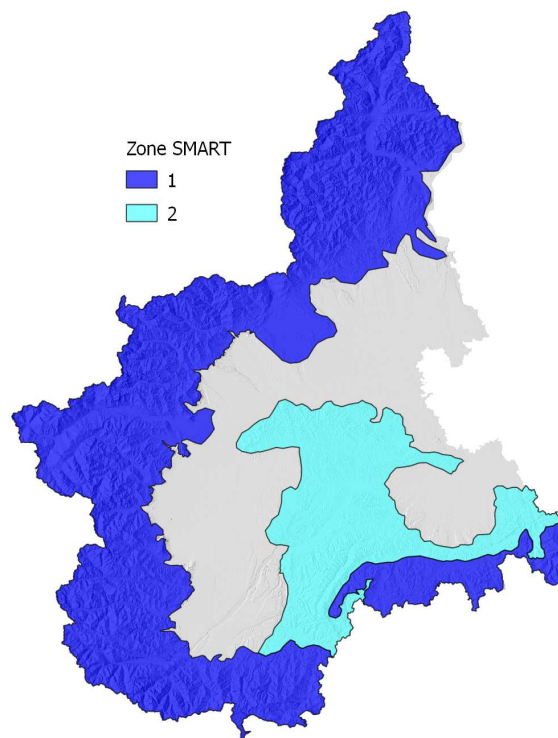


Figura 60. Zone a comportamento omogeneo nel modello SMART. Zona SMART 1: aree alpine e appenniniche caratterizzate da substrati metamorfici; Zona SMART 2: aree collinari caratterizzate da substrati sedimentari

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 km²); (iii) criticità elevata (inneschi diffusi di frane superficiali, equivalente ad un numero superiore a 10 frane per km²).

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.

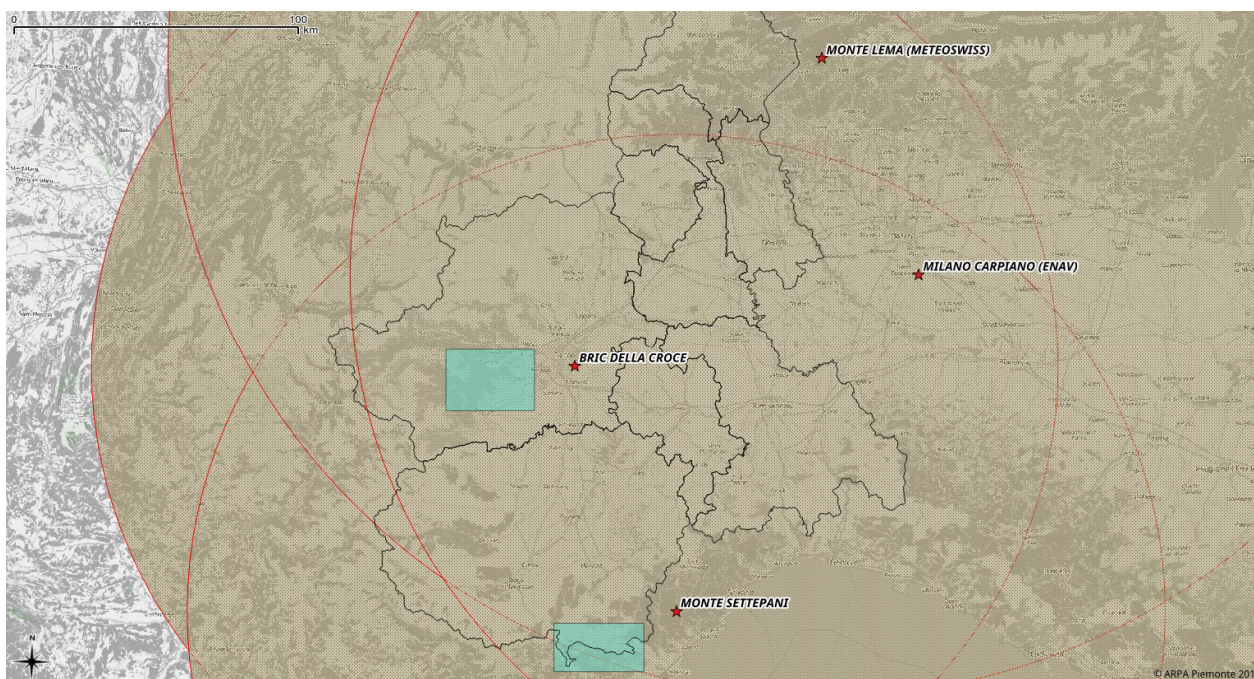


Figura 61. Copertura radar meteorologica del Pellice-Chisone e dell'Alto Tanaro

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).

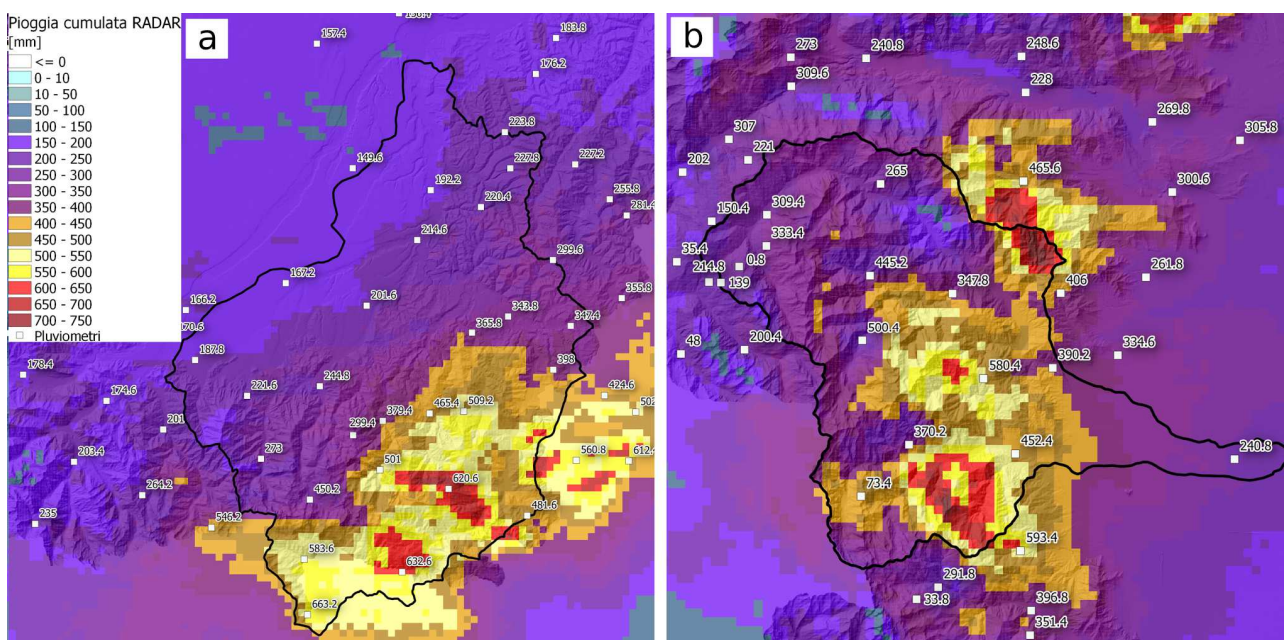


Figura 62. Pioggia cumulata dal 21 al 26 novembre 2016 stimata da radar nel bacino dell'alto Tanaro a); nel bacino del Pellice-Chisone b). I numeri relativi ai pluviometri della rete meteoidrografica di ARPA Piemonte, indicano il valore di cumulata di pioggia totale da questi registrata

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.

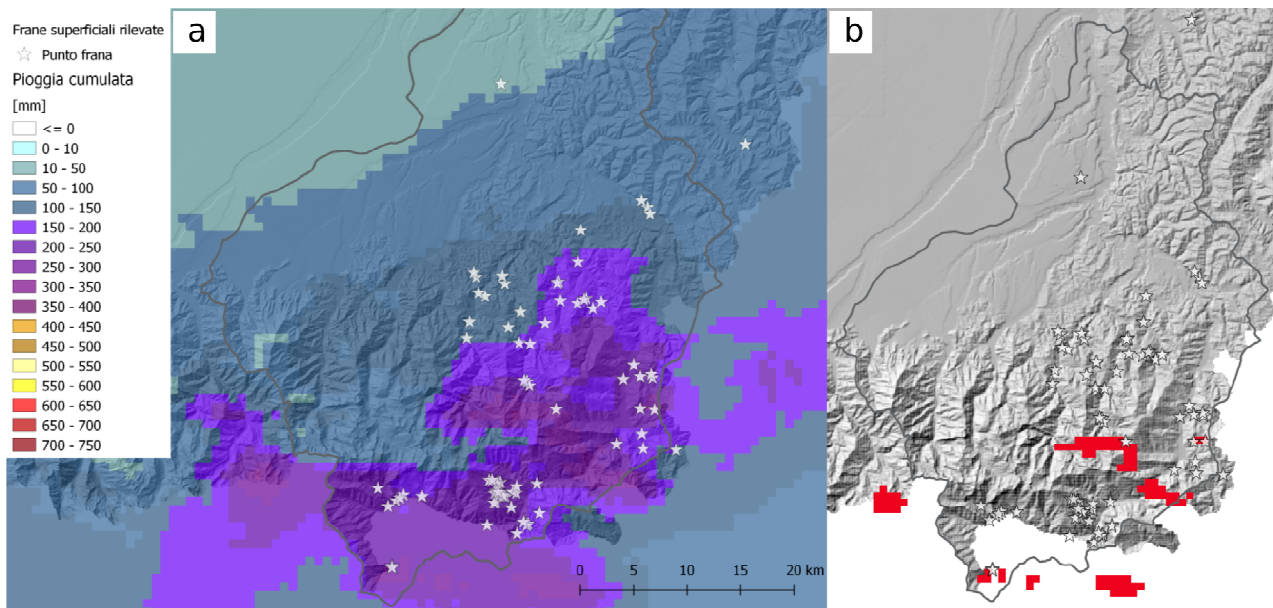


Figura 63. a) Pioggia cumulata da inizio evento alle ore 21:00 UTC del 23 novembre stimata da radar nel bacino dell'alto Tanaro. b) In rosso le aree che hanno registrato valori di pioggia cumulata superiori ai valori soglia di innesco per le frane superficiali (piogge critiche). I simboli a stella bianchi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

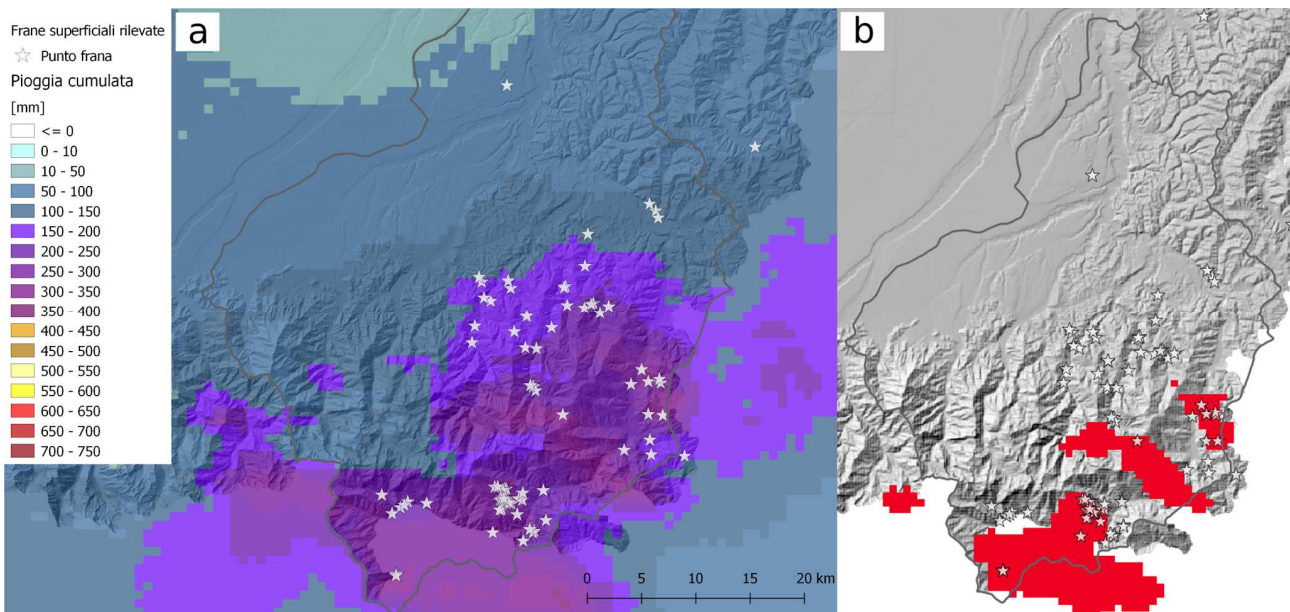


Figura 64. a) Pioggia cumulata da inizio evento alle ore 23:00 UTC del 24 novembre stimata da radar nel bacino dell'alto Tanaro. b) In rosso le aree che hanno registrato valori di pioggia cumulata superiori ai valori soglia di innesco per le frane superficiali (piogge critiche). I simboli a stella bianchi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

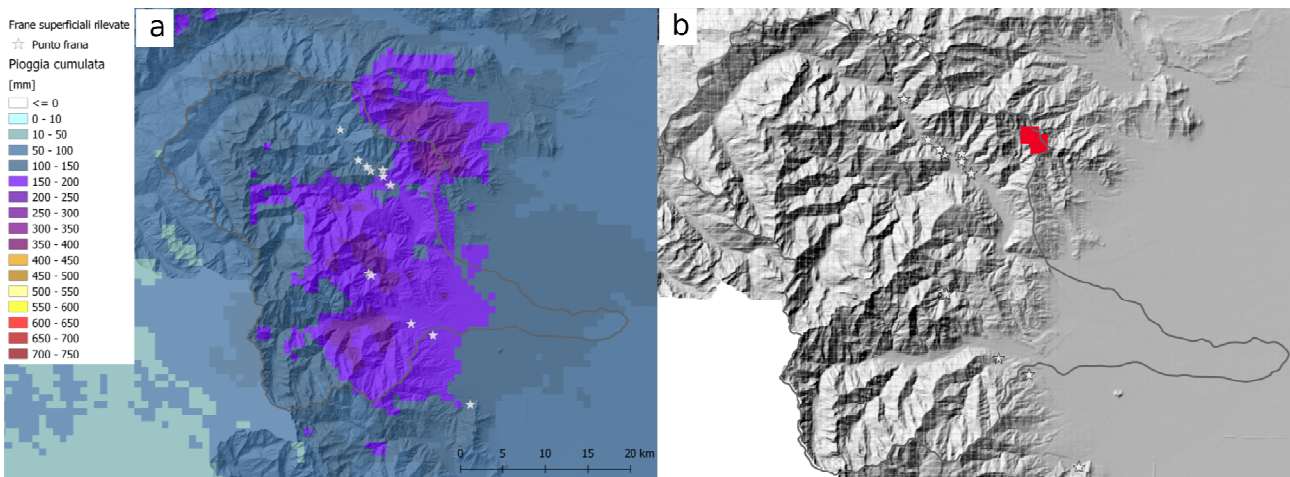


Figura 65 a) Pioggia cumulata da inizio evento alle ore 08:00 UTC del 24 novembre stimata da radar nei bacini del Pellice e Chisone. b) In rosso le aree che hanno registrato valori di pioggia cumulata superiori ai valori soglia di innesco per le frane superficiali (piogge critiche). I simboli a stella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

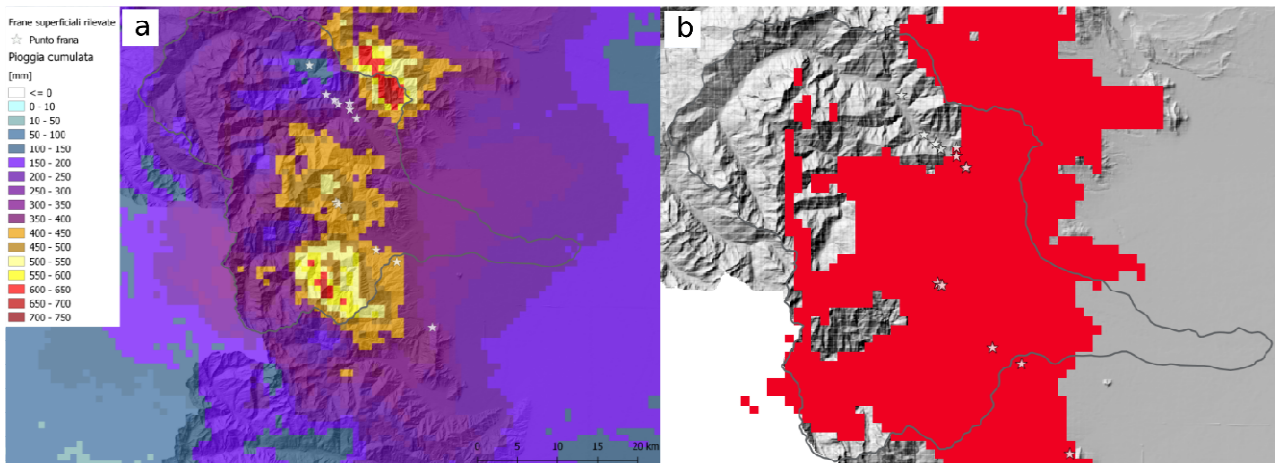


Figura 66. a) Pioggia cumulata da inizio evento alle ore 15:00 UTC del 24 novembre stimata da radar nei bacini del Pellice e Chisone. b) In rosso le aree che hanno registrato valori di pioggia cumulata superiori ai valori soglia di innesco per le frane superficiali (piogge critiche). I simboli a stella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

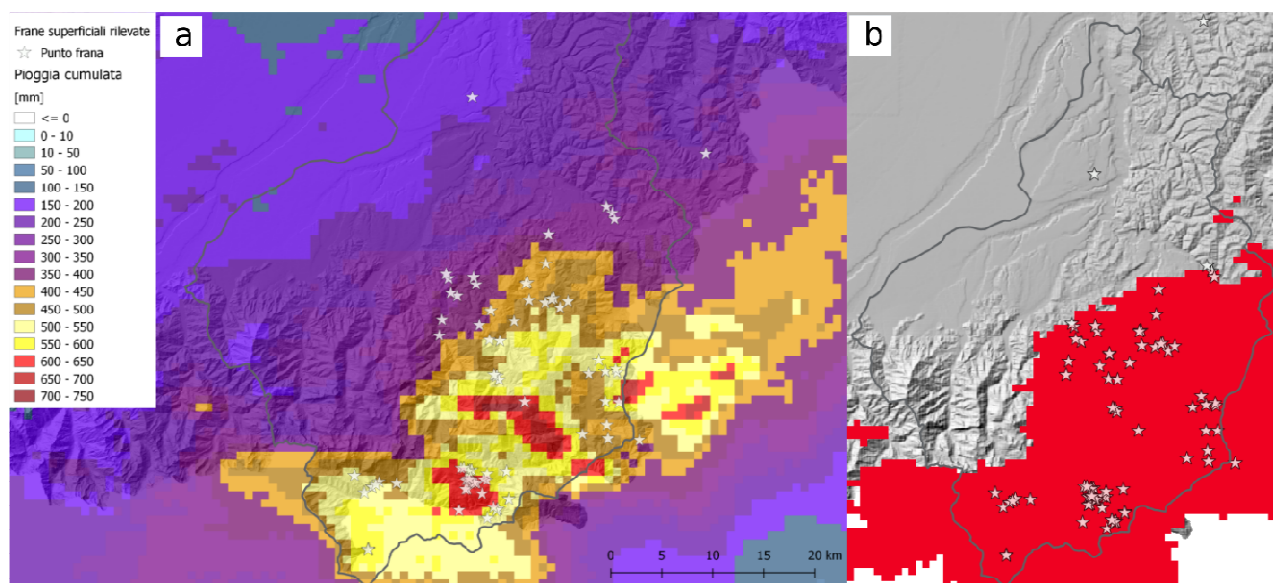


Figura 67. a) Pioggia cumulata da inizio evento alle ore 15:00 UTC del 24 novembre stimata da radar nel bacino dell'alto Tanaro. b) In rosso le aree che hanno registrato valori di pioggia cumulata superiori ai valori soglia di innesco per le frane superficiali (piogge critiche). I simboli a stella bianchi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

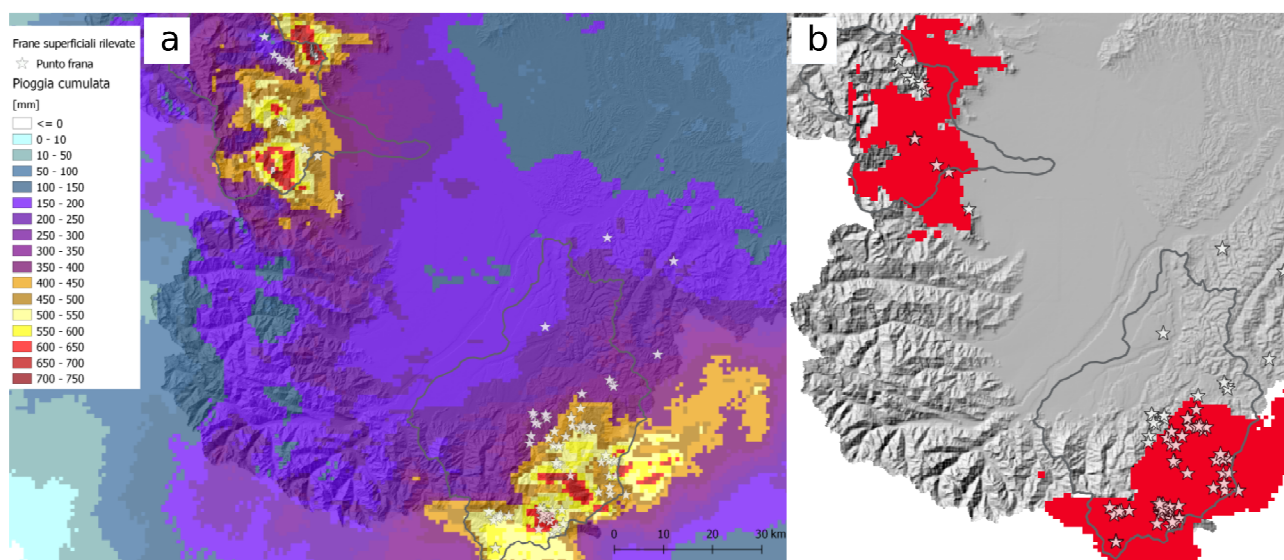


Figura 68. a) Pioggia cumulata da inizio a fine evento stimata da radar nei bacini dell'alto Tanaro, del Pellice e del Chisone. b) In rosso le aree che hanno registrato valori di pioggia cumulata superiori ai valori soglia di innesco per le frane superficiali (piogge critiche). I simboli a stella bianchi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

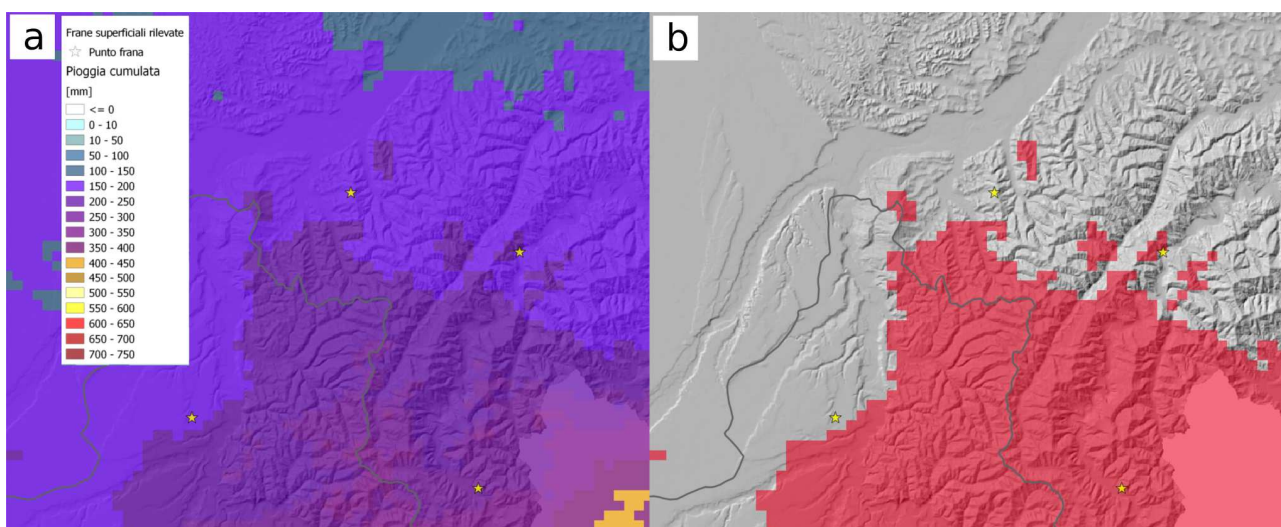


Figura 69. a) Pioggia cumulata da inizio evento alle ore 06:00 UTC del 25 novembre stimata da radar nelle aree collinari della Langa. b) In rosso le aree che hanno registrato valori di pioggia cumulata superiori ai valori soglia di innesco per le frane superficiali (piogge critiche). I simboli a stella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

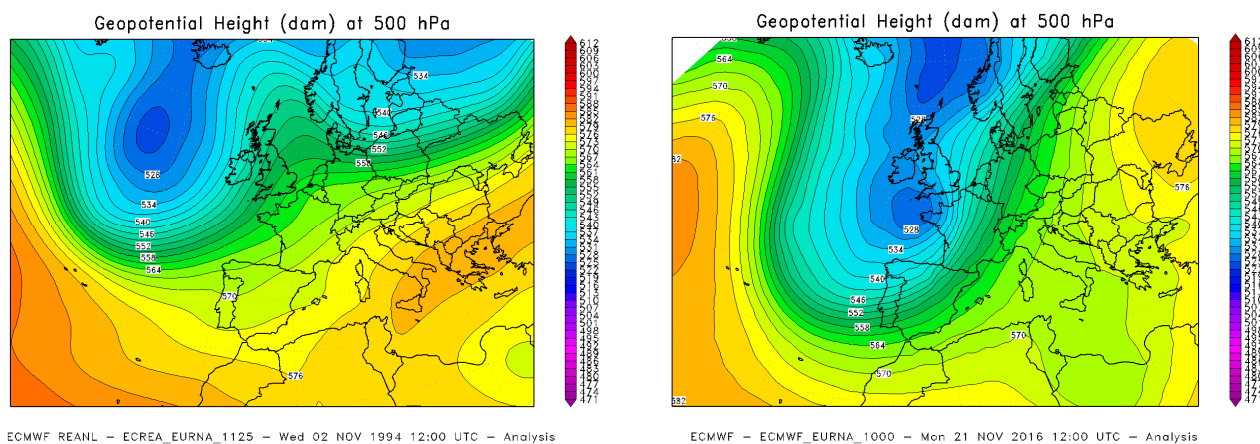


Figura 70. Altezza di geopotenziale a 500 hPa relativa alle ore 12:00 UTC del 2 novembre 1994 (a sn) e del 21 novembre 2016 (a dx)

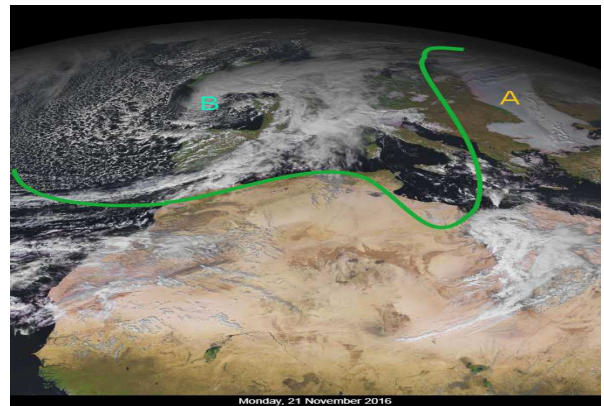
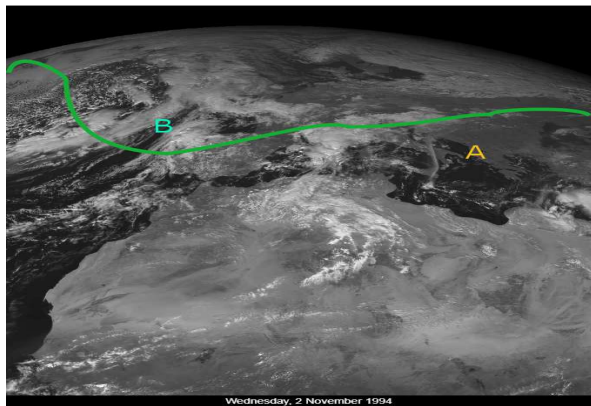


Figura 71. Immagini satellitari relative alle ore 12:00 UTC del 2 novembre 1994 (a sn) e del 21 novembre 2016 (a dx). La linea verde indica l'isoipsa 5700m di altezza di geopotenziale a 500hPa

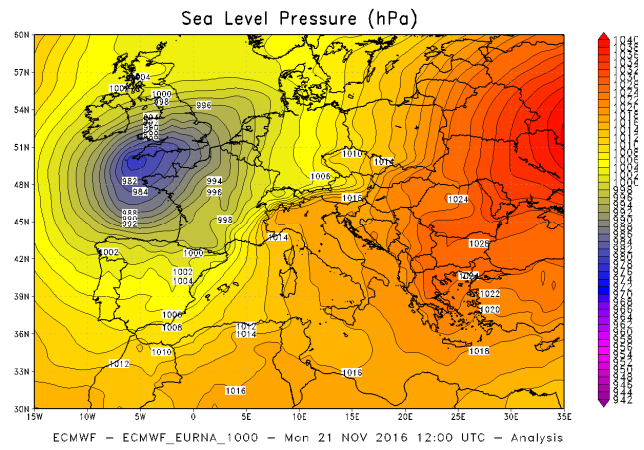
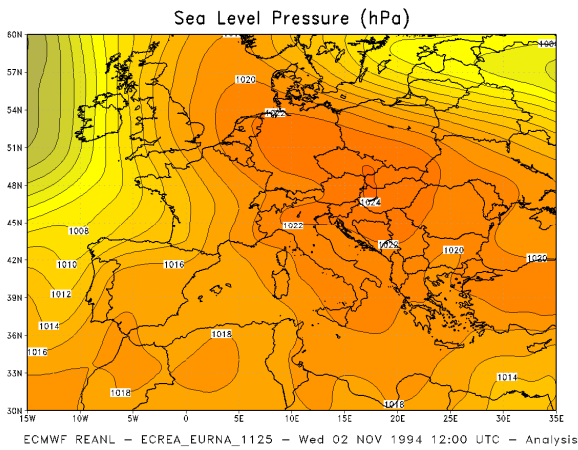


Figura 72. Pressione ridotta al livello del mare relativa alle ore 12:00 UTC del 2 novembre 1994 (a sn) e del 21 novembre 2016 (a dx)

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.

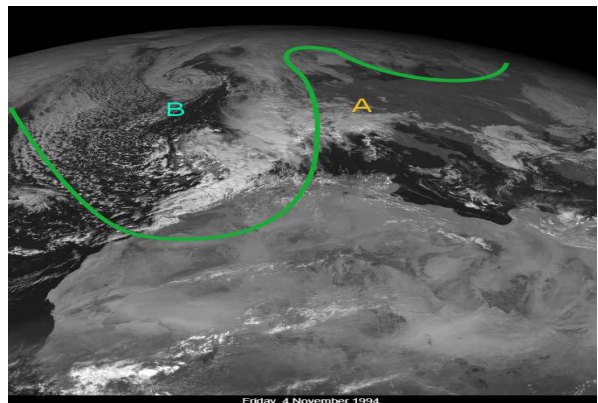
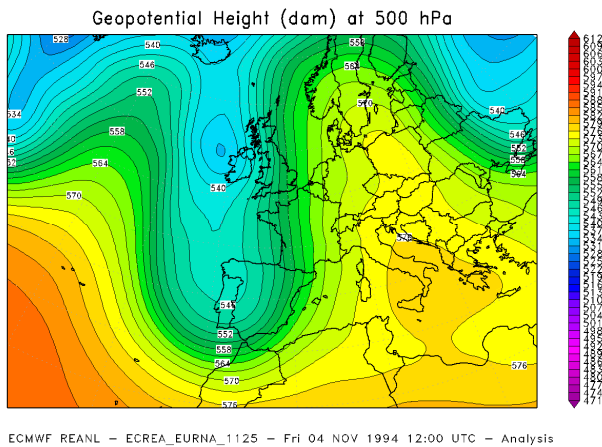


Figura 73. Altezza di geopotenziale a 500 hPa relativa alle ore 12:00 UTC del 4 novembre 1994 (a sn) e relativa immagine satellitare (a dx). La linea verde indica l'isoipsa 5700m di altezza di geopotenziale a 500hPa

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.

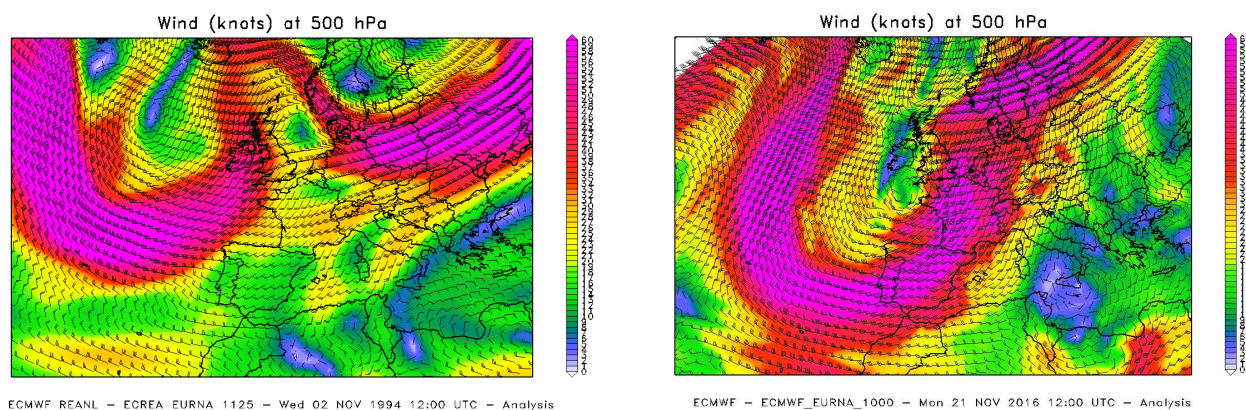


Figura 74. Intensità del vento in quota (500 hPa) e a grande scala, relativa alle ore 12:00 UTC del 4 novembre 1994 (a sn) e del 21 novembre 2016 (a dx)

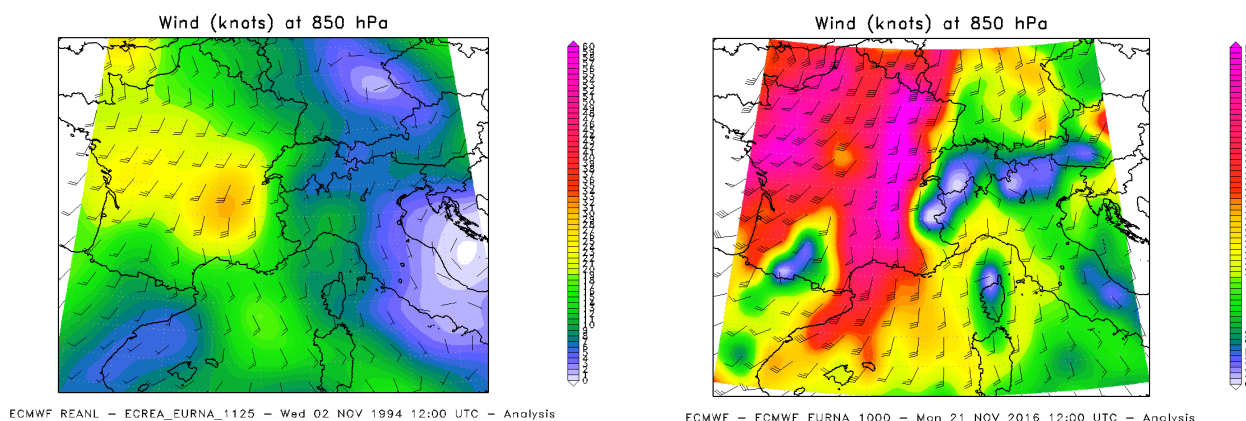


Figura 75. Intensità del vento negli strati medio-bassi dell'atmosfera (850 hPa) relativa alle ore 12:00 UTC del 4 novembre 1994 (a sn) e del 21 novembre 2016 (a dx)

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.

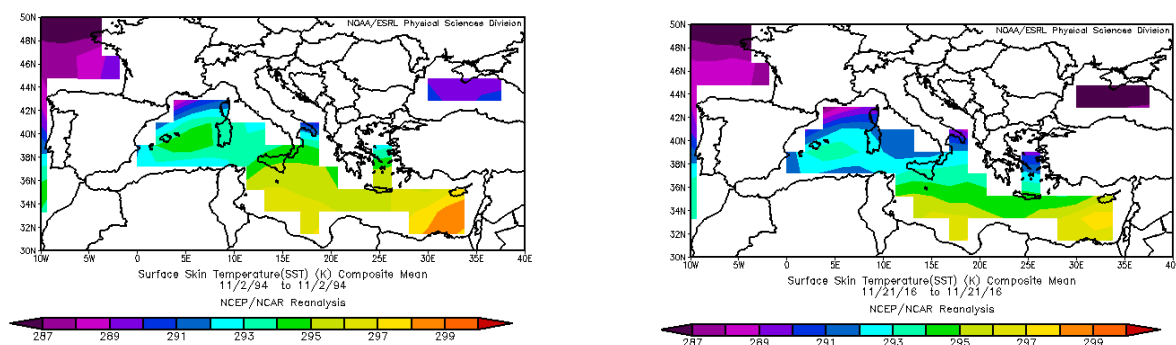


Figura 76. Temperatura media superficiale del mare il 2 novembre 1994 (a sn) ed il 21 novembre 2016 (a dx)

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.

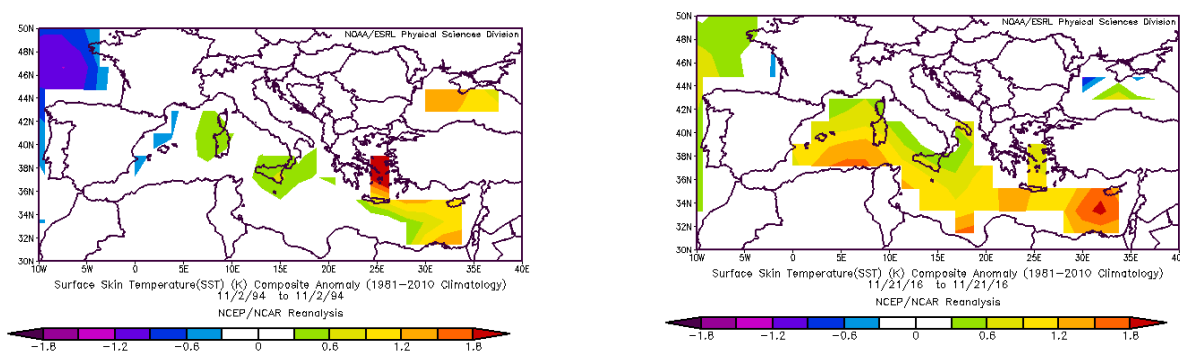


Figura 77. Anomalia della temperatura superficiale del mare il 2 novembre 1994 (a sn) ed il 21 novembre 2016 (a dx)

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.

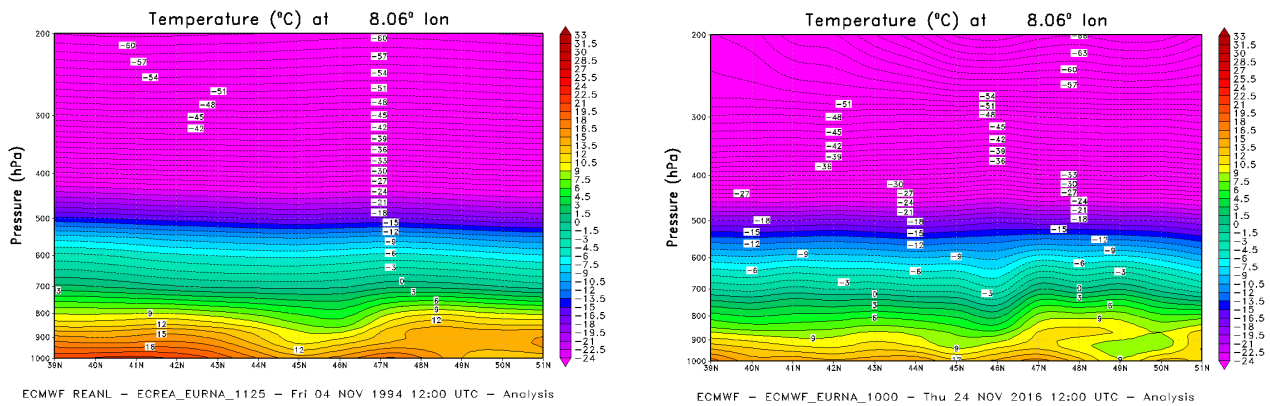


Figura 78. Temperatura dell'intera colonna d'aria su una sezione meridionale estratta alla longitudine 8,06 °N alle 12:00 UTC del 4 novembre 1994 (a sn) ed il 24 novembre 2016 (a dx)

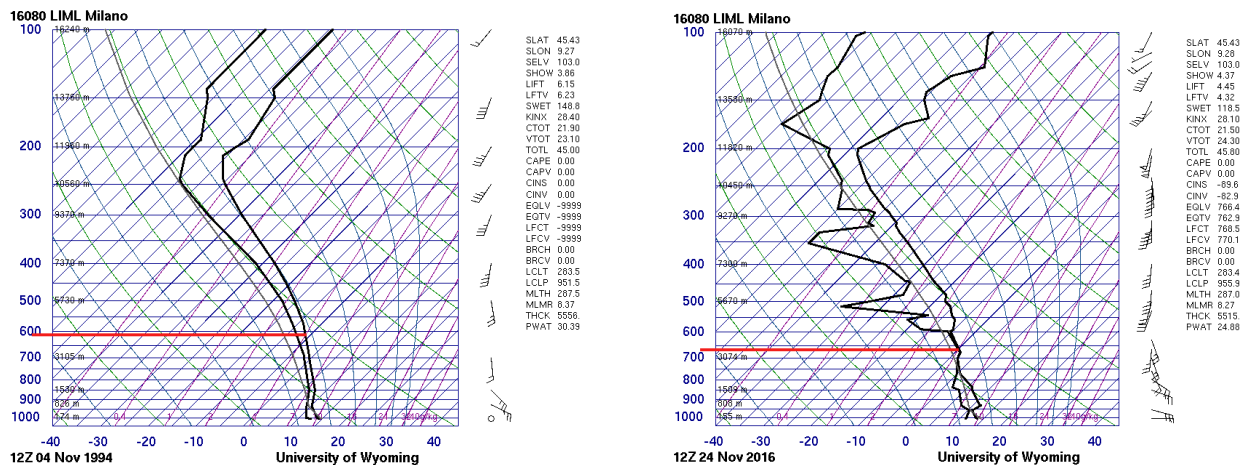


Figura 79. Radiosondaggio effettuato alle 12:00 UTC dall'aeroporto di Milano Linate nella giornata del 4 novembre 1994 (a sn) ed il 24 novembre 2016 (a dx)

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.

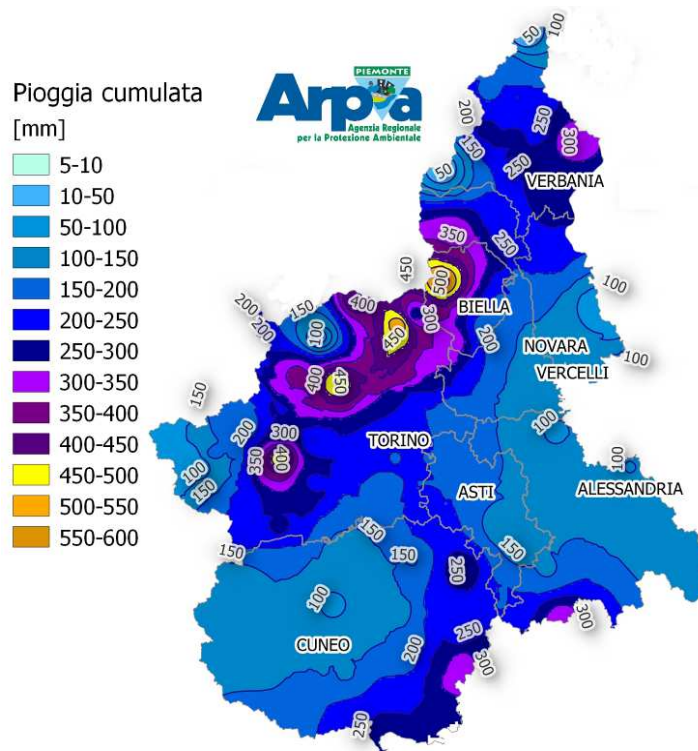
Tabella 9. Precipitazione media sui bacini per tre eventi alluvionali significativi

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

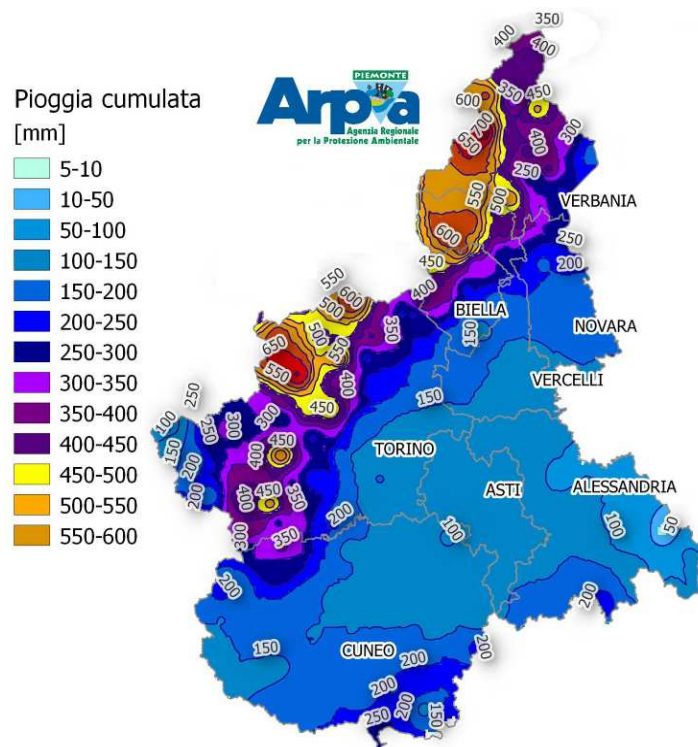
Complessivamente sull'intero bacino idrografico del Po chiuso alla sezione di Ponte Becca (PV) le precipitazioni dell'intero evento dell'ottobre 2000 risultano più elevate. Prendendo in considerazione i singoli bacini idrografici è possibile notare come le precipitazioni di novembre 2016 risultino più 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

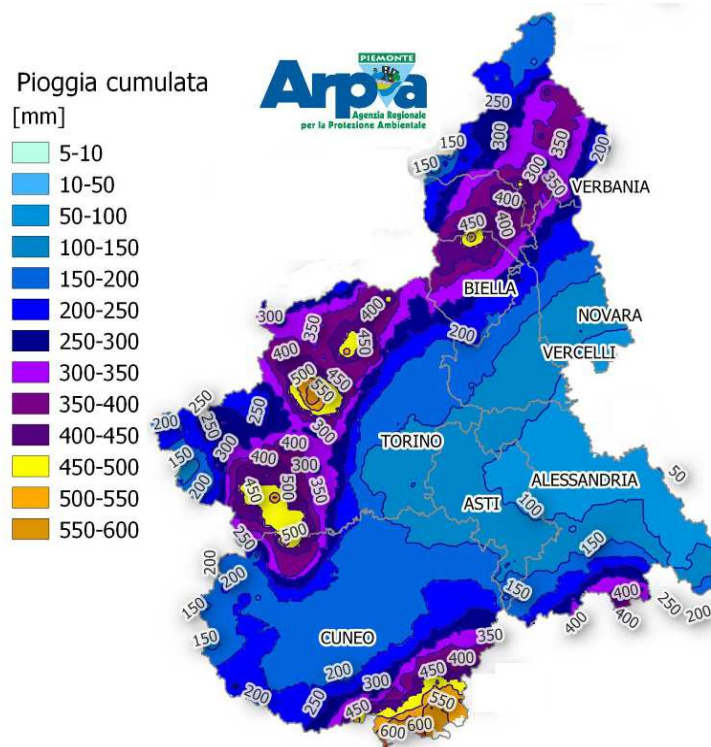
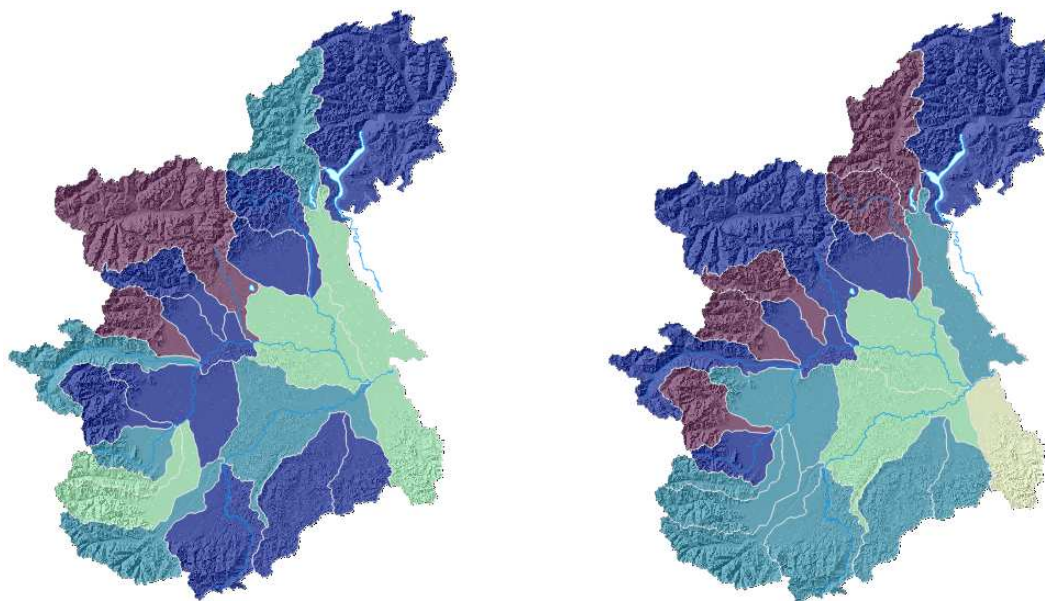


Figura 80. Precipitazioni cumulate dei tre differenti eventi alluvionali

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



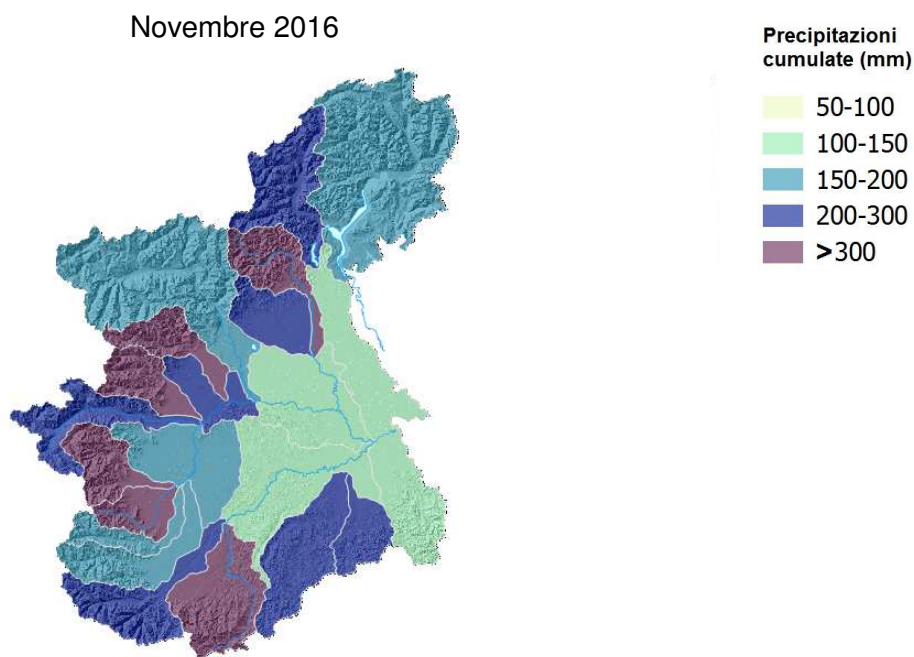


Figura 81. Precipitazioni medie areali per bacino idrografico dei tre eventi

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.

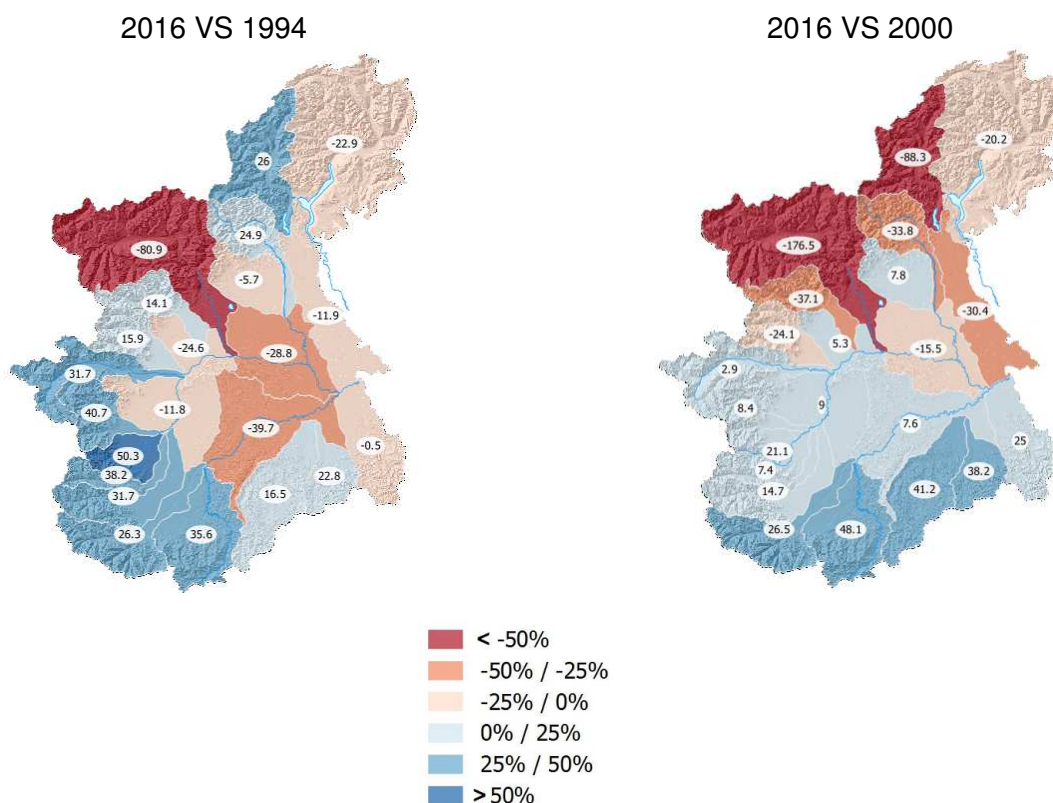


Figura 82. Scarti percentuali tra l'evento di novembre 2016 e gli eventi passati per bacino idrografico

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.

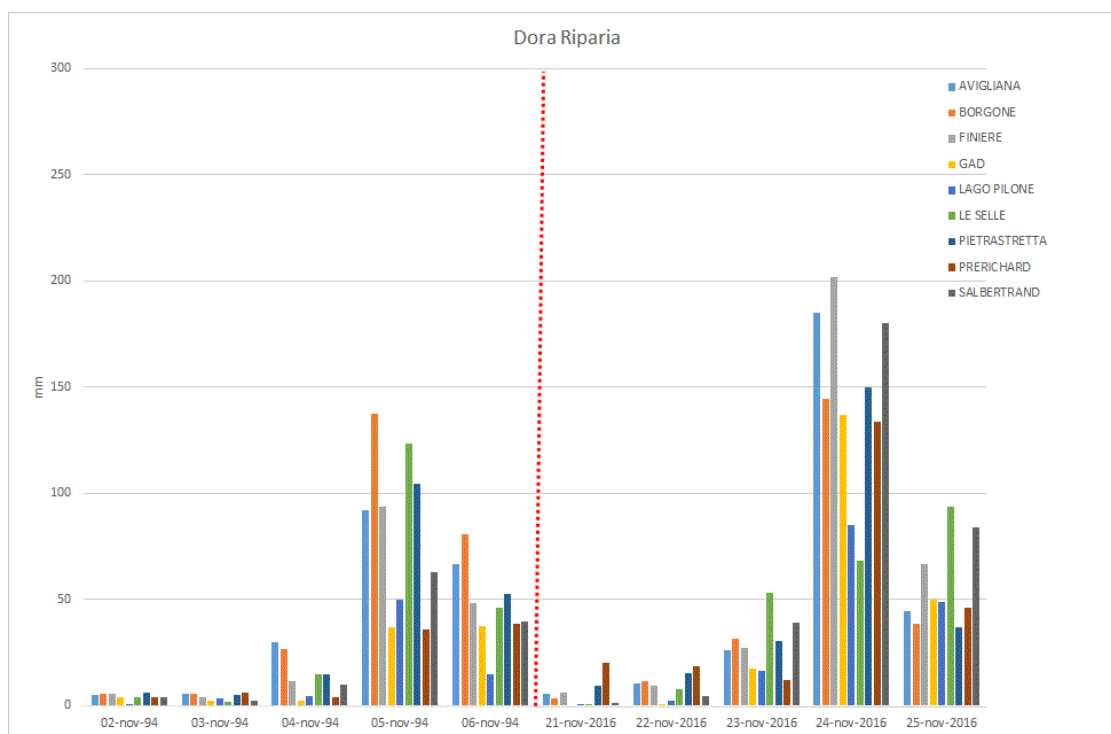


Figura 83. Confronto tra i due eventi alluvionali delle piogge cumulate giornaliere registrate dalle stazioni di monitoraggio installate nel bacino della Dora Riparia

- 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.

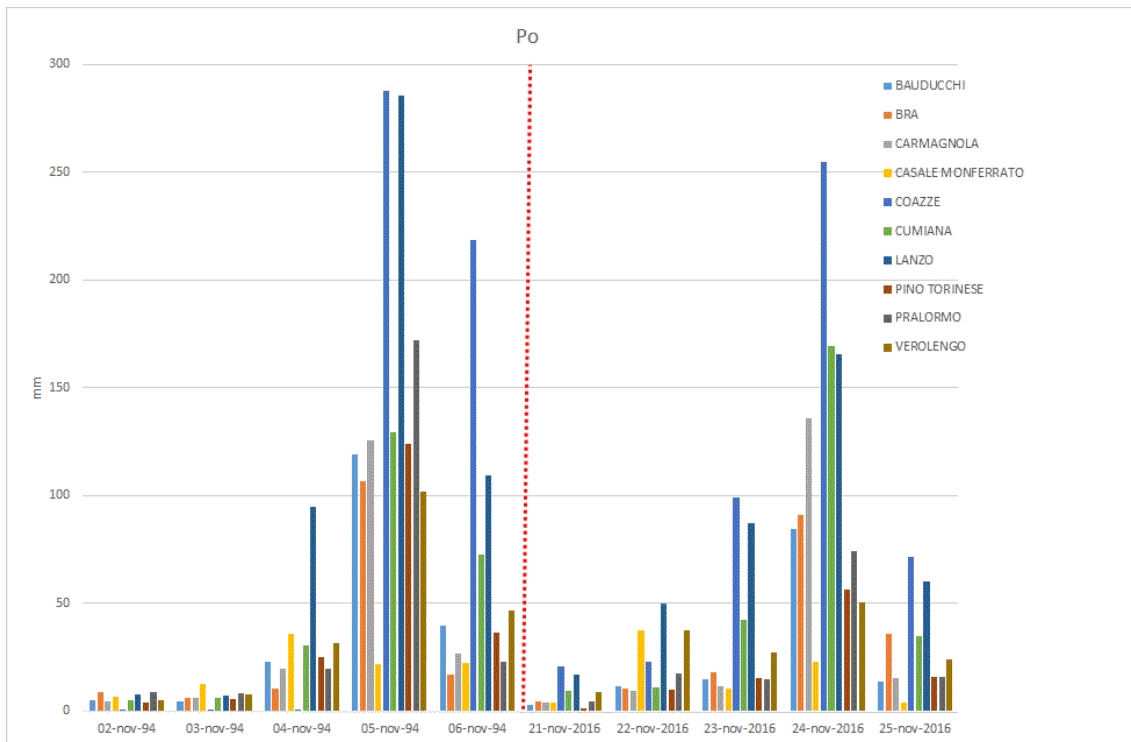


Figura 84. Confronto tra i due eventi alluvionali delle piogge cumulate giornaliere registrate dalle stazioni di monitoraggio installate nel bacino del Po

- 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.

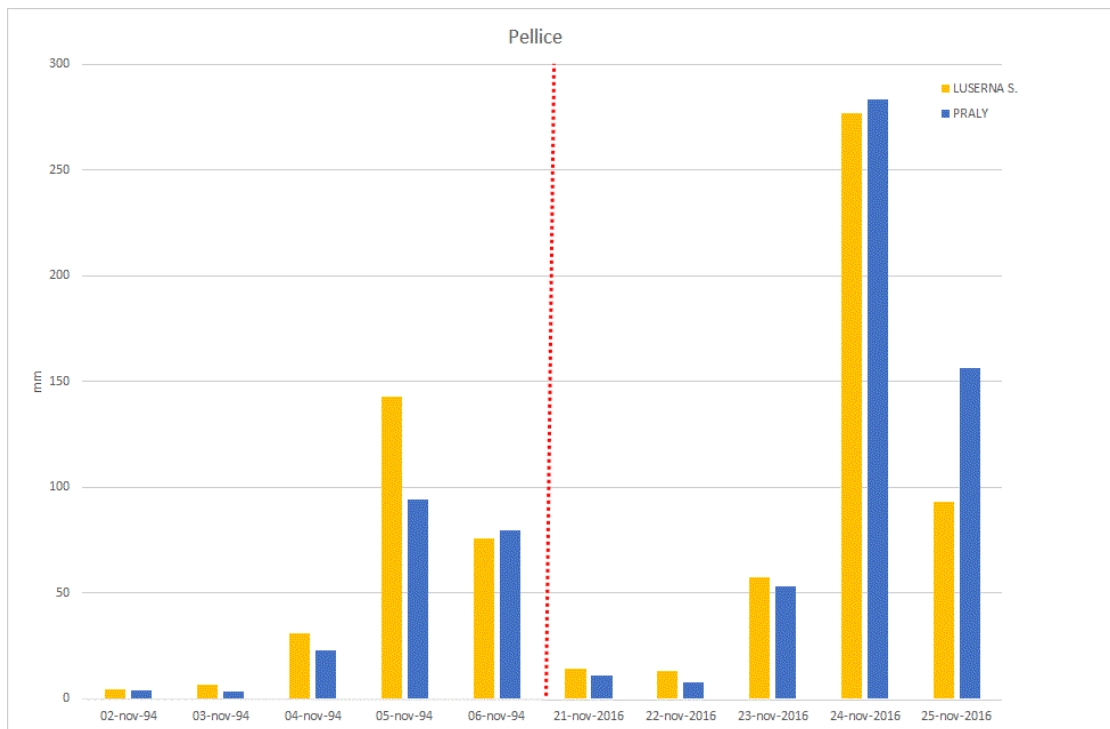


Figura 85. Confronto tra i due eventi alluvionali delle piogge cumulate giornaliere registrate dalle stazioni di monitoraggio installate nel bacino del Pellice

- 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.

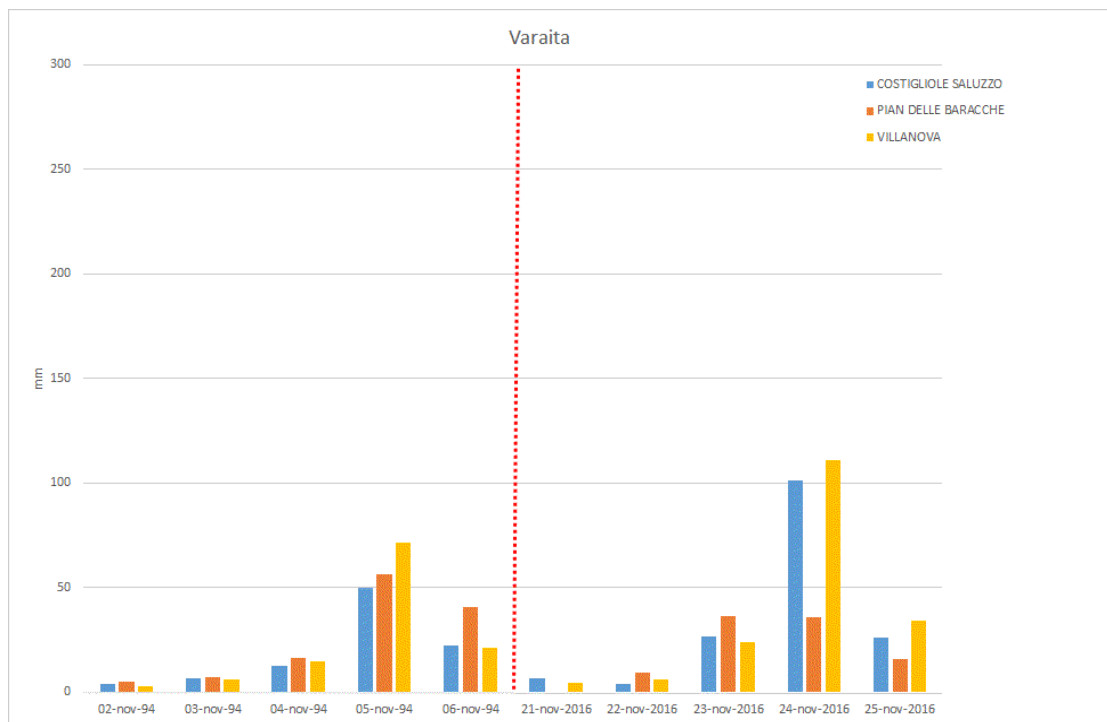


Figura 86. Confronto tra i due eventi alluvionali delle piogge cumulate giornaliere registrate dalle stazioni di monitoraggio installate nel bacino del Varaita

- 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.

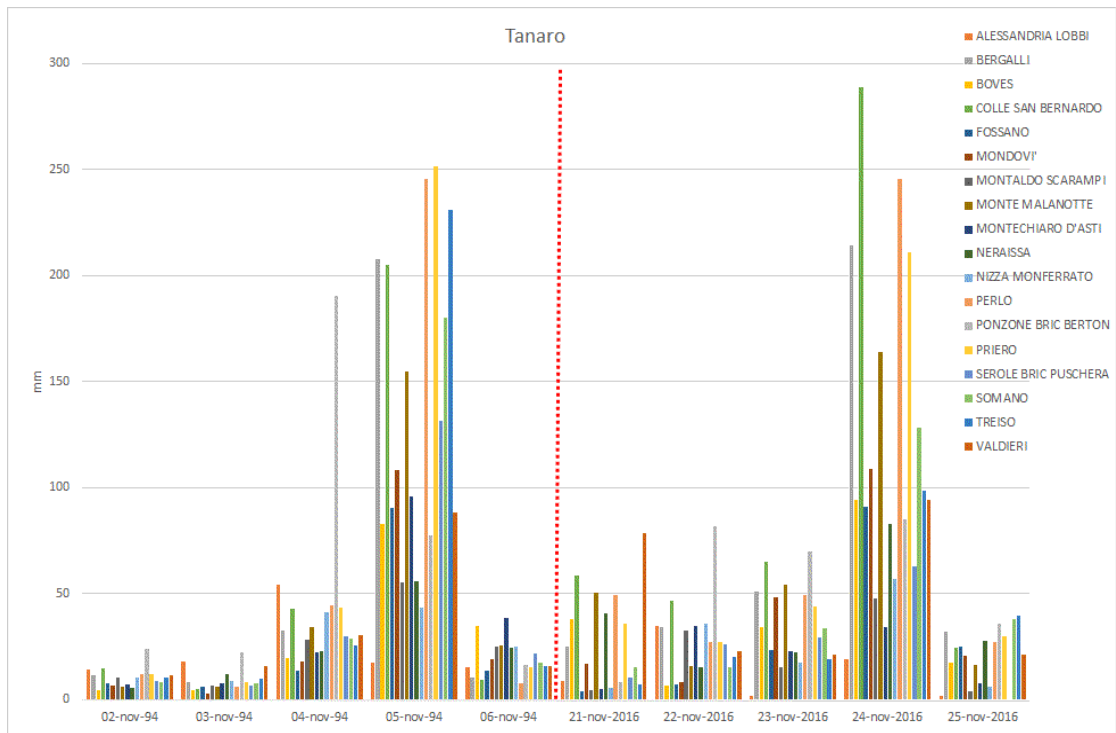


Figura 87. Confronto tra i due eventi alluvionali delle piogge cumulate giornaliere registrate dalle stazioni di monitoraggio installate nel bacino del Tanaro

- 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.

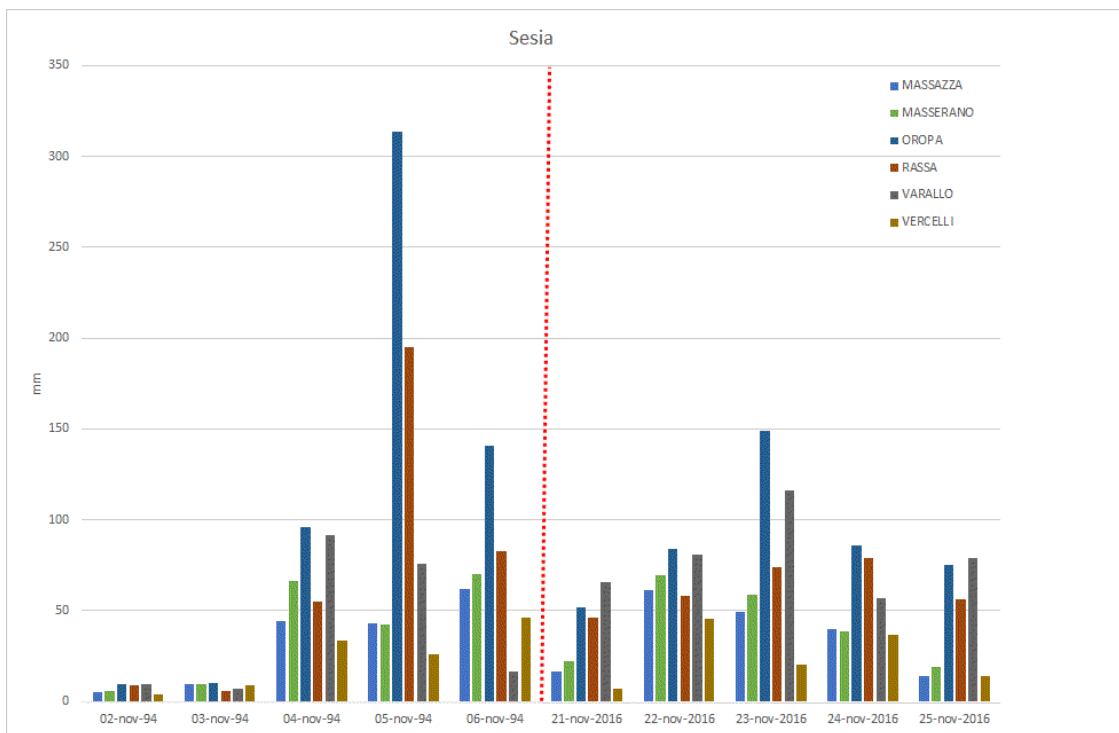


Figura 88. Confronto tra i due eventi alluvionali delle piogge cumulate giornaliere registrate dalle stazioni di monitoraggio installate nel bacino del Sesia

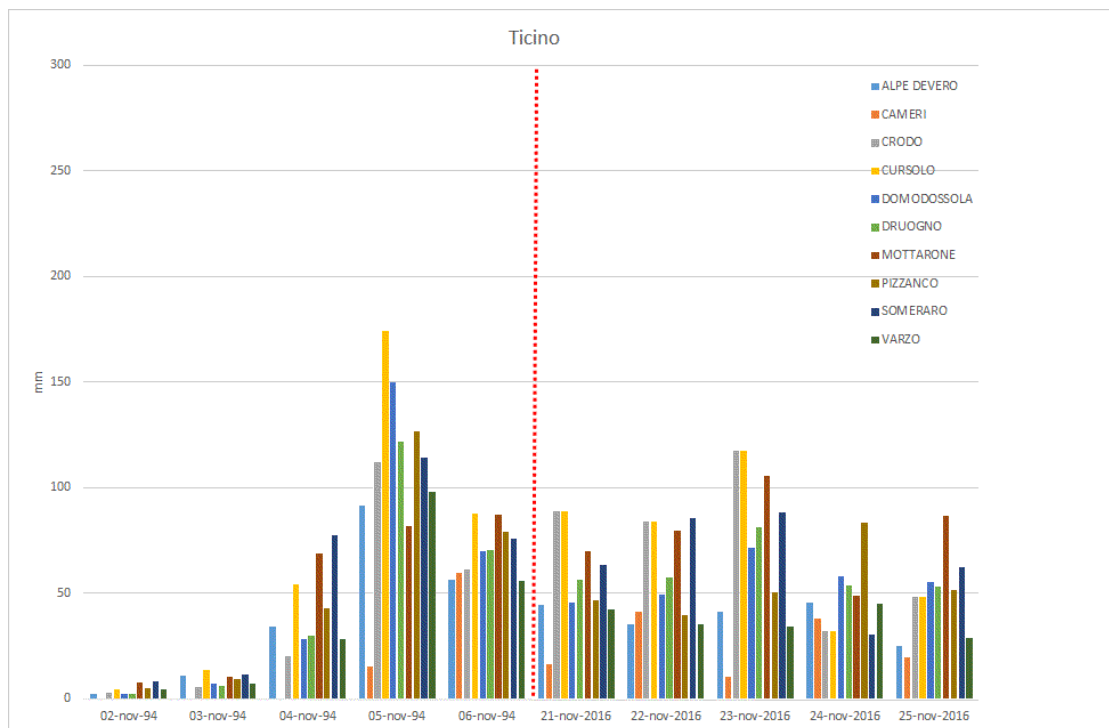


Figura 89. Confronto tra i due eventi alluvionali delle piogge cumulate giornaliere registrate dalle stazioni di monitoraggio installate nel bacino del Ticino

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.

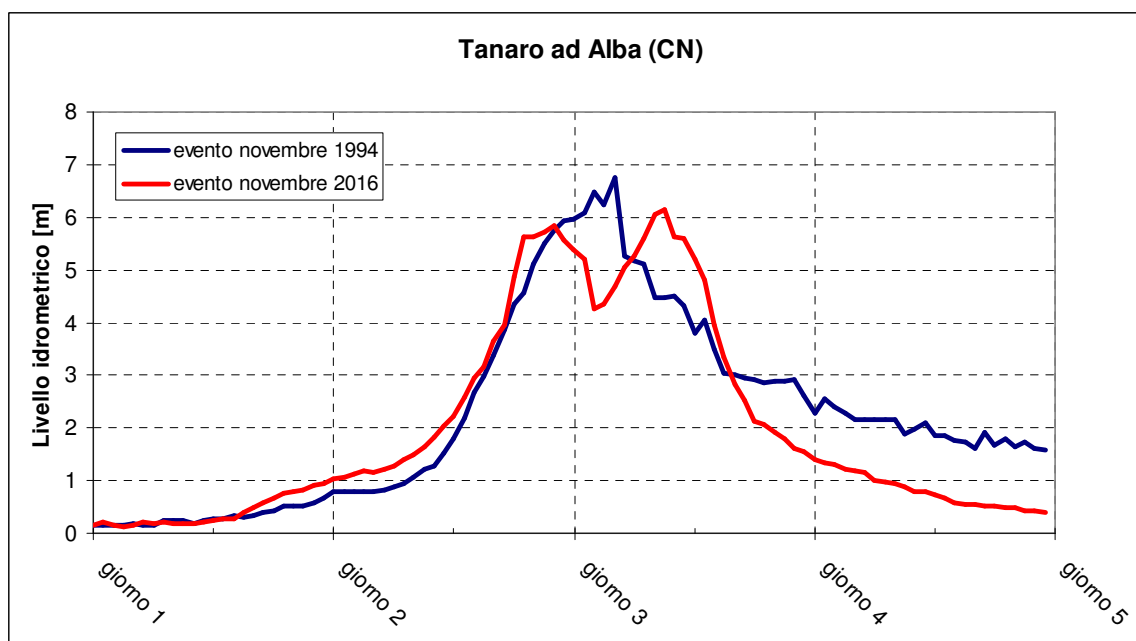


Figura 90. Confronto tra gli idrogrammi del Tanaro ad Alba registrati a novembre 1994 e a novembre 2016

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

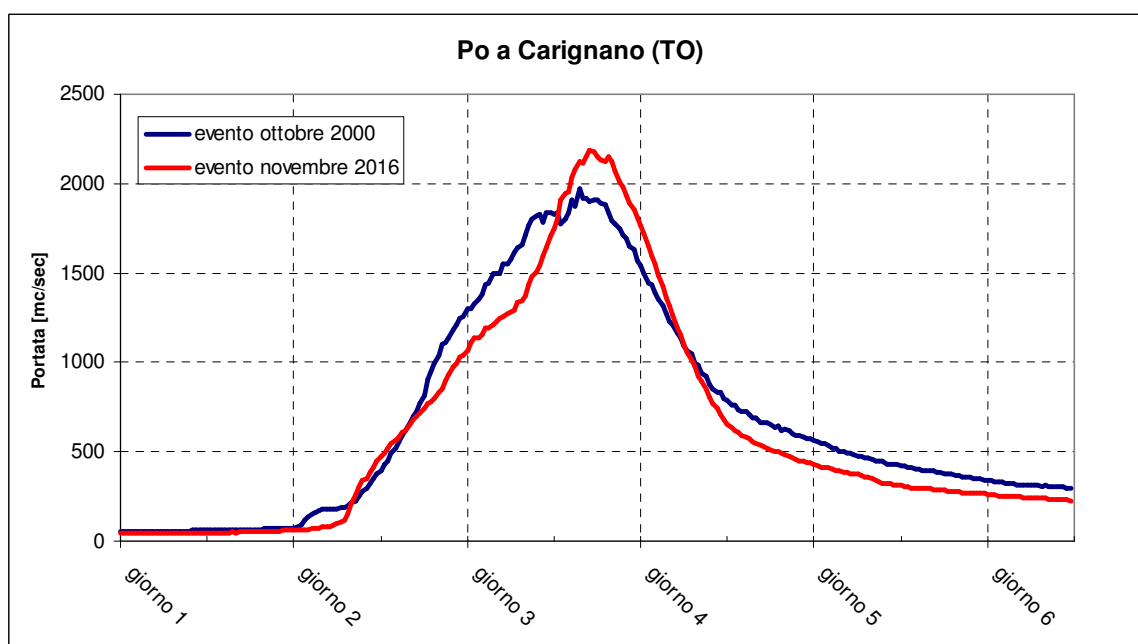


Figura 91. Confronto tra gli idrogrammi di portata del Po a Carignano (TO) ad ottobre 2000 e a novembre 2016

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.

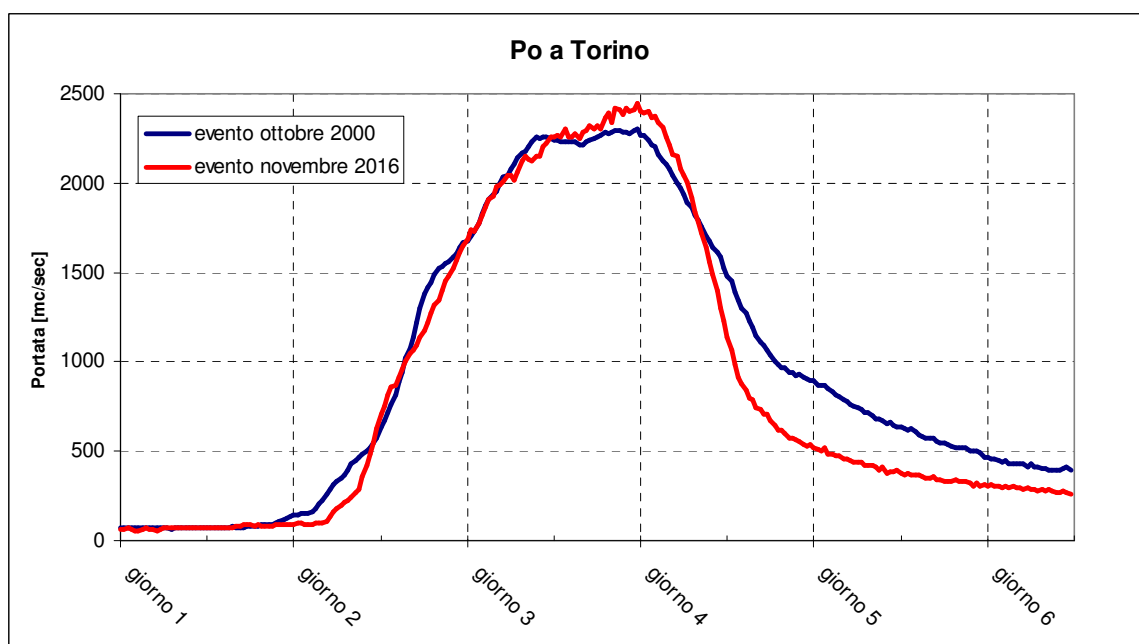


Figura 92. Confronto tra gli idrogrammi di portata del Po a Torino ad ottobre 2000 e a novembre 2016

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.

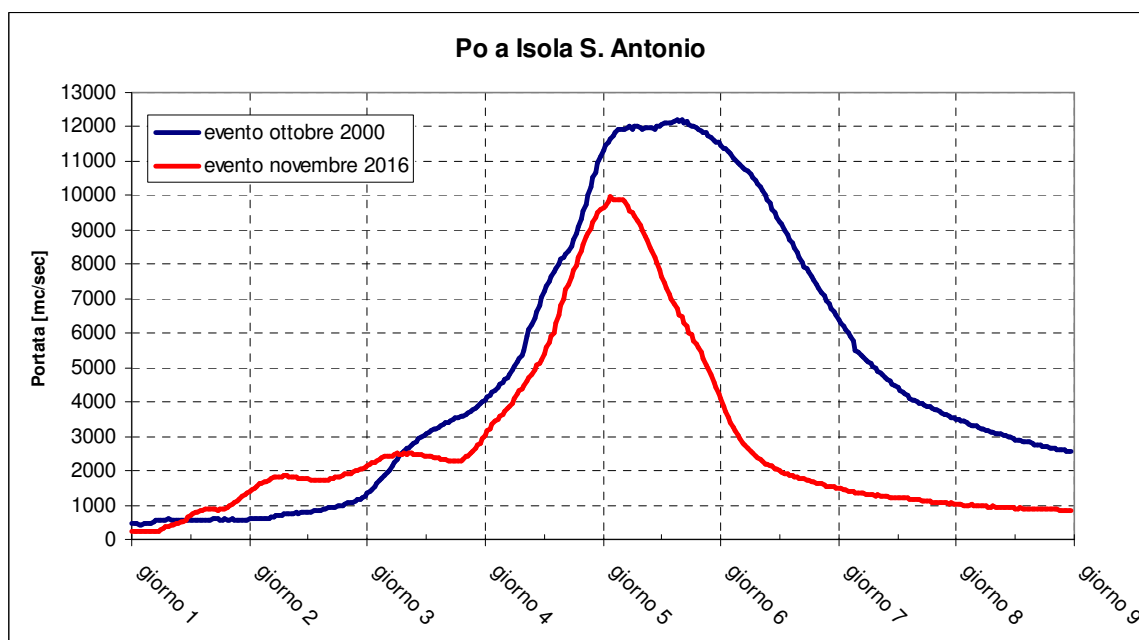


Figura 93. Confronto tra gli idrogrammi di portata del Po a Isola S. Antonio ad ottobre 2000 e a novembre 2016

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)

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

PROCESSI DI INSTABILITÀ IDROGEOLOGICA ED EFFETTI ASSOCIATI

RILIEVO DEGLI EFFETTI AL SUOLO

A partire dai giorni immediatamente successivi all'evento, come di consueto, i tecnici degli Enti preposti al controllo del territorio hanno condotto una serie di sopralluoghi conoscitivi finalizzati alla definizione del quadro degli effetti al suolo. Già nell'immediato è stata avviata una collaborazione informale tra i principali enti coinvolti al fine di coordinare le attività di rilievo in campo e per pervenire rapidamente a un primo quadro degli effetti sul territorio. I risultati dei rilievi preliminari sono stati pubblicati nel rapporto d'evento "[L'evento alluvionale del 21-25 novembre 2016 in Piemonte](#)", pubblicato il 6 dicembre 2018 da Regione Piemonte con il contributo di Arpa Piemonte, Città Metropolitana di Torino, Province di Cuneo, Alessandria e Asti e nella successiva "[Nota integrativa sugli effetti lungo le aste Tanaro e Bormida \(Province di Asti e Alessandria\)](#)" del 27 gennaio 2017.

Al fine di pervenire a un quadro delle conoscenze più approfondito, strutturato e condiviso, nel corso del 2017 è stato istituito un Gruppo di Lavoro a cui hanno partecipato Arpa Piemonte, Regione Piemonte e CNR IRPI di Torino. L'obiettivo è stato quello di produrre una base dati condivisa e strutturata dei danni e degli effetti al suolo e una cartografia di dettaglio sui corsi d'acqua principali. Parallelamente sono stati svolti alcuni approfondimenti relativi alla parte meteorologica e idrologica e sull'utilizzo dei dati satellitari disponibili.

Nell'ambito del gruppo di lavoro è stato condiviso tutto il materiale già raccolto e sono state suddivise le aree di rilevamento per il successivo approfondimento. Le attività sono proseguite per buona parte del 2017 e hanno permesso la realizzazione di due differenti prodotti: da una parte il censimento, con ubicazione puntuale dei principali effetti sul territorio, dall'altra una cartografia di dettaglio degli effetti rilevati sui corsi d'acqua principali.

Nella presente pubblicazione sono riportati i risultati delle attività svolte dal gruppo di lavoro nel corso di questi due anni, cercando di fornire un quadro di sintesi il quanto più possibile organico degli effetti sul territorio regionale in seguito all'evento del novembre 2016, anche attraverso confronti con gli eventi passati o l'analisi di dettaglio sulle aree ritenute di maggior interesse.

Censimento dei principali effetti sul territorio

Su tutto il territorio regionale sono stati censiti ed ubicati, in forma puntuale, 933 fenomeni di dissesto. Le informazioni sono state dedotte oltre che da rilievi diretti, da segnalazioni pervenute da comuni ed enti locali e provinciali, testate giornalistiche e informazioni pubblicate su internet. Per ogni fenomeno è stata compilata una scheda sintetica con indicate le informazioni disponibili, le fonti da cui deriva l'informazione, eventuali danni rilevati e gli interventi previsti. Le schede sono generalmente corredate da documentazione fotografica. Vista la metodologia d'indagine, le informazioni presenti nelle schede possono presentare differenti livelli di accuratezza e dettaglio, ma permettono di avere un quadro sinottico strutturato e georiferito dei principali effetti al suolo registrati durante l'evento.

Le informazioni così strutturate vanno ad arricchire la [Banca Dati Eventi](#) gestita da Arpa Piemonte, che raccoglie e geolocalizza in modo puntuale informazioni su circa 30'000 dissesti relativi a fenomeni fluviali, fluvio-torrentizi e di versante recenti e storici risalenti fino al XV secolo.

Per i fenomeni di versante più rilevanti è stato effettuato un rilievo di maggior dettaglio; le informazioni raccolte hanno permesso di compilare 57 schede [SIFraP \(Sistema Informativo Frane](#)

in Piemonte), 10 delle quali al II livello di approfondimento. Le perimetrazioni e le schede di II livello sono consultabili tramite il Geportale di Arpa Piemonte nella sezione SIFraP o direttamente ai seguenti indirizzi:

<http://webgis.arpa.piemonte.it/geodissesto/sifrap/iilivelli.php>

<http://webgis.arpa.piemonte.it/geodissesto/sifrap/report.php>

Le aree maggiormente interessate risultano essere quelle dell'alto Tanaro, la zona di confluenza Po-Sangone-Chisola, la bassa val Chisone, e, più in generale, tutta la zona pedemontana compresa tra valli di Lanzo e valle Po (Figura 1).

Importanti criticità sono state segnalate a monte di Torino, in prossimità della confluenza del Po a Moncalieri e nel tratto di testata del Fiume Tanaro; nel comune di Perosa Argentina (in val Chisone) si sono verificati gravi fenomeni di versante e attività torrentizia che hanno coinvolto alcune abitazioni; diversi fenomeni franosi hanno diffusamente interessato le province di Torino e Cuneo, coinvolgendo la viabilità e in alcuni casi le abitazioni. I dettagli degli effetti al suolo sono riportati nei capitoli successivi.

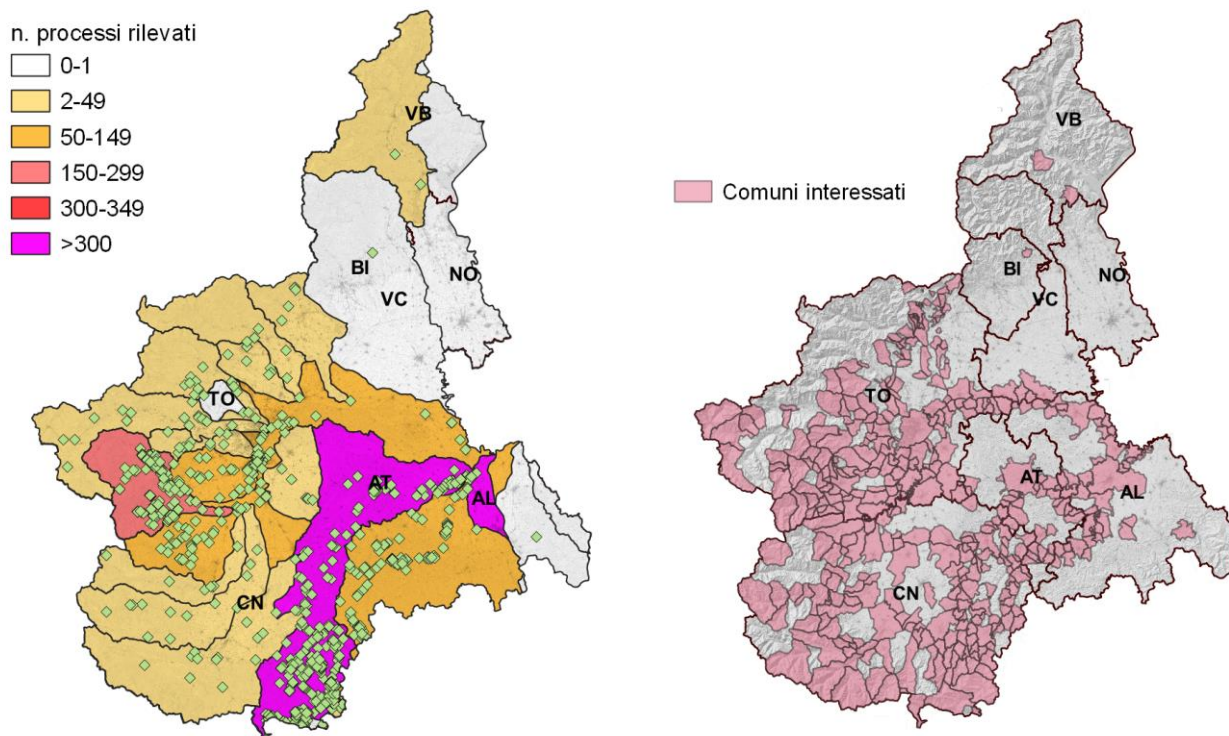


Figura 1. Ubicazione e distribuzione territoriale dei fenomeni più significativi, a sinistra suddivisione per bacino, a destra indicazioni dei comuni interessati

I fenomeni di dissesto, di cui circa 2/3 sono legati all'attività fluviale e fluvio-torrentizia, mentre i restanti sono fenomeni franosi, hanno interessato oltre 360 comuni (Figura 1), determinando danni alle infrastrutture di vario tipo e interruzioni alla viabilità. I processi rilevati sono nella maggior parte piene fluviali legate ai corsi d'acqua principali, seguiti da fenomeni di trasporto in massa dovuti all'idrografia secondaria e di piene di torrenti di basso ordine (Figura 2). Rispetto ad altri eventi passati, come ad esempio quelli del novembre '94 o dell'ottobre 2000, il numero di fenomeni di versante è decisamente inferiore; nel solo novembre '94 erano infatti state rilevate circa 30'000 singole frane superficiali. Nell'evento del novembre 2016 le piogge hanno interessato maggiormente gli ambiti appenninici e pedemontani, risparmiando le zone della Langa, del Monferrato e della collina di Torino.

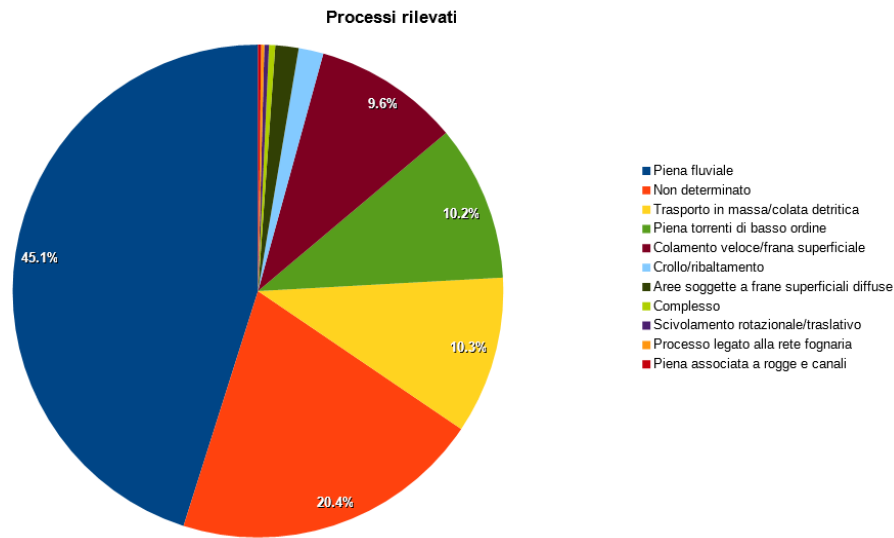


Figura 2. Distribuzione dei tipi di processo di dissesto rilevati

Le infrastrutture più interessate sono state le vie di comunicazione (37%), seguite da nuclei e centri abitati (Figura 3). Nel primo caso è particolarmente significativo il numero di ponti che sono rimasti distrutti o gravemente danneggiati, come ad esempio il ponte sul Po che collega Castiglione a Settimo Torinese, non transitabile per il cedimento differenziale in corrispondenza del giunto di dilatazione compreso tra la prima e seconda campata lato Settimo Torinese. Particolarmente colpita per quanto riguarda le aree produttive e i centri abitati, è la zona a sud di Torino, a seguito della rottura di un argine del T. Chisola e dall'effetto di rigurgito in corrispondenza della confluenza con il Po.

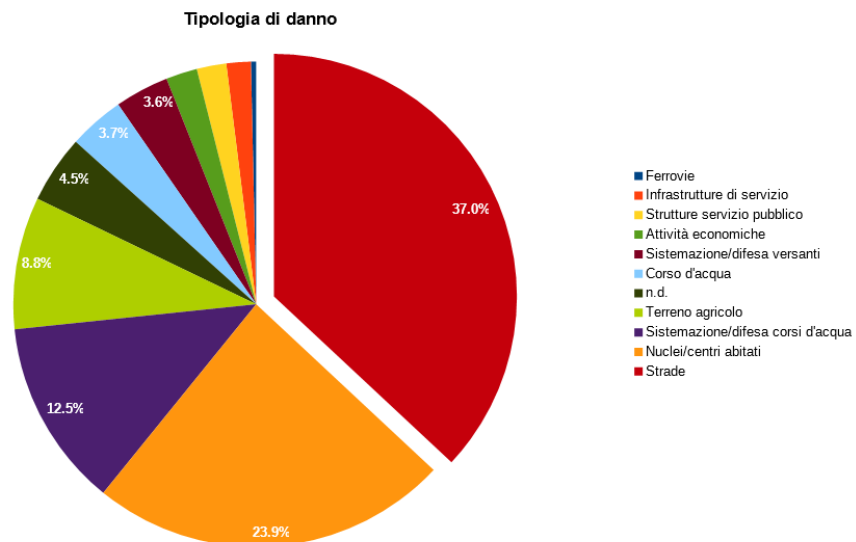


Figura 3. Tipologie di danni rilevati

Altri centri abitati hanno riportato danneggiamenti anche gravi, come nei casi della bassa Val Chisone (Comuni di Pinasca e Perosa Argentina) e nella alta Val Tanaro (Comune di Briga alta, loc. Piaggia).

Tabella 1. Dettaglio dei danni riportati dalla viabilità suddiviso per categoria di strada, tipologia e gravità del danno

Tipo	Distruzione	Funzionale			Strutturale			TOTALE
		nd	grave	lieve	Nd	grave	lieve	
Statale			1		1			2
Provinciale	6	1	3	5	3	16	11	45
Ponte o viadotto stradale	17		5	3	4	14	52	95
Comunale	2	1	11	12	11	15	28	80
Altre strade	2		2	2	1	3	5	15
n. d.	3	3	9	22		27	18	82
Totale	30	5	31	44	20	75	114	319

Tabella 2. Dettaglio dei danni riportati dai centri abitati suddiviso per categoria, tipologia e gravità

Tipo	Distruzione	Funzionale			Strutturale			non valutabile	TOTALE
		nd	grave	lieve	nd	Grave	Lieve		
Case sparse	8	2	9	9	22	36	2	1	89
Centro abitato maggiore	1	6	25	29	2	10			73
Centro abitato minore	3	1	5	6				1	16
n.d.		3	9	5		9	2		28
Totale	12	12	48	49	24	55	4	2	206

Rilievo morfologico di dettaglio sui corsi d'acqua principali

Sui corsi d'acqua principali interessati dall'evento è stato effettuato un rilievo morfologico di dettaglio che ha permesso di raccogliere informazioni in merito alle aree inondate/allagate, ai principali depositi e processi erosivi, agli elementi morfologici significativi e ai massimi battenti idrometrici raggiunti durante l'evento.

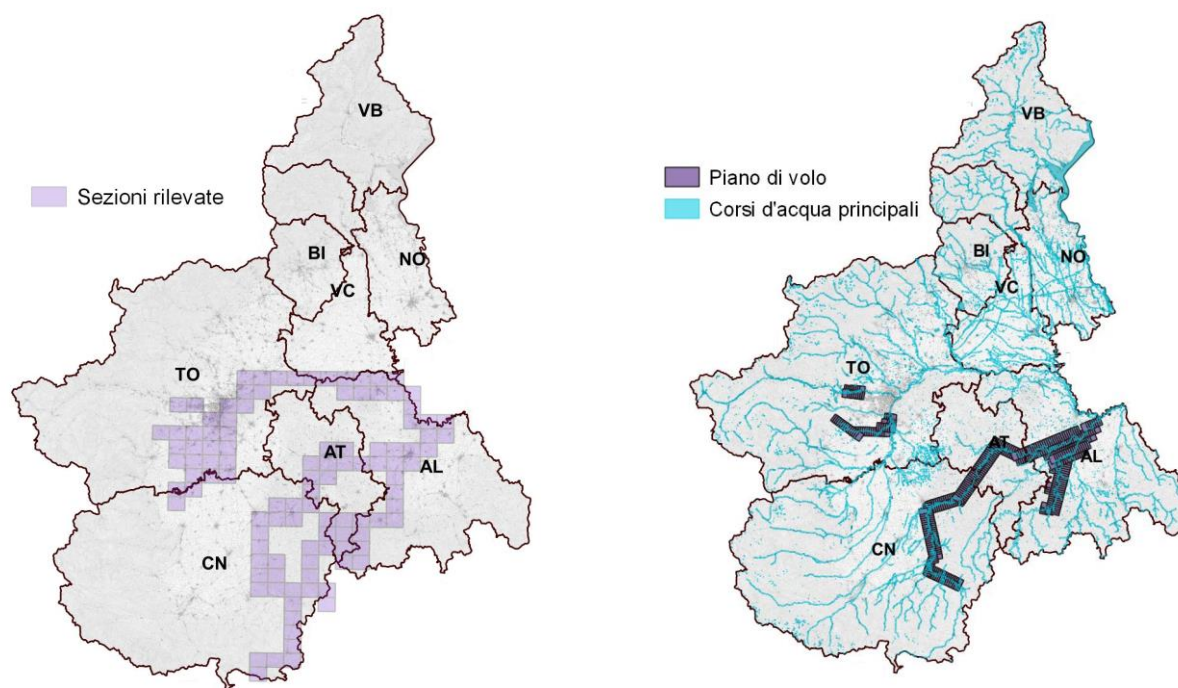


Figura 4. A sinistra, sezione al 10'000 su cui è stato effettuato il rilievo morfologico delle aree inondate; a destra, piano di volo delle riprese aeree effettuate da CGR per conto di Regione Piemonte su cui è stato possibile effettuare un rilievo maggiormente di dettaglio

Nei giorni successivi l'evento alluvionale, Regione Piemonte ha commissionato alla ditta CGR S.p.a. (Compagnia Generale Riprese aeree) di Parma la realizzazione di una ripresa aerofotogrammetrica sulle principali aste colpite dall'evento (aste del Tanaro e del Bormida da Acqui a confluenza con il Tanaro), sul Chisola (da Cumiana a Moncalieri) e sulla Dora Riparia (nel tratto da Buttigliera alta ad Alpignano). Il volo è stato effettuato il 5 dicembre 2016.

Le attività di rilevamento sono state realizzate mediante sopralluoghi diretti di terreno, fotointerpretazione, raccolta e analisi di informazioni quali fotografie e registrazioni di varia natura e dall'analisi di voli effettuati con i droni. In Figura 4 sono indicate le sezioni 10:000 coperte dal rilevamento delle aree inondate e le zone dove, grazie alle foto aeree CGR, è stato possibile raggiungere un maggior rilievo di dettaglio; in Tabella 3 è indicata la suddivisione per Ente delle aree rilevate.

I rilievi di terreno sono stati effettuati generalmente nel periodo compreso tra novembre 2016 (immediatamente dopo l'evento) e febbraio 2017 e hanno permesso di delimitare le aree di passaggio della piena (identificate grazie alle tracce lasciate sui manufatti o sulla vegetazione arborea), di definire le tracce delle altezze dei tiranti idrici delle acque di inondazione sul piano campagna e di censire i danni principali. In molti casi è risultato determinante il confronto con il materiale messo a disposizione dai tecnici comunali o dai professionisti della zona, come cartografie, video e filmati. Anche le interviste puntuali con gli abitanti del posto hanno permesso di pervenire a una ricostruzione più precisa dell'accaduto.

Tramite la fotointerpretazione, effettuata sulle foto aeree CGR, è stato possibile dettagliare meglio il campo di inondazione (punti di esondazione, direzione e intensità dei deflussi, principali

rimodellamenti, depositi, ecc...), e sono state perimetrare le principali forme relitte e le tracce di antichi percorsi dei corsi d'acqua.

Nelle aree non coperte dal volo CGR, il dettaglio di rilievo è risultato necessariamente minore, anche se le immagini satellitari ottiche, messe a disposizione a partire da metà 2017 da Google, hanno permesso di integrare in modo significativo la mappatura.

Per quanto riguarda l'attività torrentizia e i fenomeni di versante le informazioni sono state raccolte da rilievo diretto, da segnalazioni fatte da comuni ed enti locali e provinciali, da testate giornalistiche e da informazioni pubblicate su internet.

Tabella 3. Suddivisione delle aree rilevate

Fiume	Settori rilevati	Ente
Tanaro	Da Ponte di Nava fino a Ceva	ARPA, Regione
Tanaro	da Ceva ad Asti	Regione (Difesa Suolo) – Regione (Geologico)
Tanaro	da Asti a confluenza Po	Regione (Geologico)
Po	da Moncalieri Cardé	CNR
Po	da Torino Ponte Balbis-Moncalieri	Regione (Geologico)
Po	da Torino a Crescentino	ARPA
Po	da Crescentino a confine regionale	Regione (Geologico) e Regione (Tecnico)
Lemina	Lemina	ARPA
Chisola	da Cumiana a La Loggia	Regione (Difesa Suolo) – Regione (Geologico) – CNR
Dora Riparia	da Rosta-Caselette a Rivoli-Alpignano	ARPA
Bormida	Millesimo e Spigno	Regione (Difesa Suolo) – Regione (Tecnico AL)

Il rilievo ha permesso di ottenere un quadro sufficientemente omogeneo dei processi sulla parte di territorio interessato in modo più significativo dall'evento. In Figura 5 è riportata la legenda semplificata utilizzata per la pubblicazione sul Geoportale.

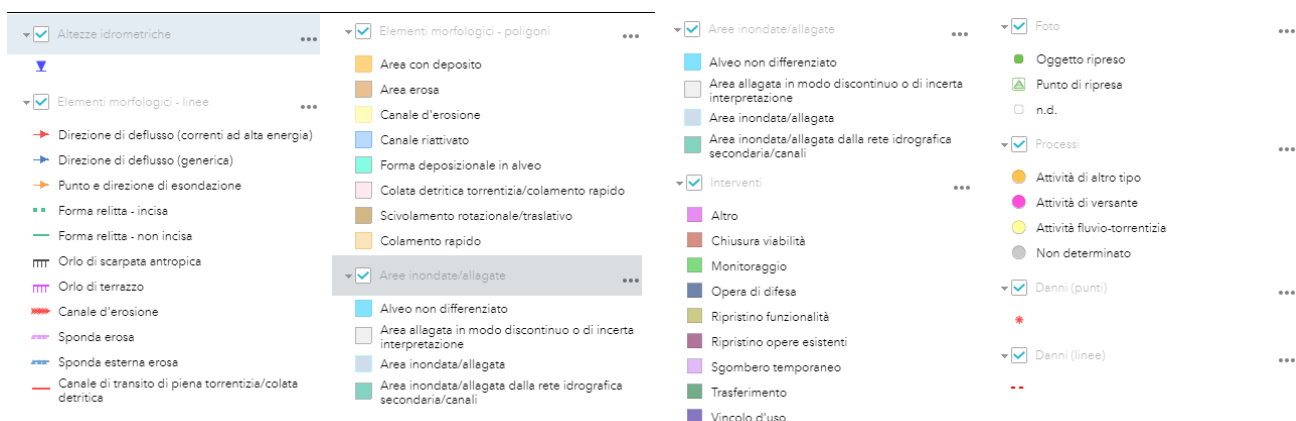


Figura 5. Legenda semplificata utilizzata per la pubblicazione sul geoportale di Arpa Piemonte

I dati raccolti sono stati pubblicati nel novembre 2017 sul Geoportale di Arpa Piemonte, raggiungibile all'indirizzo <http://webgis.arpa.piemonte.it/geoportale/> (sezione tematica Geologia e Dissesto). Le informazioni sono consultabili tramite il visualizzatore del Geoportale o, grazie ai servizi WMS/WFS disponibili, mediante un qualsiasi client desktop (ad esempio QGIS o ESRI ArcMap).

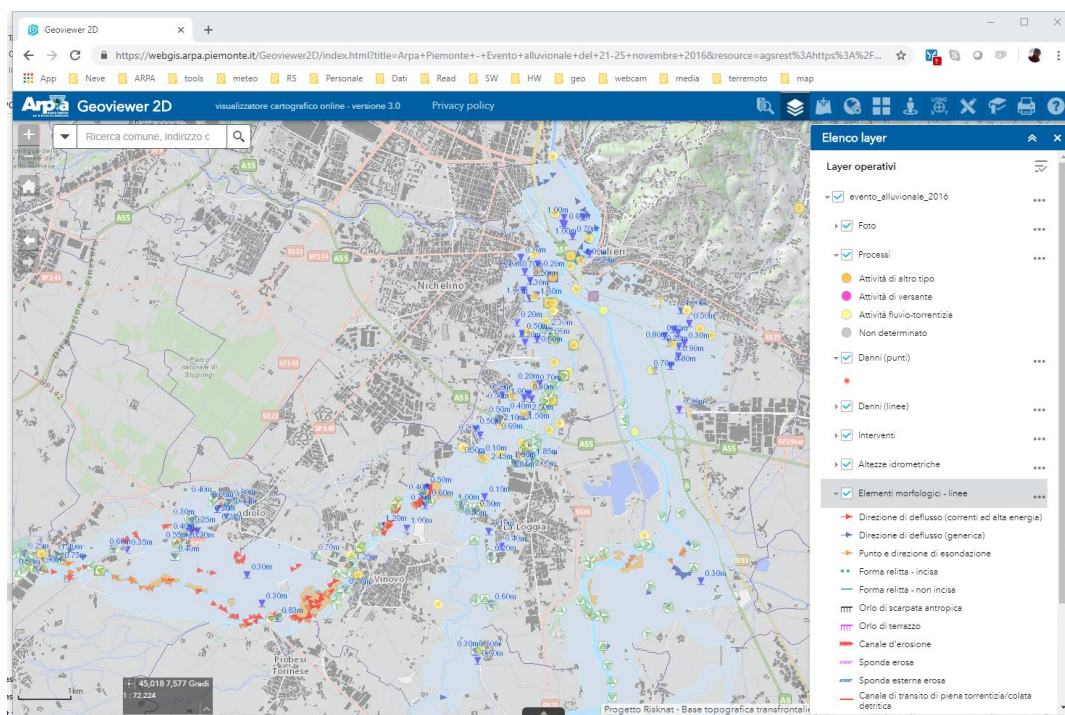


Figura 6. Cartografia WebGIS pubblicata sul Geoportale di Arpa Piemonte

E anche possibile consultare direttamente le ortofotografie ricavate dal volo aereo CGR grazie al servizio WMS¹ messo a disposizione da Regione Piemonte.

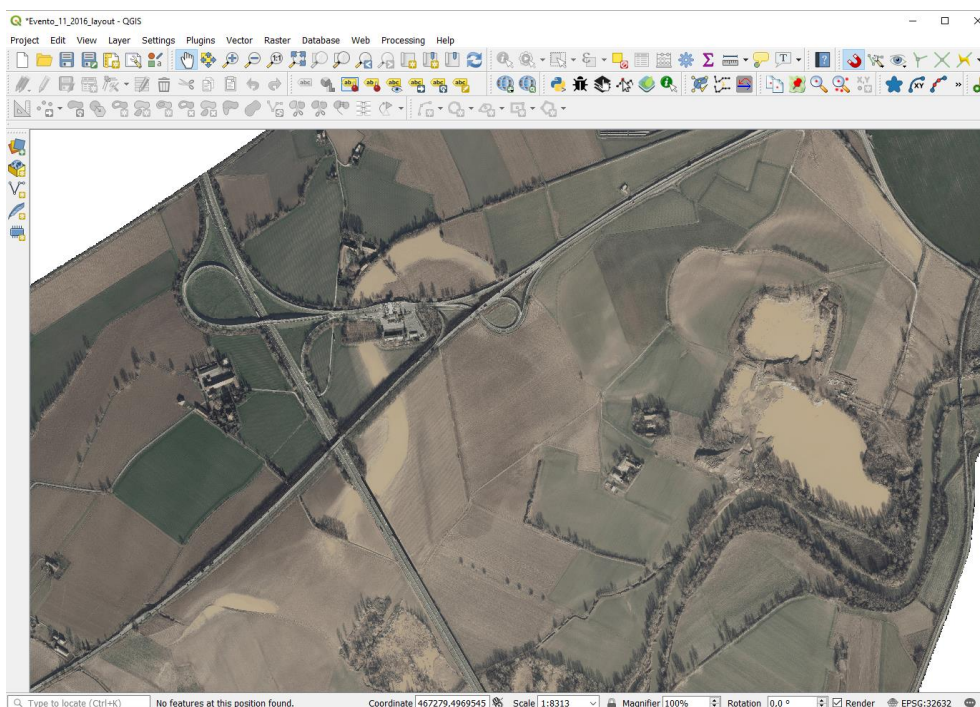


Figura 7. Tramite il servizio WMS raggiungibile dal Geoportale di Regione Piemonte è possibile consultare le ortofotografie ad alta risoluzione derivanti dal volo CGR del 5 dicembre 2016

¹ http://geomap.reteunitaria.piemonte.it/WEBCAT/CAPABILITIES/wms_regp_alluvione_2016.xml

Confronto tra eventi alluvionali

In questo capitolo vengono riportate alcune statistiche derivanti dal confronto tra diversi eventi alluvionali che hanno interessato i medesimi territori, confrontabili tra loro per intensità di pioggia. Gli eventi considerati sono quelli dei 5-6 Novembre 1994, del 13-16 Ottobre 2000 e del 21-25 Novembre 2016.

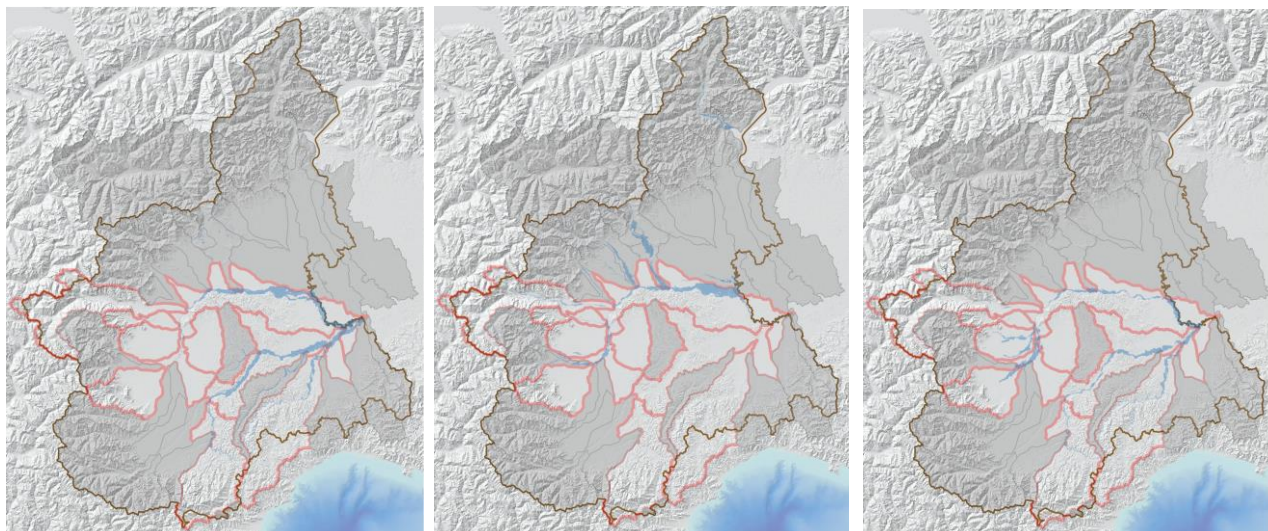


Figura 8. A sinistra aree interessate dall'evento alluvionale del 5-6 Novembre 1994; in centro aree interessate dall'evento alluvionale del 3-16 Ottobre 2000; a destra aree interessate dall'evento del 21-25 Novembre 2016. In rosso sono evidenziati i bacini su cui è stata effettuata l'analisi

La disponibilità di dati strutturati permette di effettuare in modo rapido un confronto tra gli effetti potenziali dell'evento del novembre 2016 rispetto a quelli passati. Sono state confrontate le perimetrazioni prodotte a seguito delle campagne di rilevamento e fotointerpretazione dei processi, effettuate post-evento, con gli elementi esposti presenti sul territorio. Occorre distinguere chiaramente quelli che sono i dati derivanti da rilievi di terreno e quindi effettivamente osservati, come ad esempio le aree allagate, da quelli che derivano dall'intersezione con le infrastrutture e che rappresentano quindi una stima degli elementi a rischio, come ad esempio gli edificati coinvolti. In particolare sono stati utilizzati:

- gli strati informativi degli elementi morfologici in forma poligonale relativi ai tre eventi, provenienti dalla Banca Dati Geologica di Arpa Piemonte (evento 1994 e 2000) e dal presente lavoro (evento 2016);
- il grafo stradale e ferroviario;
- la copertura dell'edificato;
- la classificazione dell'uso del suolo.

Per quanto riguarda gli elementi esposti si è fatto riferimento ai dati messi a disposizione dalla Base Dati Territoriale di Riferimento degli Enti (BDTRE), versione 2017, disponibile sul portale cartografico di Regione Piemonte.

Confrontando le aree inondate/allagate durante i principali eventi alluvionali di riferimento (1994 e 2000) con l'evento del novembre 2016 (Figura 9), si evince come, sebbene le aree interessate siano generalmente minori, quest'ultimo sia paragonabile per estensione agli altri eventi alluvionali. Nel caso del bacino del Chisola, al contrario, questo evento supera in modo marcato quelli storici e può pertanto essere considerato come quello di riferimento.

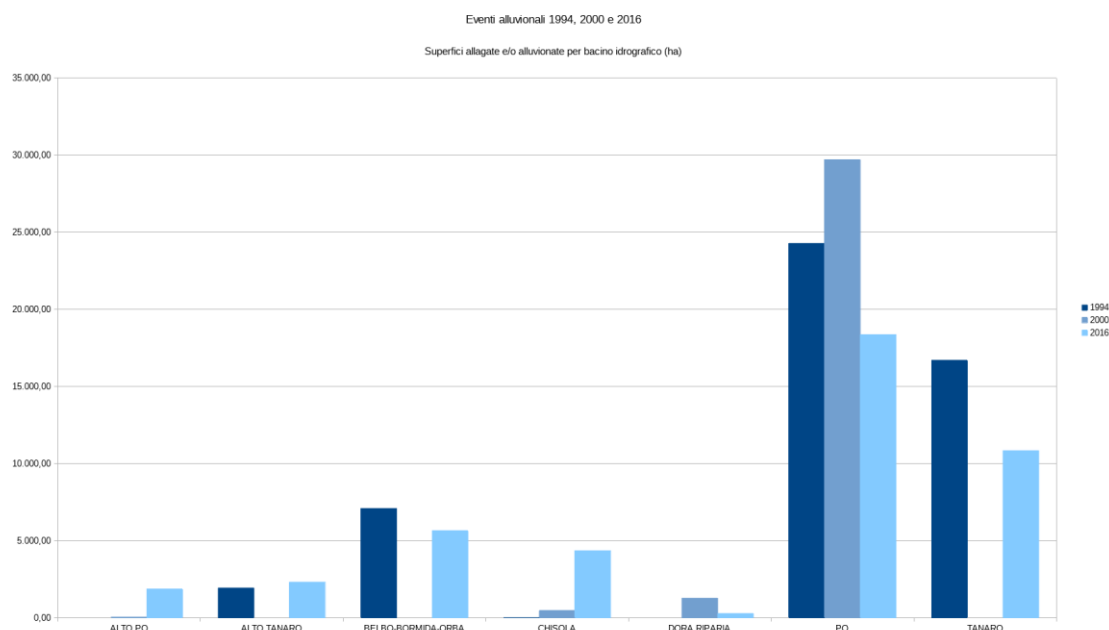


Figura 9. Confronto tra le superfici delle aree inondate/allagate in seguito ai principali eventi alluvionali di riferimento e l'evento del Novembre 2016, suddivise per bacino

Per l'evento del novembre 2016 l'area totale di superficie allagata su tutto il Piemonte è di oltre 435 Km². L'analisi della base cartografica dell'uso del suolo evidenzia come i territori coinvolti nell'ultimo evento siano principalmente ascrivibili a zone destinate all'agricoltura più o meno specializzata, con coinvolgimenti decisamente inferiori nelle zone urbanizzate e nelle aree destinate ad attività produttive (Figura 12). Le zone con infrastrutture antropiche risultano inferiori allo 1.5 % della superficie totale interessata.

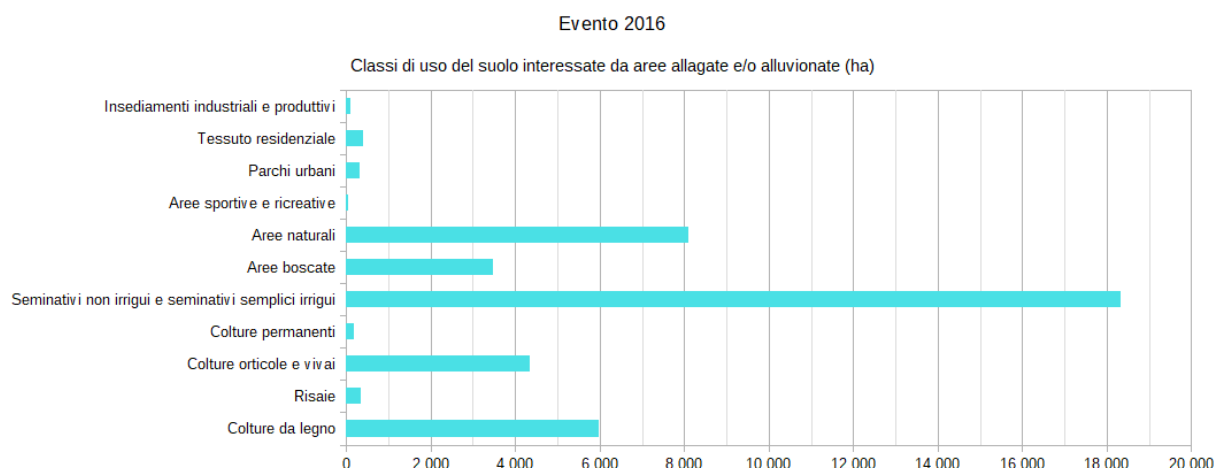


Figura 10. Analisi delle aree inondate/allagate in base all'uso del suolo (copertura Regione Piemonte 2010)

Per valutare l'impatto sulle aree edificate è stato usato lo strato informativo degli edifici della BDTRE (aggiornato al 2017), a cui sono stati associati i dati relativi al valore economico immobiliare e la stima della popolazione residente. La popolazione è stata ricavata distribuendo i dati del Censimento ISTAT 2011 in modo proporzionale alla superficie di ogni singolo edificio rispetto al totale della sezione di censimento, considerando unicamente gli edifici destinati ad uso residenziale. Il valore economico degli edifici è derivato dall'Osservatorio del Mercato Immobiliare

2016². Ad ogni edificio della BDTRE 2017 è stato assegnato un valore di riferimento derivato dalla zona di rilevamento OMI e dalle caratteristiche costruttive e d'uso che corrispondono a quanto presente nelle due basi dati di partenza. Per gli edifici pubblici, non presenti nella valutazione OMI, sono stati considerati gli usi commerciali e a servizi, moltiplicati per un fattore che varia da 2 a 5 volte in base al valore sociale e strategico dell'edificio.

Bisogna tenere conto che analisi di questo tipo implicano necessariamente alcune approssimazioni: infatti i dati dell'edificato, relativi al 2017, sono stati confrontati con le aree allagate degli eventi passati, come quelli avvenuti nel 1994 e nel 2000; inoltre anche la destinazione d'uso riportata dalla BDTRE è in alcuni casi errata. Tuttavia, nel caso di un'analisi a scala regionale o di bacino, come quella proposta, queste semplificazioni possono essere ritenute accettabili. Per analisi di maggior dettaglio potrebbe essere utile fare riferimento all'edificato ricavato dalla Carta Tecnica Regionale relativa al 1991, confrontabile con l'evento del 1994, ma comunque poco significativo per quello 2000.

Attraverso un procedimento di intersezione tra gli strati informativi, sono stati associati ai singoli edifici due attributi: la tipologia di processo che lo ha interessato e la percentuale di coinvolgimento relativa nei tre eventi alluvionali. In Tabella 4,

Tabella 5. Superficie in ettari interessata dalle principali tipologie di edificio - evento 2000 e Tabella 6 sono riportate le superfici delle principali categorie di edificato interessate da ogni evento, suddivise per destinazione d'uso e per bacino. Il grafico di Figura 11 permette di confrontare le stesse informazioni riportando il contributo, in percentuale, dei differenti eventi. E' possibile ad esempio vedere come gli ospedali siano stati interessati unicamente nel 1994, mentre le altre destinazioni d'uso sono state interessate in modo variabile da tutti gli eventi considerati.

Tabella 4. Superficie in ettari interessata dalle principali tipologie di edificio - evento 1994

Bacino idrografico	Commerciale	Industriale	Residenziale	Sede di ospedale	Sede di scuola
ALTO PO					
ALTO TANARO		6.11	12.45		0.48
BANNA					
BORMIDA	0.90	7.29	9.75		
CHISOLA			0.01		
DORA RIPARIA					
PO	0.18	45.53	121.81		2.54
SANGONE		0.04			
TANARO	10.26	152.11	217.42	4.33	6.96
Totale Risultato	11.33	211.08	361.43	4.33	9.98

Tabella 5. Superficie in ettari interessata dalle principali tipologie di edificio - evento 2000

Bacino idrografico	Commerciale	Industriale	Residenziale	Sede di ospedale	Sede di scuola
ALTO PO					
ALTO TANARO					
BANNA					
BORMIDA					
CHISOLA		1.12	4.87		
DORA RIPARIA	0.55	29.91	30.41		0.52
PO	2.03	81.10	170.46		3.91
SANGONE		6.28	15.47		0.06
TANARO					
Totale Risultato	2.58	118.41	221.21	0.00	4.49

² <http://www.geoportale.piemonte.it/geocatalogorp/> Valori Economici Immobiliari (OMI 2016) e popolazione residente (CENSIMENTO 2011) della classe edificio della BDTRE.

Tabella 6. Superficie in ettari interessata dalle principali tipologie di edificio - evento 2016

Bacino idrografico	Commerciale	Industriale	Residenziale	Sede ospedale	di	Sede di scuola
ALTO PO		1.10	6.86			
ALTO TANARO		5.24	4.41			0.48
BANNA		0.85	0.96			
BORMIDA		3.42	6.71			0.08
CHISOLA		18.23	40.04			0.41
DORA RIPARIA			0.14			
PO	4.25	12.79	34.85			
SANGONE		6.35	7.96			0.29
TANARO	0.02	4.04	12.92			
Totale Risultato	4.27	52.03	114.86	0,00		1.26
TOTALE	18.18	381.52	697.50	4.33		15.73

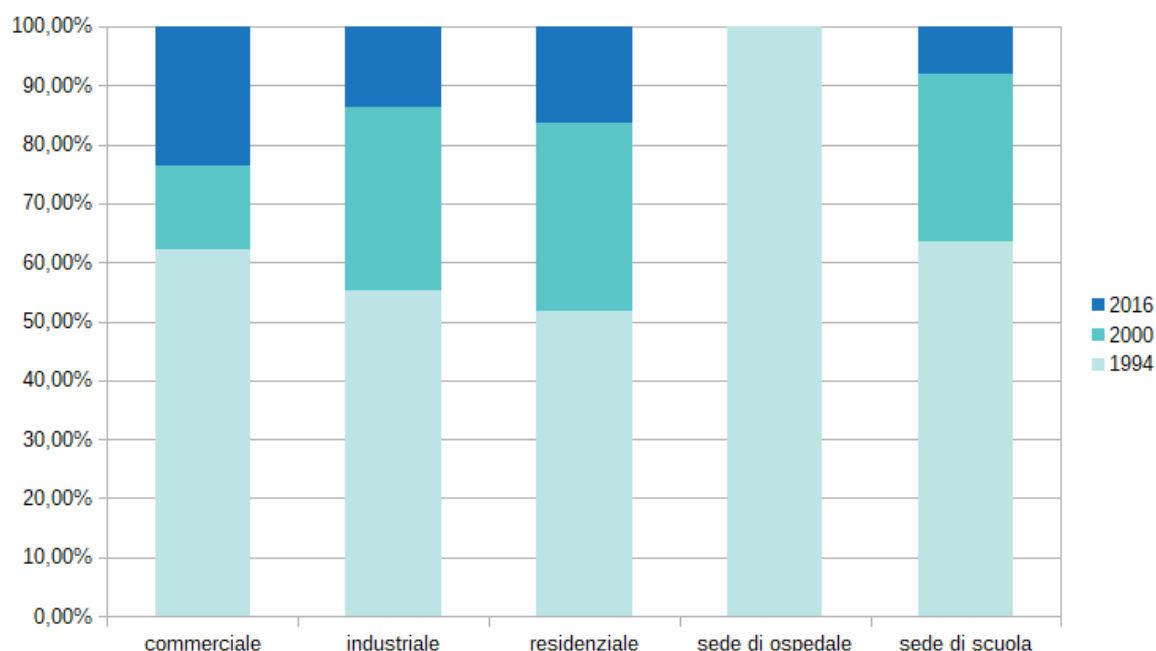


Figura 11. Contributo in percentuale dei differenti eventi per le principali tipologie di uso degli edifici coinvolti

In Figura 12 è possibile, grazie ad un grafico di tipo *Alluvial diagrams*³, collegare visivamente le grandezze analizzate che condividono le stesse categorie in un'unica immagine. In particolare, vengono messe in relazione le superfici interessate rispetto a tre diverse dimensioni: al centro del grafico la destinazione d'uso, a sinistra i bacini idrografici e a destra la data dell'evento.

Dal confronto dei dati in Figura 11 si può notare come, in tutti gli eventi, gli edifici maggiormente interessati siano quelli ad uso residenziale e industriale, tuttavia negli anni 1994 e 2000 risultano coinvolte superfici significative per quanto riguarda gli edifici pubblici e, in particolare, per gli ospedali e le scuole, fatto non avvenuto nell'evento 2016.

3

Per la realizzazione dei grafici *Alluvial diagrams* è stato utilizzato il sito <https://rawgraphs.io/about/>.

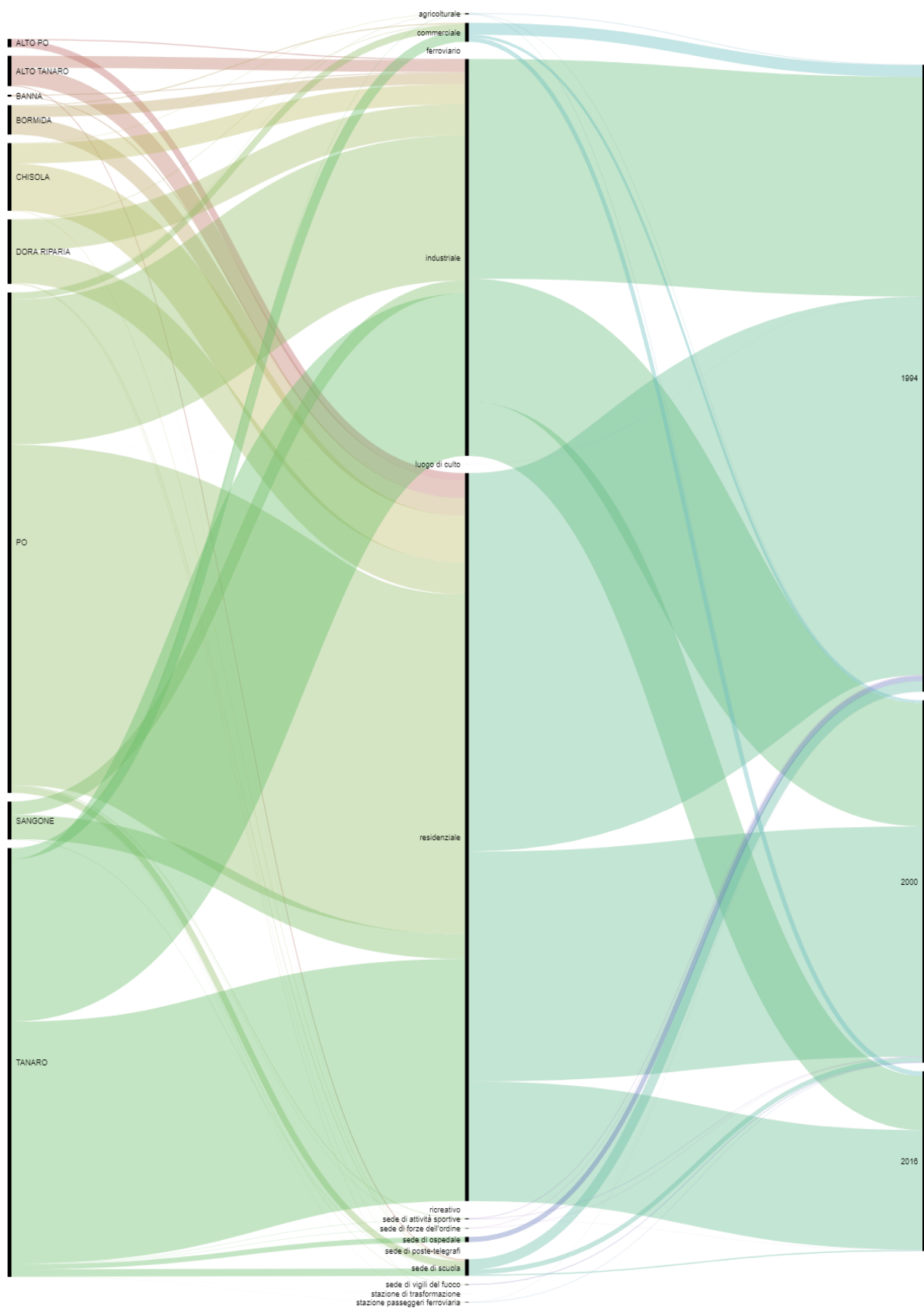


Figura 12. Superficie e uso degli edifici in relazione ai bacini idrografici e agli eventi

Anche per quanto riguarda la viabilità si è fatto riferimento ai dati provenienti dalla BDTRE del 2017 e valgono pertanto le stesse considerazioni già espresse per l'edificato. In Figura 13 è possibile notare come l'evento del novembre 1994 abbia interessato principalmente le strade extraurbane e le strade urbane e in minima parte le autostrade, per una lunghezza complessiva di 1079 km, mentre 554 km nel 2000 e 497 km nel 2016. Anche se non presente nel grafico, la rete ferroviaria è stata interessata per 79 km nel novembre 1994, 40 km nell'ottobre 2000 e 13 km nel novembre 2016.

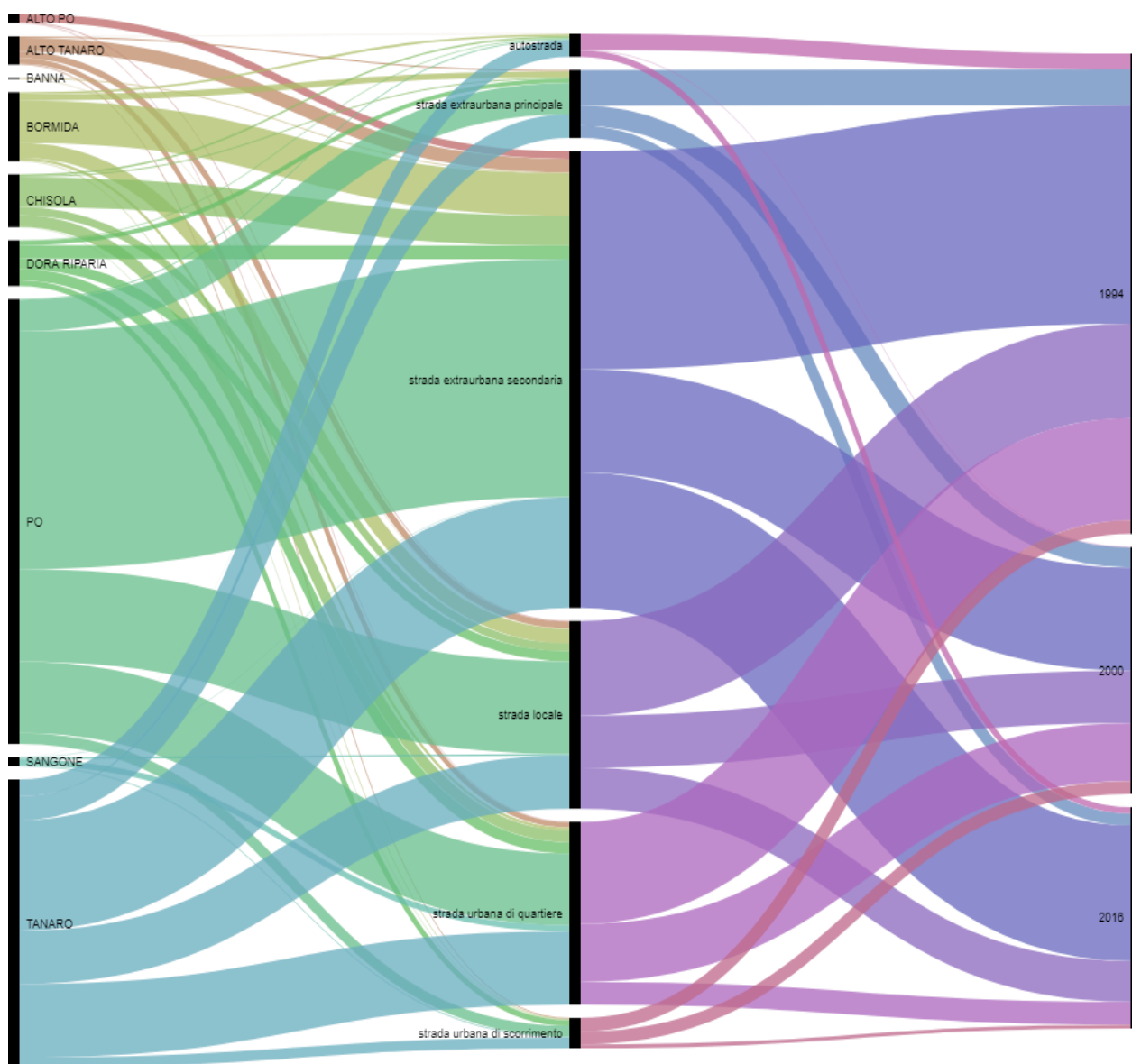


Figura 13. Lunghezza degli elementi della viabilità stradale in relazione ai bacini idrografici e agli eventi

In Figura 14 è indicata la popolazione potenzialmente interessata nei diversi scenari d'evento suddivisa per bacino idrografico. Durante gli eventi 1994 e 2000 nei bacini idrografici del Po e del Tanaro si rileva un forte coinvolgimento della popolazione, tuttavia nel 2016 il bacino del Chisola evidenzia un forte interessamento di aree residenziali e pertanto della popolazione, dato confermato nella Tabella 7, che rappresenta la stima del numero di persone residenti in funzione delle superfici interessate dagli eventi alluvionali. Si può notare come durante l'evento 2016 il numero di persone potenzialmente coinvolte dal Torrente Chisola sia fortemente cresciuto rispetto agli eventi precedenti.

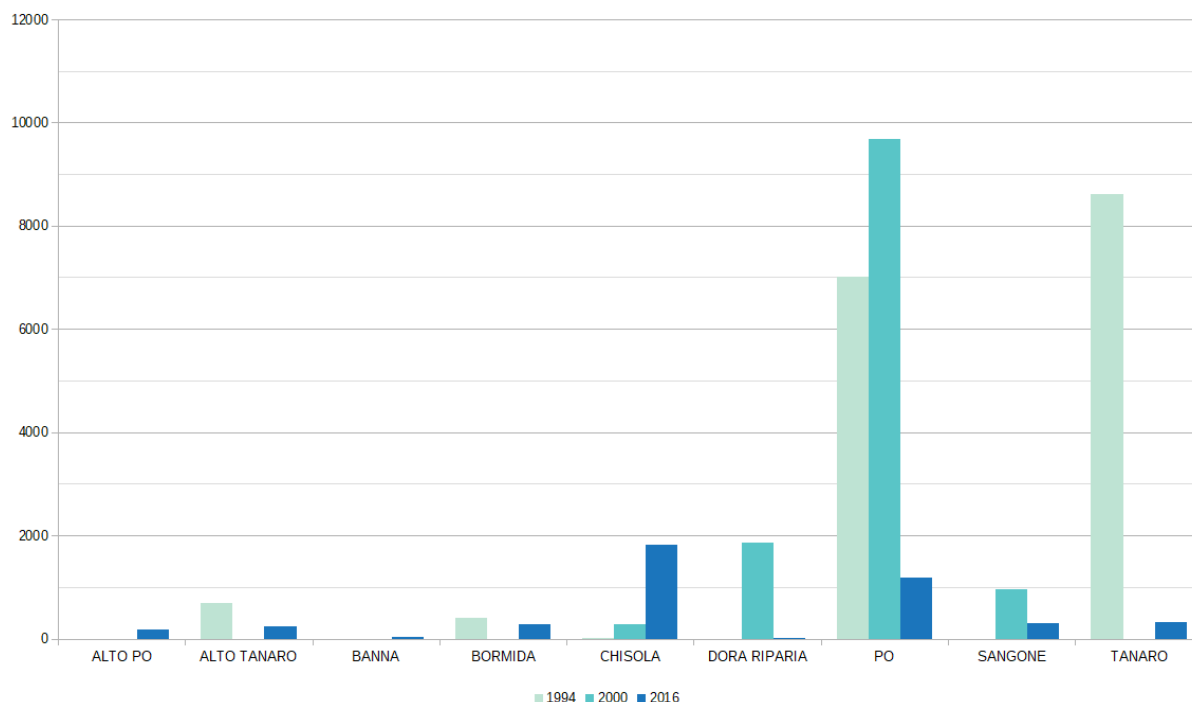


Figura 14. Popolazione potenzialmente interessata negli scenari d'evento per bacino idrografico

Tabella 7. popolazione potenzialmente coinvolta per ettaro di aree allagate o alluvionate per evento

Bacino Idrografico	Evento 1994	Evento 2000	Evento 2016
Chisola	0.12	6.65	44.43
Po	52.59	58.88	7.16
Tanaro	71.05	0.00	2.64

In Figura 15 e Figura 16 sono riportate, dal punto di vista cartografico, la destinazione d'uso e la stima del valore economico medio nella zona di confluenza tra il Torrente Chisola e il Fiume Po, relativamente agli eventi dell'ottobre 2000 e del novembre 2016. Quest'ultimo evento ha coinvolto in modo massiccio sia le aree residenziali, in particolare quelle della zona della Stazione Moncalieri-Sangone e di Tetti Piatti, sia quelle produttive nella sponda sinistra del Chisola e nella sponda destra del Po, decisamente meno interessate dall'evento 2000. Nell'immagine spiccano in modo chiaro alcuni edifici con valore economico elevato, che corrispondono a quattro edifici scolastici interessati da allagamenti.

Le cartografie di Figura 17 e Figura 18 riportano una stima della popolazione residente. Tale stima, come già indicato in precedenza, va considerata solo come ordine di grandezza, in quanto derivata da fonti dati quali il Censimento 2011 che riporta i dati per sezione di censimento e gli edifici della BDTRE cartografia in continuo aggiornamento.

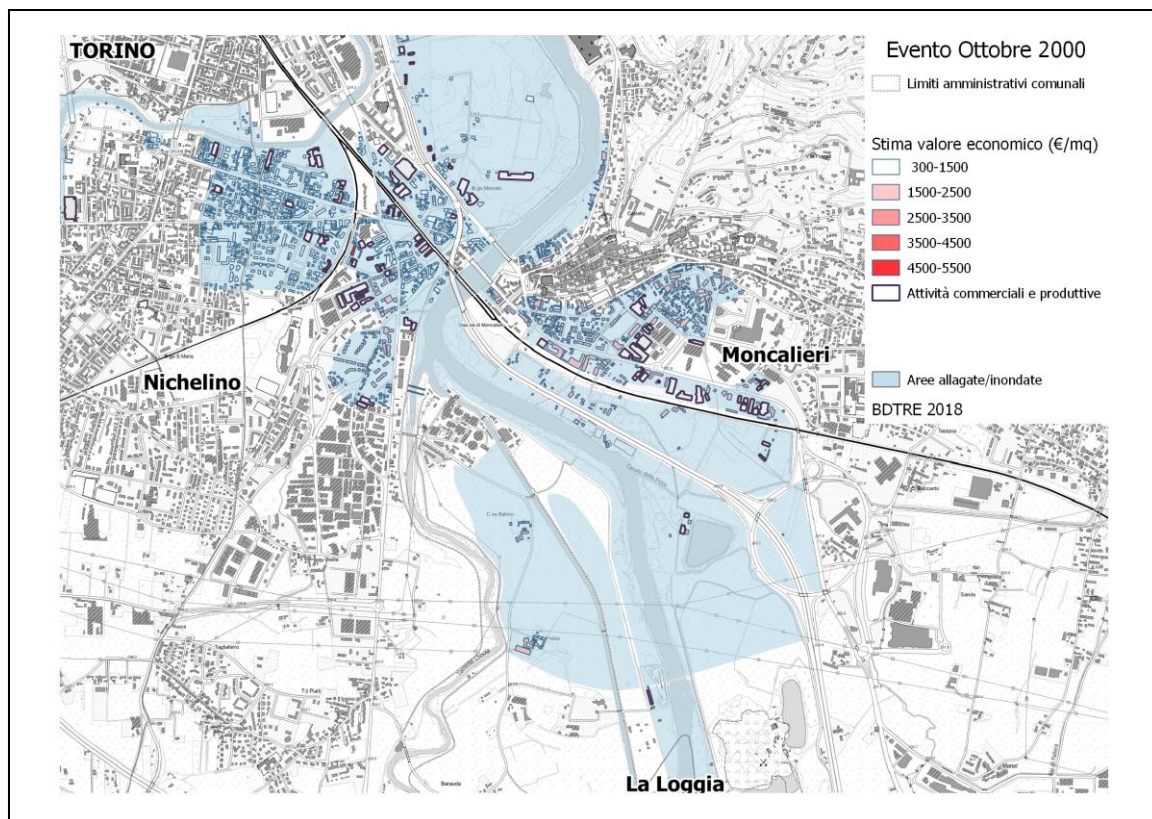


Figura 15. Distribuzione geografica della stima del valore economico nella zona di confluenza tra Po-Chisola per l'evento alluvionale dell'Ottobre 2000

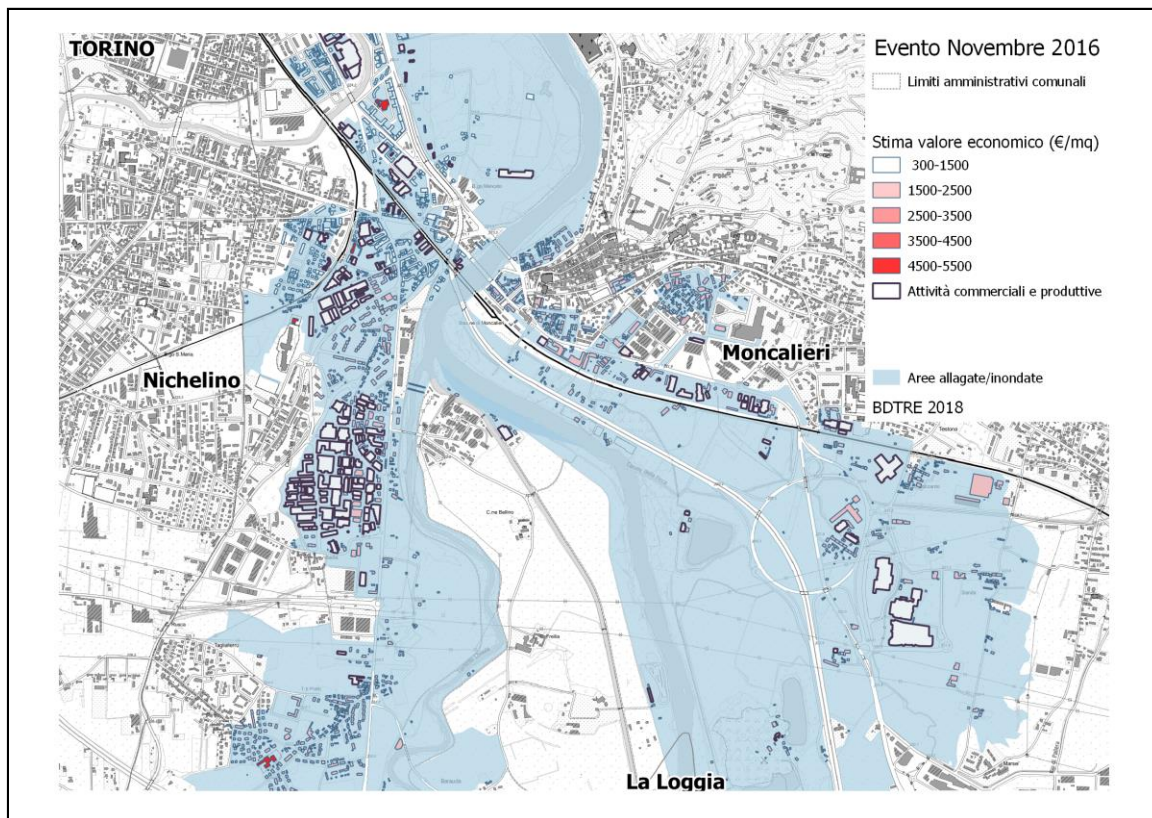


Figura 16. Distribuzione geografica della stima del valore economico nella zona di confluenza tra Po-Chisola per l'evento alluvionale del Novembre 2016

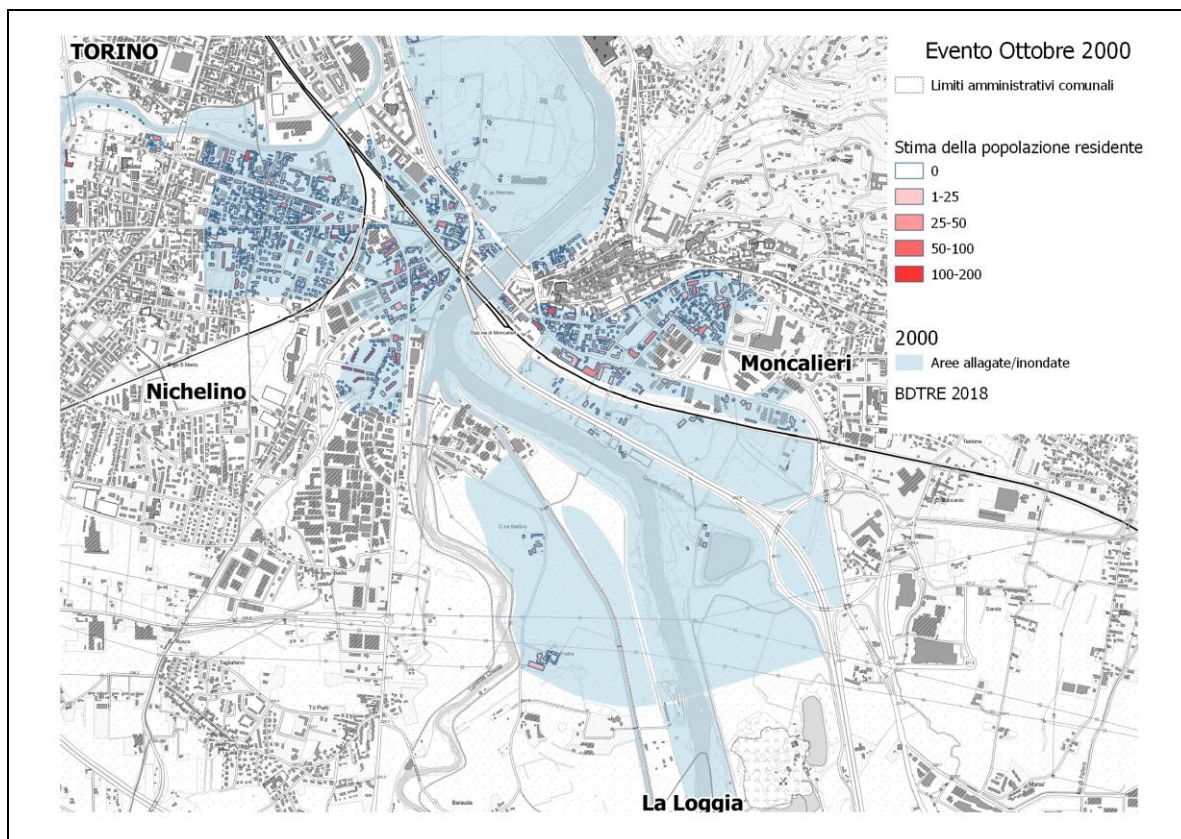


Figura 17. Stima della popolazione nella zona di confluenza tra Po-Chisola evento 2000

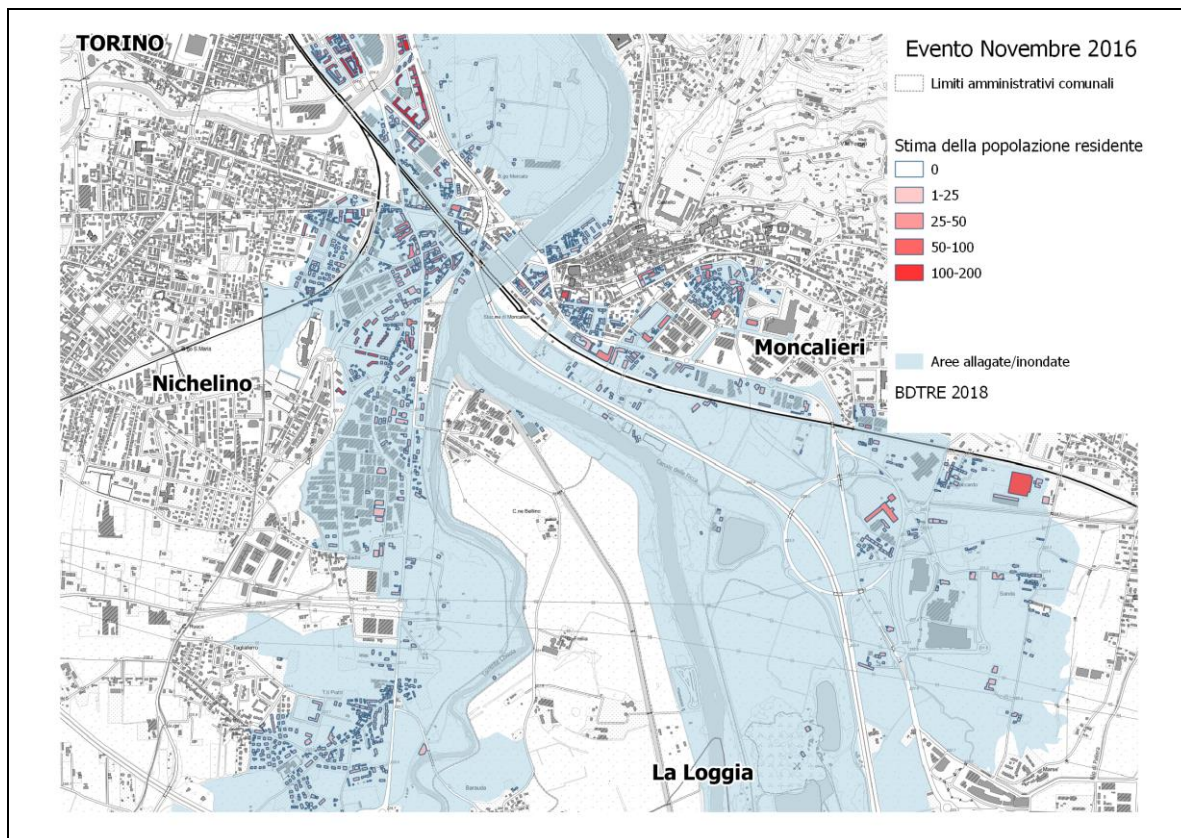


Figura 18. Stima della popolazione nella zona di confluenza tra Po-Chisola evento 2016

Utilizzo dei dati da telerilevamento

Il 24 novembre 2016 il Dipartimento Nazionale di Protezione Civile ha attivato i servizi di mappatura satellitare operativi a livello nazionale, in collaborazione con l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) e la Fondazione CIMA, e a livello europeo nell'ambito del programma Copernicus Emergency Management Service (EMS), permettendo di monitorare l'evoluzione della piena del Po e del Tanaro, grazie ai satelliti COSMO SkyMed e Pleiades.

In ambito nazionale, sono state rese disponibili le prime stime delle aree inondate predisposte da Fondazione CIMA ed estratte dalle acquisizioni dei satelliti radar COSMO SkyMed (CSK). In ambito europeo, sono state messe a disposizione dal servizio Copernicus EMS due diversi tipi di mappatura (Figura 19): quelle di delimitazione delle aree allagate (*delineation*) e, per alcune aree specifiche, le stime dei danni (*grading*). In figura Le prime identificano aree con presenza di acqua a partire da immagini radar post-evento (CSK), generalmente utilizzando procedure di identificazione semi automatizzate. Le seconde stimano i potenziali danni a partire dall'analisi manuale di immagini ottiche ad altissima risoluzione (Pleiades).

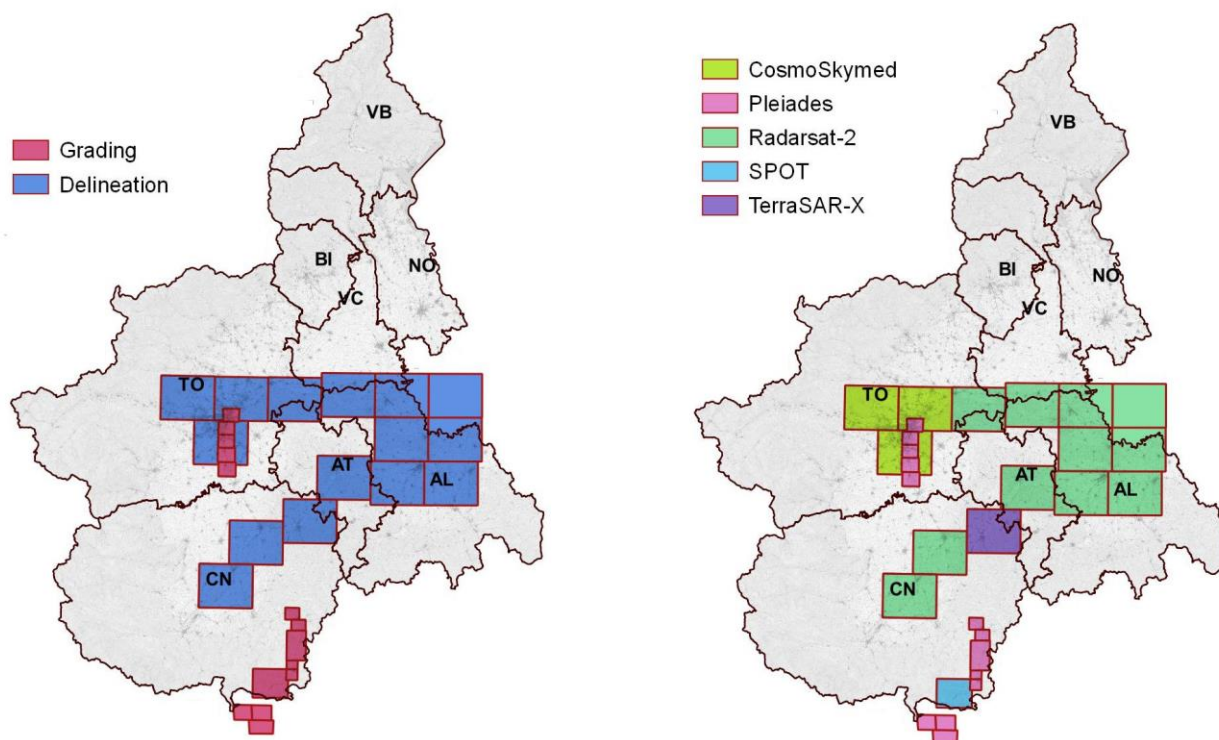


Figura 19. Territorio coperto dalle elaborazioni EMS del servizio Copernicus; a sinistra, tipo di analisi effettuata; a destra tipo di satellite utilizzato

Le immagini utilizzate nell'analisi non sono ovviamente coeve su tutto il territorio regionale, ma dipendono dalle orbite e dai relativi tempi di rivisitazione dei diversi satelliti. Generalmente le acquisizioni utilizzate per le mappature EMS Copernicus sono comprese tra il 25 e il 30 novembre. In particolare le immagini Radarsat sono relative al 25 novembre per le zone di Chivasso e Bra e al 27-28 novembre per le restanti zone; quelle Pleiades vanno dal 26 novembre (Ceva, Garesio, Torino e Moncalieri), 27 Novembre (Carignano e la Loggia) fino al 30 novembre per le zone di Monesi, Pornassio e Bagnasco. Le immagini RADARSAT utilizzate dal CIMA sono invece datate 25 (sera) e 26 novembre (mattino) per le zone del cuneese e del torinese, e 26 novembre (sera) per quelle dell'alessandrino.

Tutti i prodotti EMS sono disponibili attraverso il portale del servizio Copernicus Emergency Rapid Mapping al link <http://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR192> (Figura 20).

Dal portale sono scaricabili i prodotti in tre formati raster (geopdf, geojpg e geotiff) a tre risoluzioni (100, 200 e 300 dpi) e i vettoriali di tutti i contenuti informativi in formato shape.

The screenshot shows the Copernicus Emergency Management Service - Mapping portal. The main heading is "EMSR192: Floods in Northern Italy". Key information includes:

- Event Time (UTC):** 2016-11-24 17:00
- Event Time (LOC):** 2016-11-24 18:00
- Event Type:** Flood
- Activation Time (UTC):** 2016-11-24 20:04
- Reference maps produced:** 0
- Delineation maps produced:** 15
- Grading maps produced:** 18
- Activation Status:** Closed
- Affected Countries/Territories:** Italian Republic
- Area Descriptor:** Piemonte and Liguria Regions, Tanaro and Po rivers basins
- Authorized User:** Italy | Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento della Protezione Civile - Centro Situazioni
- Activation Reason:** Starting from November 22nd, heavy rainfalls are involving the territory of North West of Italy, in particular the Regions of Piemonte and Liguria. The bad weather conditions and the persistence of precipitations have caused the increasing of hydrometric levels of all the rivers in particular in the basin of Po river. A major flooding event is foreseen on 25th November.
- Requested Product:** Delineation maps

Below the text, there are two maps: a regional map of Northern Italy and a detailed "EMSR192 - Activation Extent Map" showing the flood extent in green. The detailed map includes a legend and a list of products by region:

- Filter by map type:** ALL, GRADING, DELINEATION
- Filter by product:**
 - ALL
 - Alba [03]
 - Alessandria [14]
 - Asti [04]
 - Bagnasco [29]
 - Bra [02]
 - Carignano [24]
 - Casale Monferrato [10]
 - Caselle [05]
 - Ceva North [19]
 - Ceva South [20]
 - Chivasso [08]
 - Fossano [01]
 - Gareggio North [21]
 - Gareggio South [22]
 - Gerrone [28]
 - Guardamiglio [25]
 - La Loggia [23]
 - Lomello [11]
 - Moncalieri [18]
 - Monesi [31]
 - Ormea [30]
 - Piacenza East [27]
 - Piacenza West [26]
 - Pomassio [33]
 - Rezzo [32]
 - Sale [13]
 - San Salvatore Monferrato [12]
 - Torino [06]
 - Torino Centre [16]
 - Torino Lingotto [17]
 - Torino South [07]
 - Tortona [15]
 - Trino [09]

At the bottom, there is a section for "[EMSR192] Bagnasco: Grading Map" with a "Downloadable items" button and a timestamp: "Published: 2016-12-02 15:23:30 (UTC)".

Figura 20. Pagina web del servizio Copernicus EMS da cui è possibile accedere ai prodotti disponibili per l'attivazione EMSR n. 192: "Flood in Northern Italy"

L'osservazione satellitare è stata utile per la caratterizzazione preliminare delle aree interessate dall'evento alluvionale, anche grazie ai tempi estremamente rapidi di analisi e restituzione.

L'analisi di dettaglio, effettuata successivamente utilizzando rilievi di terreno e fotointerpretazione, permette di effettuare una validazione sulla qualità del dato rilevato in emergenza. Emergono come prevedibile alcune problematiche, legate con buona probabilità all'utilizzo di algoritmi di classificazione semi-automatici, che per propria natura sono affetti da incertezze. Bisogna considerare anche i limiti legati al momento di acquisizione delle immagini

che non sempre coincidono con il passaggio del colmo di piena; come detto in precedenza infatti i tempi di acquisizione sono dipendenti dall'orbita del satellite e dal suo tempo di rivisitazione. Per le immagini ottiche è da tenere in conto anche la presenza di copertura nuvolosa che ne limita fortemente l'usabilità.

Il confronto tra le coperture ricavate da telerilevamento satellitare e quelle realizzate nell'ambito del presente lavoro evidenziano come la qualità del dato satellitare vari notevolmente a seconda delle aree del territorio analizzate, della tecnica di analisi utilizzata e del periodo di acquisizione delle immagini. Se si analizza l'area del Torrente Bormida in prossimità della confluenza con il Tanaro (Figura 22) le discrepanze sono rivelano particolarmente significative: la sovrapposizione tra le aree da telerilevamento e quelle realmente interessate dalle acque è mediamente inferiore al 10%. Nonostante l'acquisizione delle immagini sia successiva di quasi un giorno rispetto al passaggio del colmo di piena (Figura 21 a sinistra), le incertezze nell'analisi non sembrano completamente imputabili a questo ritardo: comparando le foto aeree di CGR, relative al 5 dicembre, dieci giorni dopo il passaggio del colmo di piena, infatti, sono ancora visibili zone invase dall'acqua che non sono state completamente identificate dall'analisi delle immagini RADARSAT (Figura 23).

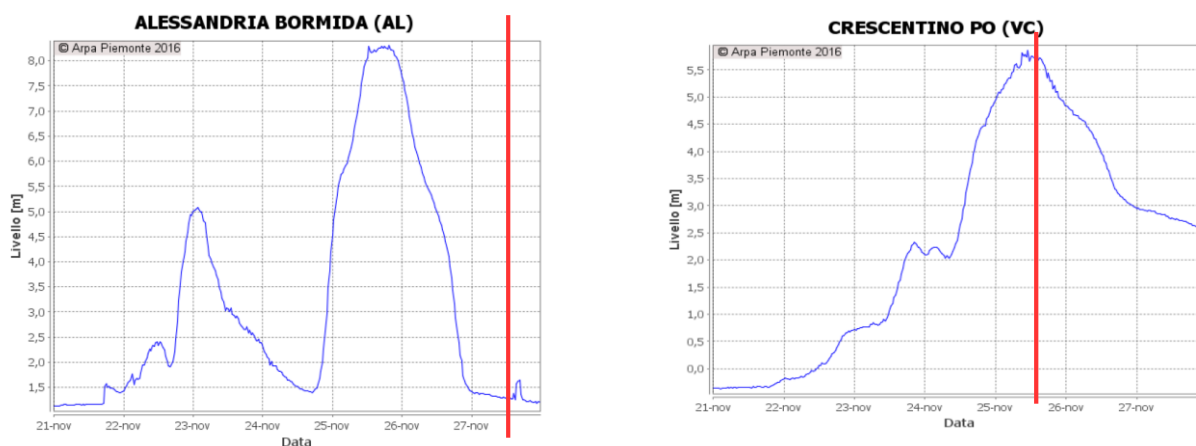


Figura 21. Confronto tra gli ideogrammi di Piena e le date di acquisizione delle immagini satellitari RADARSAT, a sinistra il T. Bormida nella zona di Alessandria, a destra il Fiume Po nella zona di Crescentino (VC). La linea rossa indica l'ora di acquisizione delle immagini satellitari utilizzate per l'interpretazione semi-automatizzata

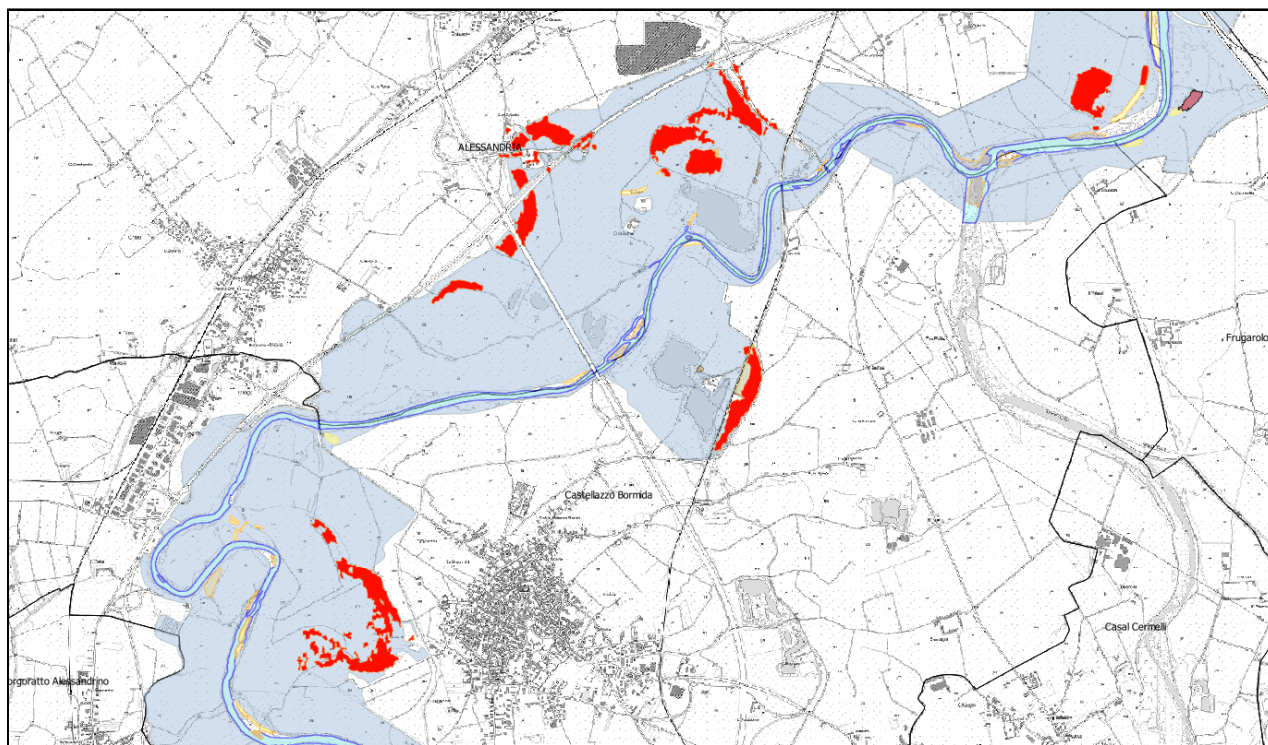


Figura 22. Confronto tra le aree allagate identificate dal servizio Copernicus EMS sulla base dei dati satellitari Radarsat-2 e i rilievi di dettaglio nella zona di Castellazzo Bormida

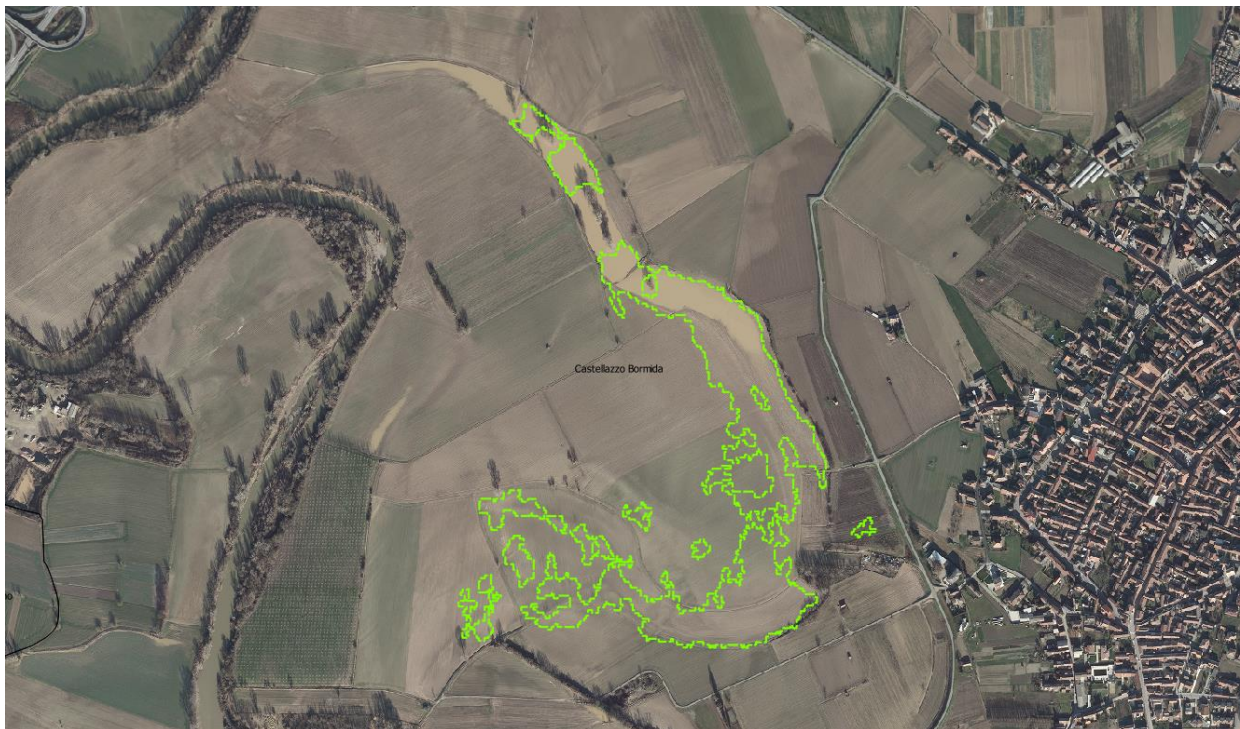


Figura 23. Paleoalveo del Bormida riattivato con presenza di acqua, visibile dalle foto aeree CGR (volo del 5 dicembre 2016), confrontate con le perimetrazioni rese disponibili dal servizio EMRS Copernicus (in verde)

In altre aree la percentuale di sovrapposizione è superiore, ad esempio per la zona del Po, dove l'acquisizione è avvenuta proprio in corrispondenza della colmo di piena, registrato dall'idrometro di Crescentino nella sera del 25 novembre. Nella zona di Chivasso la percentuale di sovrapposizione tra le aree identificate da satellite e quelle effettivamente interessate dalle acque è pari al 28% e supera localmente il 40% (Figura 24).

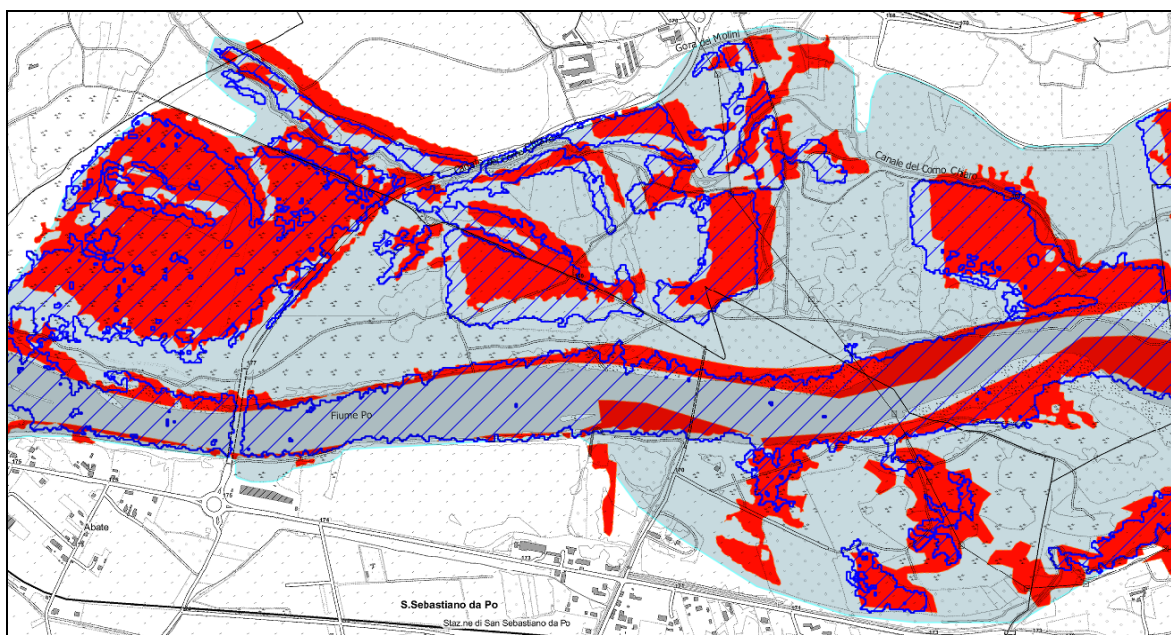


Figura 24. Confronto tra le aree perimetrate dal servizio Copernicus EMS (aree in rosso), dal CIMA (aree con il bordo blu) e quelle perimetrate da foto interpretazione e rilievi di terreno (in azzurro). Si noti la maggior sovrapposizione rispetto al caso del T. Bormida

Nel caso di utilizzo di immagini ottiche Pleiades ad altissima risoluzione, la qualità del dato rilevato in emergenza è decisamente maggiore. Per l'area della confluenza tra Bendola e Po, si registra un'ottima corrispondenza tra le aree mappate utilizzando i dati satellitari e quelle effettivamente identificate dai sopralluoghi di dettaglio (Figura 25 e Figura 26). In questo caso le percentuali di sovrapposizione superano il 50-60% (Sezioni Torino centro, Torino Lingotto e Moncalieri).

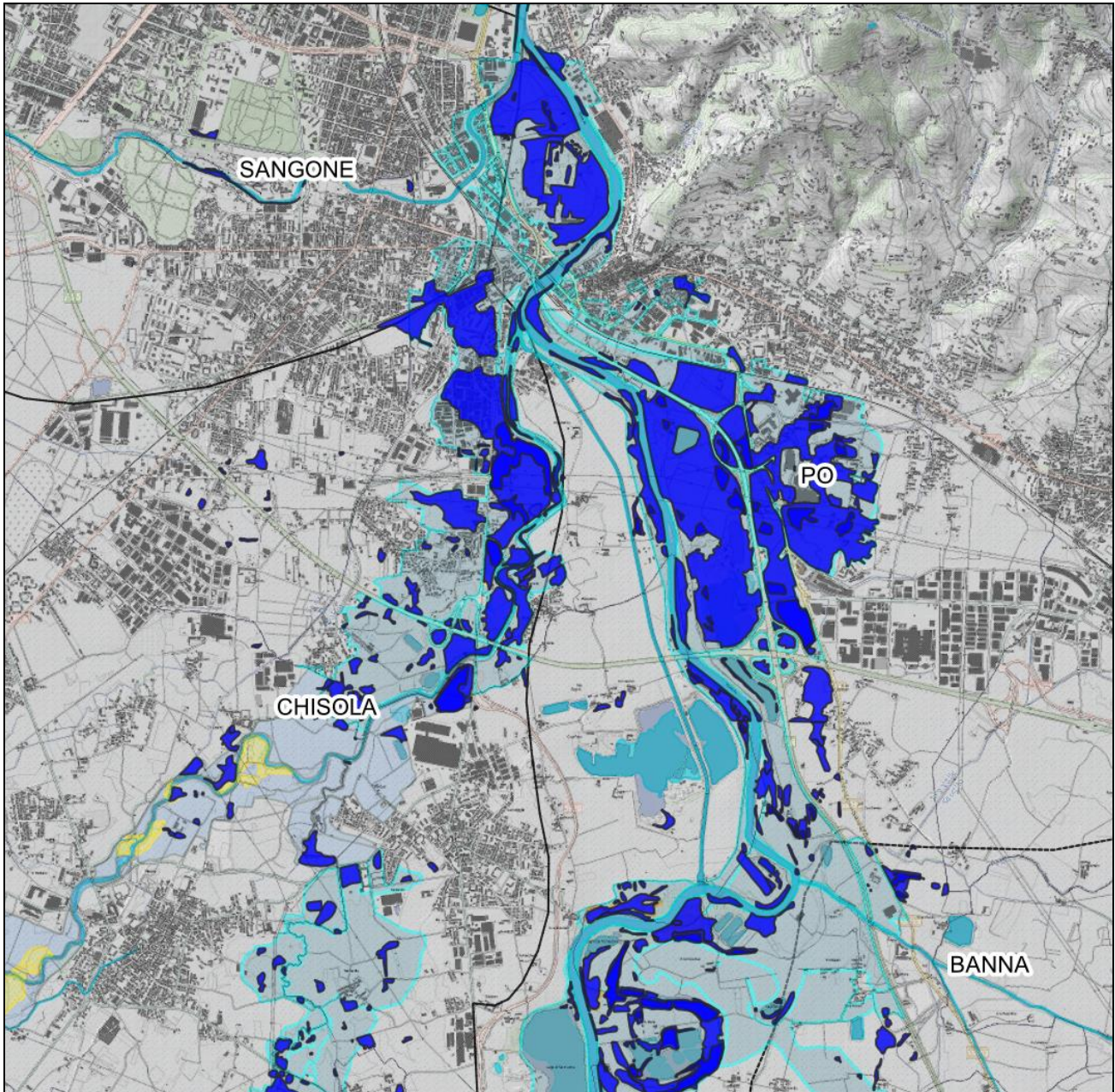
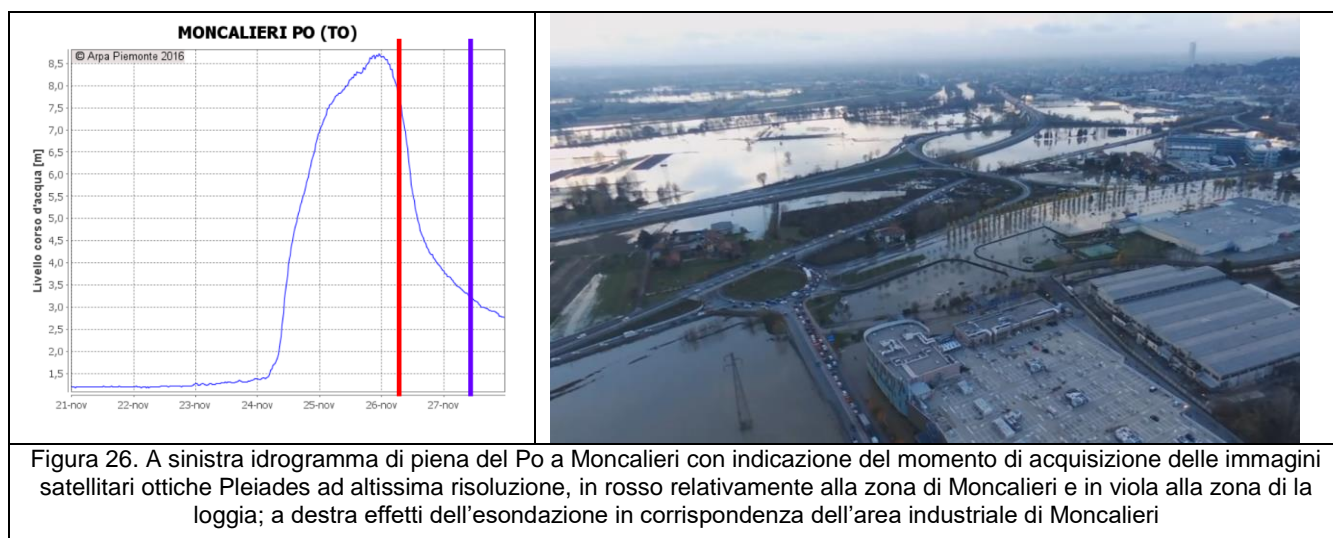


Figura 25. Confronto delle stime delle aree allagate derivate dall'analisi EMS Copernicus (in blu) e quelle derivanti da rilievo di terreno effettuate nell'ambito del presente lavoro (in azzurro). Zona di Moncalieri (porzione a nord) e di La Loggia (porzione a sud)



In Tabella 8 sono riportate nel dettaglio le percentuali di sovrapposizione tra le aree identificate come allagate dalle mappe Copernicus EMS e quelle derivanti dal lavoro di fotointerpretazione e rilievo di terreno. Non sono riportate le percentuali di aree mappate come allagate ma non confermate dal rilievo, in quanto si tratta in genere di valori non significativi. Si può notare le percentuali decisamente più significative per le aree dove sono state utilizzate immagini ottiche ad altissima risoluzione rispetto a quelle dove l'identificazione è avvenuta mediante algoritmi semiautomatici utilizzando immagini radar.

Tabella 8. Percentuale di sovrapposizione tra le aree identificate come allagate dalle mappe EMS Copernicus e quelle derivanti dai rilievi di terreno effettuate nel presente lavoro

MAPS	overlap	Sat	Type
02 BRA	10.8%	Radarsat-2	Delineation
05 CASELLETTE	2.4%	CosmoSkymed	Delineation
06 TORINO	10.8%	CosmoSkymed	Delineation
08 CHIVASSO	28.0%	Radarsat-2	Delineation
09 TRINO	1.2%	Radarsat-2	Delineation
10 CASALE_MONFERRATO	11.8%	Radarsat-2	Delineation
12 S._SALVATORE_MONFERRATO	12.0%	Radarsat-2	Delineation
13 SALE	15.9%	Radarsat-2	Delineation
14 ALESSANDRIA	16.9%	Radarsat-2	Delineation
15 TORTONA	7.1%	Radarsat-2	Delineation
16 TORINO_CENTRE	66.5%	Pleiades	Grading
17 TORINO_LINGOTTO	66.3%	Pleiades	Grading
18 MONCALIERI	52.8%	Pleiades	Grading
21 GARESSIO_NORTH	33.0%	Pleiades	Grading
22 GARESSIO_SOUTH	44.4%	Pleiades	Grading
23 LALOGGIA	17.2%	Pleiades	Grading
24 CARIGNANO	13.7%	Pleiades	Grading
29 BAGNASCO	17.7%	Pleiades	Grading
30 ORMEA	37.7%	SPOT	Grading

Ne emerge come l'utilizzo di immagini da satellite per l'identificazione delle aree allagate risultino un prezioso aiuto in fase di emergenza, anche grazie ai tempi estremamente rapidi di analisi e restituzione. Nella successiva fase di analisi di dettaglio degli effetti al suolo queste informazioni rappresentano un importante supporto nella ricostruzione degli effetti al suolo, ma richiedono un'attenta attività di verifica e validazione; la pronta disponibilità delle immagini satellitari grezze, oltre che dei prodotti di mappatura, permette infatti di effettuare autonomamente ulteriori approfondimenti.

Bibliografia sitografia

Arpa Piemonte *BDE - Banca Dati Eventi*.

https://webgis.arpa.piemonte.it/Geoviewer2D/index.html?config=other-configs/bde_config.json

http://webgis.arpa.piemonte.it/geoportalserver_arpa/catalog/search/resource/details.page?uuid=ARLPA_TO%3A07.04.06-D_2015-03-31-11%3A07&title=Regione%20Piemonte,%20Arpa%20Piemonte,%20Citt%C3%A0%20Metropolitan a%20di%20Torino%20-%20Banca%20Dati%20Eventi

Arpa Piemonte *SIFRAP (Sistema Informativo frane in Piemonte)*.

https://webgis.arpa.piemonte.it/Geoviewer2D/?config=other-configs/SIFRAP_config.json

http://webgis.arpa.piemonte.it/geoportalserver_arpa/catalog/search/resource/details.page?uuid=ARLPA_TO%3A07.04.02-D_2011-03-24-11%3A43&title=Arpa%20Piemonte%20-%20SIFraP%20-%20Sistema%20Informativo%20Frane%20in%20Piemonte

Regione Piemonte (2016). *L'evento alluvionale del 21-25 novembre 2016 in Piemonte*

http://www.regione.piemonte.it/alluvione2016/dwd/rapporto_evento_nove2016.pdf

Regione Piemonte (2017). *Nota integrativa sugli effetti lungo le aste Tanaro e Bormida (Province di Asti e Alessandria)*

http://www.regione.piemonte.it/alluvione2016/dwd/rapporto_evento_nove2016_nota.pdf

Regione Piemonte. *Valori Economici Immobiliari (OMI 2016) e popolazione residente (CENSIMENTO 2011) della classe edificio della BDTRE*

<http://www.geoportale.piemonte.it/geocatalogorp/>

FIUME PO

Il Fiume Po da Cardè a La Loggia

Il territorio interessato dal rilevamento si estende dal comune di Cardè fino ai comuni di La Loggia - Villastellone alla confluenza con il torrente Banna, per una lunghezza di circa 50 km di asta.

Sono stati effettuati quattordici sopralluoghi a partire da febbraio 2017 fino a luglio 2017. I rilievi pertanto non sono stati immediatamente successivi all'evento. Il lavoro è quindi consistito nella attenta ricerca delle tracce di passaggio della piena, seguendo il deposito di sedimenti sulle golene, i danni alle infrastrutture quali strade, ponti, argini, i segni tipici come gli accumuli di frustoli sui terreni e sugli alberi, le erosioni sul piano campagna, l'abbattimento di alberi e di altri ostacoli vegetali, i danni alle abitazioni, alle recinzioni, ai depuratori.

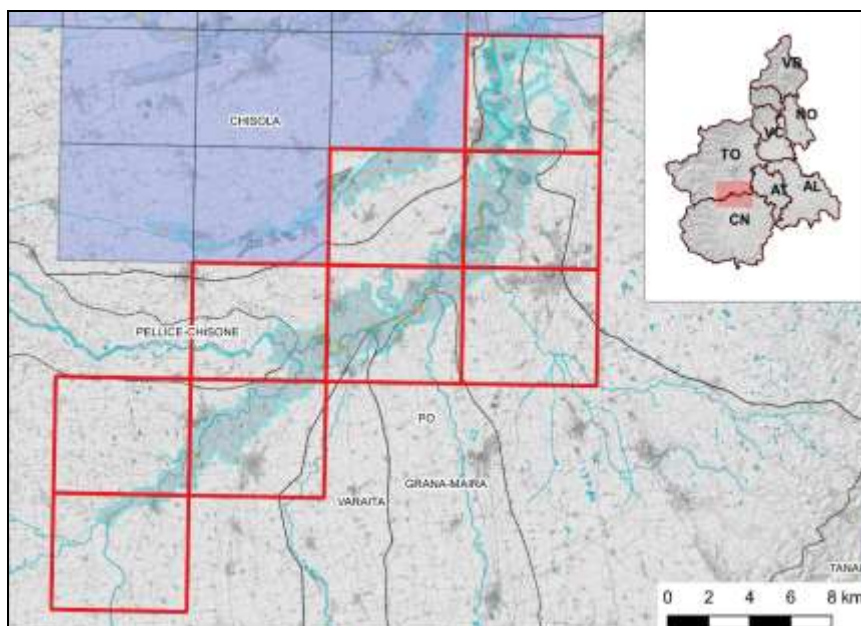


Figura 1. Quadro di unione delle sezioni BTRE al 1:10.000 su cui è stato effettuato il rilievo di dettaglio descritto nel paragrafo

Essendo trascorso del tempo dall'evento, fondamentali sono state le interviste agli abitanti del posto e i contatti con le amministrazioni comunali, che sono state tutte coinvolte ed hanno offerto la loro collaborazione fornendo mappe già redatte da tecnici del settore, come nel caso di Moretta, o con indicazioni puntuali dei livelli e delle aree ed attività colpite e documentazione fotografica e video.

Sono state reperite ulteriori informazioni, supporti fotografici e filmati anche da professionisti che si sono resi disponibili fornendo il proprio materiale.

Da questa attività è stato possibile delimitare le aree allagate ed individuare i tiranti nei punti più significativi o dove ve ne fosse evidenza. Con la pubblicazione delle immagini aggiornate di Google Earth, in un secondo momento, è stato possibile sovrapporre i risultati di quanto raccolto ed elaborato, alle foto aeree ed arricchire il quadro dell'evento con informazioni sui depositi di sabbia, le direzioni di deflusso sui campi, le erosioni del piano campagna e delle sponde. Va infatti tenuto conto che alcuni campi, al momento dei sopralluoghi, erano già stati arati, che la superficie allagata è stata estremamente vasta e che, in alcune situazioni, i battenti sono stati così contenuti che la sola crescita dell'erba o l'umidità del terreno rendevano difficile l'attribuzione all'area allagata.

Sono stati utilmente impiegati anche i voli effettuati dall'associazione "I falchi di Daffi" connessi con la Protezione Civile regionale e le foto effettuate da aereo. Inoltre sono stati reperiti in rete filmati e foto, in particolare quelli messi a disposizione per la zona di Carignano, La Loggia.

I risultati del rilevamento sono stati confrontati, integrati, rimodulati vicendevolmente con il rilievo effettuato da CNR IRPI di Torino che ha operato sulle medesime aree.

Tratto da Cardè alla confluenza Pellice (comuni di Cardè, Villafranca Piemonte, Moretta, Faule)



Figura 2. erosione rilevato sponda sinistra a Cardè

L'allagamento ha interessato ampie porzioni della pianura, che ha svolto la sua funzione di laminazione. Su questi territori sono state interessate alcune cascate già ricomprese in fascia B e la stessa frazione Brasse di Moretta.

È risultato invece inaspettato l'allagamento di porzioni di territorio facenti parte della Fascia C o addirittura esterne. È il caso delle cascate Colombero e Mado tra Cardè e Moretta, che hanno subito un allagamento di acqua a bassa energia, ma con tiranti rilevanti,

anche dell'ordine del metro e mezzo, facendo temere per il bestiame chiuso nelle stalle.

Per quanto riguarda i centri abitati, sono state interessate alcune abitazioni di Cardè nel settore NW prossimo al ponte, anche in questo caso esterno alle fasce fluviali.

Insolito è anche l'allagamento del campo sportivo e di alcune abitazioni del concentrico di Moretta. A Villafranca Piemonte la piena ha seguito i limiti della Fascia B ad eccezione del campo sportivo che ne è esterno. Alcune abitazioni sono state allagate con bassi tiranti (dai 10 ai 20 cm) anche a Faule nel settore nord-ovest del concentrico.

Per quanto riguarda la viabilità va segnalata l'erosione del rilevato in sponda sinistra di accesso al ponte della SP29 in Cardè (Figura 2) e del rilevato della SP1 che collega Moretta a Villafranca. Questa infrastruttura, posta trasversalmente al deflusso della corrente, è stata erosa ed asportata in più punti, interrompendo la viabilità.

Sono state riscontrate evidenze di acqua ad alta energia tra Moretta e Faule, infatti oltre al rilevato stradale già citato, sono stati erosi e danneggiati alcuni rilevati arginali discontinui prossimi alla sponda destra. Le brecce sono localizzate ma importanti.

Tratto dalla confluenza Pellice alla confluenza Maira (comuni di Polonghera, Pancalieri, Casalgrasso, Lombriasco)

L'apporto della piena del Pellice il cui colmo è avvenuto quasi contemporaneamente a quello del Po, ha dato origine a un'onda di deflusso con tempi di ritorno stimati in 50 anni. La piena per il tratto considerato è risultata maggiore di quella dell'ottobre 2000, gli allagamenti hanno interessato porzioni assai più estese di territorio come risulta dalla Figura 3.

L'elevarsi dei tiranti idrici, al passaggio dell'onda di piena, ha visto dapprima l'esondazione delle acque in corrispondenza dei tratti di alveo abbandonati negli ultimi decenni quindi più prossimi al corso d'acqua e in seguito la riattivazione preferenziale dei canali relitti incisi presenti sulla pianura tra Pancalieri e Lombriasco (T. Po morto e Fosso Po morto) (Figura 3). Parte degli abitati siti sui terrazzi prospicienti la fascia di pertinenza fluviale sono stati lambiti dalle acque e a volte alcune porzioni sono state inondate. Pancalieri, Casalgrasso, hanno visto le aree di più recente costruzione verso il corso d'acqua coinvolte dagli allagamenti con battenti dagli 80-130 cm nell'area commerciale di Casalgrasso e via Trento Trieste a Pancalieri.

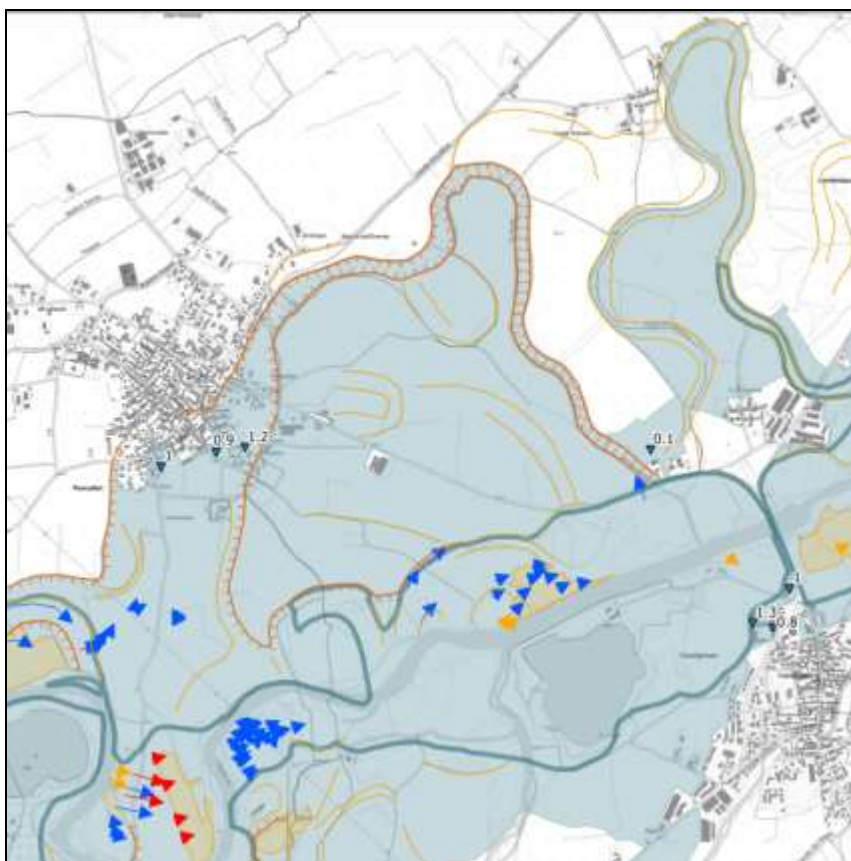


Figura 3. Sulla Cartografia DBTRE della Regione Piemonte sono state evidenziate in azzurro le aree interessate dalle inondazioni e con le linee arancioni i paleovalvei incisi sulla pianura tra Pancalieri e Lambriasco, vie preferenziale degli allagamenti durante l'evento. Si noti il confronto con l'estensione dell'area interessata nell'evento del 2000 (linea verde)

Nel dettaglio per i centri abitati va segnalato l'allagamento di Pancalieri, aggravato dall'erosione di un argine in terra quasi tangente all'ansa di Po poco a monte del concentrico (Figura 4). Questa apertura ha favorito l'allagamento dei settori sud del paese, che hanno visto allagate alcune abitazioni e i territori a cavallo della SP30.



Figura 4. Rotta arginale a Faule evidenziata dalla linea rossa

Lombriasco ha visto allagati i territori compresi tra il Po e il rilevato della SP663 sui quali sono localizzate alcune abitazioni, laghi di cava e il depuratore, completamente sommerso. Il rilevato della provinciale ha permesso di salvaguardare il paese, l'acqua a ridosso del manufatto ha raggiunto il tirante di un metro.

Le strade colpite sono state la SP30, dove in prossimità del ponte per Casalgrasso, in sponda sinistra è stato eroso il rilevato consentendo l'allagamento dei territori a nord della provinciale e la SP149, localizzata sui territori compresi nel meandro di Po che collega Pancalieri a Faule, completamente asportata per un tratto di circa 150 m.

A Casalgrasso è stata allagata l'area produttiva a monte del rilevato stradale SP663 che funge da imbuto alle acque di piena costrette ad incanalarsi nell'unica sezione libera del ponte (Figura 5).

I battenti a monte dell'opera di attraversamento sono stati esaltati anche per la presenza della traversa di derivazione che crea una discontinuità nel flusso di acqua e sedimenti diminuendone la velocità (Figura 6). Una porzione di concentrico nei pressi di via Torino (Figura 7) invece è stata interessata da flussi richiamati dalla fuoriuscita delle acque a valle della traversa poiché ivi era attivo prima della metà dell'800 l'alveo del Po (Figura 8).



Figura 5. Ponte sul Po a Casalgrasso



Figura 6. In primo piano la traversa a servizio dell'opera di presa e il ponte della strada SP663



Figura 7. Allagamento nel concentrico di Casalgrasso



Figura 8. In azzurro sulla cartografia Gran Carta Stati Sardi del 1852-1862 è stato evidenziato il tracciato dell'alveo prima della rettifica avvenuta nel 1845. L'allagamento di una porzione del concentrico di Casalgrasso che si trova in corrispondenza dell'antico tracciato e quindi in una zona ribassata

Tratto dalla confluenza Maira alla confluenza Banna (comuni di Carmagnola, Carignano, La Loggia, Villastellone, Moncalieri)

Questo tratto di Po è caratterizzato dagli ampi allagamenti della sua pianura circostante. Qui sono presenti numerosi laghi di cava, specchi d'acqua anche di grandi dimensioni, che hanno avuto un ruolo non trascurabile (anche se al momento non quantificato) nella laminazione della piena. In alcune situazioni soprattutto, hanno consentito di invasare parte dell'acqua esondata, riducendone anche l'energia. Gli effetti erano visibili su tutti i bacini, ma sono soprattutto quelli di dimensioni ragguardevoli ad avere avuto effetti rilevanti, come ad esempio il lago di sponda sinistra in corrispondenza della frazione Ceretto e le cave Germaire in destra nel comune di Carignano.

Sempre in destra, in comune di Carmagnola, i laghi a monte della confluenza Meletta e così via proseguendo verso monte fino al lago Sant'Anna in comune di La Loggia.

È stato rilevato un taglio di meandro a monte del ponte della SS20 in sponda sinistra, in comune di Carmagnola, che ha avuto come conseguenza l'erosione di un'importante porzione di terreno agricolo.

L'approfondimento delle anse nel tempo, che hanno raggiunto un'elevata sinuosità locale, ha determinato l'avvicinamento reciproco tra i due lobi successivi con il salto del collo che li separa durante la piena di novembre (Figura 9).



Figura 9. Nella cartografia a sinistra il taglio del meandro, evidenziato dalle frecce rosse, naturale evoluzione dei corsi d'acqua ad alveotipo meandriforme. A destra le aree inondate a Carignano e i battenti idrici raggiunti

L'allagamento dei centri abitati si limita al concentrico di Carignano, particolarmente colpito nella porzione nord-ovest della frazione Garavella, esclusi gli impianti sportivi, interessando moltissime abitazioni (Figura 9).

Un allagamento particolare, con bassi tiranti e velocità, ha interessato una vasta porzione di territorio nei comuni di Carmagnola e Villastellone, riattivando anche forme relitte molto distanti dal Po, fino a lambire la frazione Mauriti e cascina Motta. Non è da escludere che l'allagamento sia stato alimentato anche dalla rete irrigua particolarmente capillare e dall'emergenza della falda qui molto superficiale.

Infine, sempre con tiranti contenuti, è stata allagata una porzione della frazione Tetti Sapini di Moncalieri, dove il Banna, prossimo alla confluenza e rigurgitato dal Po, ha allagato la pianura in sinistra.

In questo tratto la viabilità principale non ha subito danni. La SS20 a monte di Carignano ha separato l'allagamento proveniente dalla sponda sinistra a monte da quello sulla medesima sponda a valle del ponte. In corrispondenza del concentrico però, a causa dell'allagamento in sponda sinistra a monte del ponte della SP122 per Villastellone e della frazione Garavella di Carignano, la SS20 è stata allagata e chiusa alla circolazione veicolare.

Le opere di difesa presenti in questo tratto, soprattutto quelle più recenti presenti lungo la sponda sinistra a La Loggia, si sono rivelate efficienti ed efficaci nel contenimento dei livelli.

Va segnalato il caso dell'argine di sponda destra alla confluenza tra Maira e Po in comune di Lombriasco ma con effetti sul comune di Carmagnola. Qui è presente un rilevato arginale in terra di notevoli dimensioni, sul quale si attesta l'attuale fascia B naturale del PAI. L'opera è stata erosa aprendo due importanti brecce che hanno consentito all'acqua di allagare vaste porzioni di terreni agricoli a nord della frazione Motta interessando alcune cascine.

Il Fiume Po da Moncalieri alla confluenza dello Stura di Lanzo

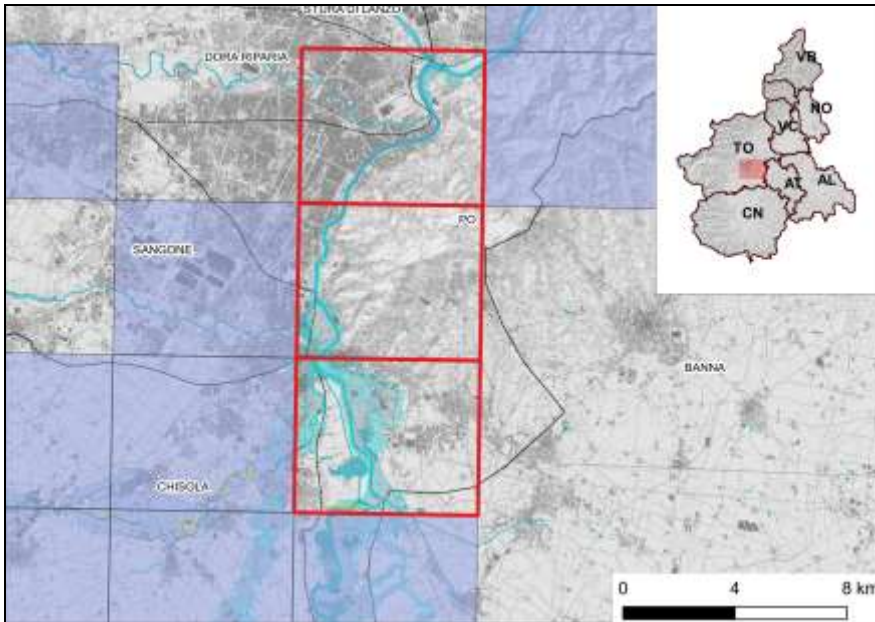


Figura 10. Quadro di unione delle sezioni BDTRE al 1:10.000 su cui è stato effettuato il rilievo di dettaglio descritto nel paragrafo

Il Fiume Po ha assunto il ruolo di principale collettore del reticolo idrografico del settore torinese in seguito al fenomeno di diversione avvenuto nel Pleistocene superiore, innescato dall'evoluzione tettonica dell'area, per il quale il Po ha deviato il suo corso da sud a nord della collina di Torino. Nel settore torinese il Po mostra caratteristiche planimetriche e morfologiche in buona misura riconducibili all'interazione tra attività tettonica recente e apporti sedimentari da parte dei bacini tributari. Il Po ha infatti assunto un diverso comportamento in termini di erosione e sedimentazione a

monte e a valle di Moncalieri in risposta alla presenza di una "soglia" sepolta, originatasi per il sollevamento della struttura anticlinale di Superga, elemento di separazione del Bacino Piemontese meridionale da quello settentrionale, nonché elemento di controllo della storia morfologica dell'area. Il marginale coinvolgimento di tale soglia nel progressivo sollevamento della Collina di Torino, durante la fine del Pleistocene superiore e nel corso dell'Olocene, ha imposto al corso d'acqua una morfologia a meandri liberi a monte della soglia stessa (tratto a monte di Moncalieri), mentre nel tratto torinese l'alveo è stato costretto a migrare lateralmente verso il margine dei rilievi collinari assumendo una geometria moderatamente sinuosa incassata, con scarpate anche di 8-10 metri, tra i depositi distali del conoide fluvioglaciale del Fiume Dora Riparia. Le acque di fusione del ghiacciaio della Valle di Susa, la cui fronte raggiungeva, nelle fasi di massima espansione, la periferia dell'attuale area metropolitana torinese, apportava infatti ai tributari del Po, soprattutto alla Dora Riparia ingenti quantità di sedimenti, edificando grandi conoidi. In tal modo la direttrice di deflusso si è spostata verso il margine dei rilievi collinari, condizionando il percorso del Po, costretto a lambire il margine occidentale e nordoccidentale della Collina di Torino da Moncalieri fino a San Mauro.

L'intervento antropico ha infine modificato in tempi recenti l'evoluzione morfologica del tratto tra la confluenza del Tepice e del Banna e la confluenza del Chisola, attraverso opere di rettificazione realizzate già in epoca storica, con interventi di risagomatura e stabilizzazione delle sponde e con la costruzione di traverse, come quella di La Loggia, capaci di influenzare l'assetto longitudinale del corso d'acqua nonché di un sistema arginale quasi continuo su entrambe le sponde.

Le configurazioni geologica, tettonica e antropica influenzano l'esplicitarsi dei processi fluviali che, come evidenziato dall'evento del 2016, differiscono nelle due zone sopra indicate.

Nella parte a monte l'alveo rettificato favorisce il deflusso delle piene, anche se aumenta per i tratti a valle il rischio da esondazione a causa del trasferimento delle portate di picco. Tuttavia i due argini che lo racchiudono delimitano una fascia di ampiezza di 250 m, probabilmente troppo esigua per laminare le piene più gravose. Il tratto a valle è inciso più profondamente e confinato nei terrazzi alluvionali meno a rischio di allagamenti.



Figura 11. Zona a monte di Moncalieri - forme di meandri relitti (linea tratteggiata blu) presenti sulla pianura alluvionale in sinistra e in destra rispetto all'alveo attuale derivati dal DTM derivati da lidar

Durante la piena di novembre il Po allaga una vasta area alla confluenza con i torrenti Tepice e Banna, e si incanala nel sistema di arginature. Al culmine della piena la sera del 25 novembre, appena dopo la E70 avviene il sormonto dell'argine in sponda destra che causa l'allagamento dell'area di cava e dei campi adiacenti, con battenti di 70 cm. L'acqua attraversa i sottopassi e si unisce a quella fuoriuscita, per la rottura di alcuni tratti di argine, dal canale della Ficca. Da qui i deflussi irrompono dapprima nella zona commerciale a sud dell'abitato e poi in Moncalieri. Le zone incise nell'antico paleoalveo del Po vengono inondate da un metro di acqua: borgata Borgo Aje, Corso Savona, via Kennedy, via Del Ballo, una parte di via Don Minzoni, via Einaudi, via Vittime di Bologna, strada Villastellone, via XXIV Maggio e via De Nicola. Nelle aree immediatamente prospicienti il Po dove il corso d'acqua si piega verso l'abitato di Moncalieri, i livelli idrometrici elevati fanno sì che tutta l'area a ridosso dell'ansa, priva di protezioni si allaghi: al centro polifunzionale California Dream il livello dell'acqua ha raggiunto il metro di altezza.



Figura 12. In primo piano il Po, sulla sinistra l'autostrada A6 e lo svincolo di Corso Savona



Figura 13. Zona commerciale di Moncalieri (a sinistra), edifici allagati tra Via De Gasperi e Via Einaudi

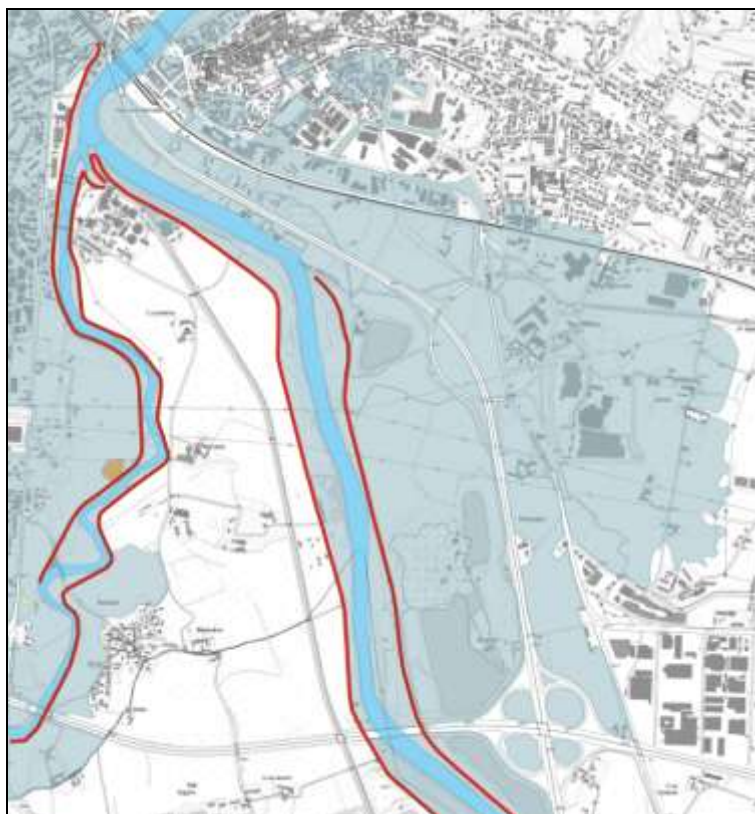


Figura 14. Nella cartografia sono evidenziate le aree inondate durante l'evento e con le linee rosse il sistema arginale

Le acque del Po dopo aver ricevuto quelle del Chisola, a valle dei ponti che collegano le due porzioni dell'abitato di Moncalieri, esondano sia in destra che in sinistra coinvolgendo il quartiere tra Strada Torino e il Parco Lungo Po e tutta l'area compresa tra il rilevato dell'A6 e la confluenza del Sangone, con altezze dei battenti con tiranti idrici fino a un metro.

A valle della confluenza il Po risulta incassato in alti terrazzi. Tale assetto morfologico fa sì che il tratto cittadino non sia stato interessato da allagamenti estesi. Solo le aree limitrofe al fiume come quella dei campi sportivi di Via Moncalieri, la parte più bassa del Valentino, i Murazzi, vengono inondate. Alla confluenza del Po con il Torrente Stura di Lanzo in sponda destra si registra un allagamento di estensione maggiore che interessa la zona del Parco del Meisino.



Figura 15. Parco del Valentino (a sinistra) e Imbarco Perosino (a destra). (Foto Arpa Piemonte, 26/11/2016)

LE RICADUTE IN TERMINI DI PIANIFICAZIONE

Il Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino del Fiume Po approvato con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 24 maggio 2001, obbliga i comuni ad effettuare, attraverso la revisione dei propri strumenti urbanistici, la verifica delle effettive situazioni di dissesto e di rischio idraulico ed idrogeologico presenti sul proprio territorio rispetto a quelle individuate dal PAI medesimo. A tal proposito, il Comune di Moncalieri ha effettuato la revisione del proprio strumento urbanistico attraverso la Variante n. 15 di adeguamento al PAI, approvata con DGR n. 18-5208 del 5.02.2007, risultando formalmente adeguato al PAI medesimo.

Per quanto riguarda i corsi d'acqua, nel territorio del comune di Moncalieri il PAI (cfr Figura 16) individua lungo i principali corsi d'acqua (Po, Sangone e Chisola) le fasce di deflusso della piena (Fascia A), le fasce di esondazione (Fascia B) e le aree di inondazione per piena catastrofica (Fascia C).

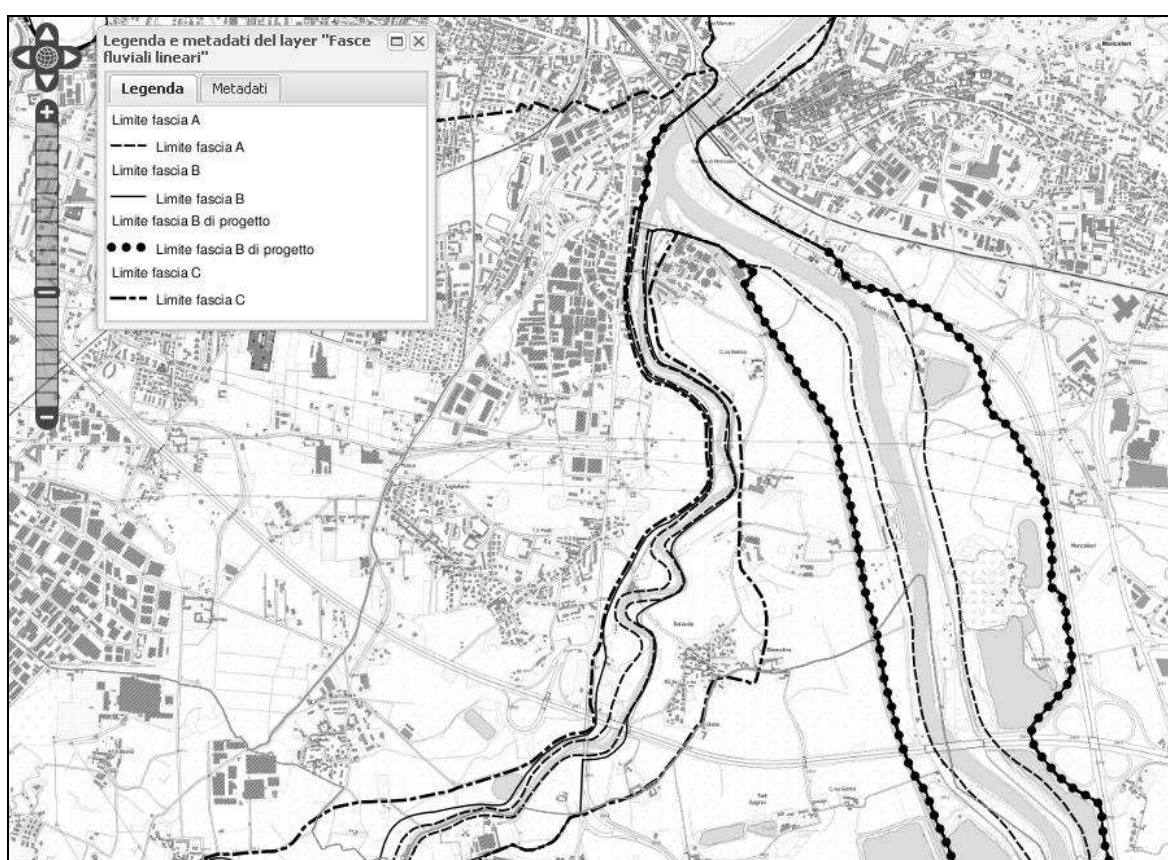


Figura 16. Fasce fluviali PAI

A seguito delle consistenti precipitazioni piovose abbattutesi nell'ultima decade del mese di novembre 2016, il bacino idrografico del fiume Po che attraversa il territorio moncalierese è stato messo fortemente in crisi in diversi punti, anche a seguito di rotture arginali, causando nelle zone pianeggianti estese inondazioni di ambiti edificati con battenti d'acqua superiori al metro (cfr. Figura 17 e Figura 18).

L'evento calamitoso ha evidenziato un sottodimensionamento delle fasce fluviali individuate dal PAI che si sono dimostrate non coerenti con le reali condizioni di dissesto riscontrate a seguito dell'evento alluvionale. In particolare la piena concomitante del fiume Po e del torrente Chisola, idrologicamente molto rara, ha portato a fenomeni di rigurgito a monte della confluenza, determinando in più punti la tracimazione arginale del Chisola e in alcuni casi anche alla rotta d'argine.

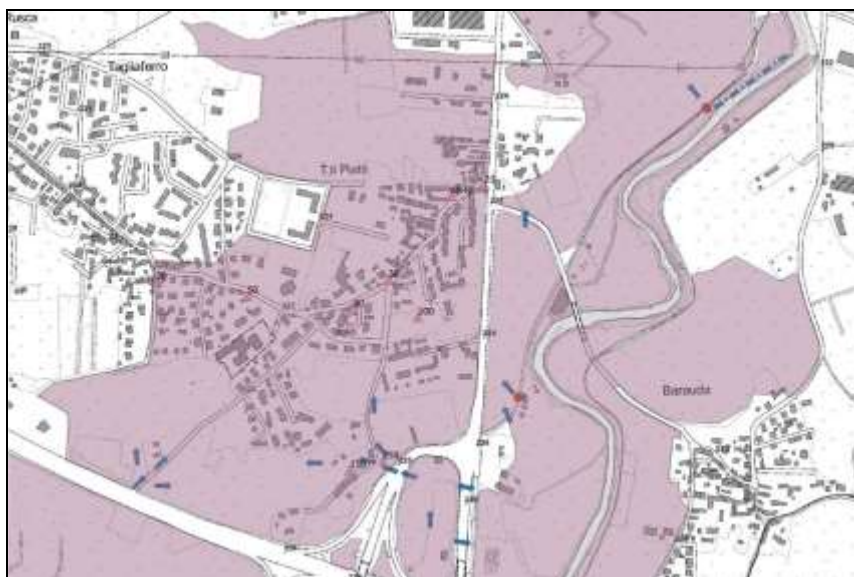


Figura 17. Stralcio delle aree allagate

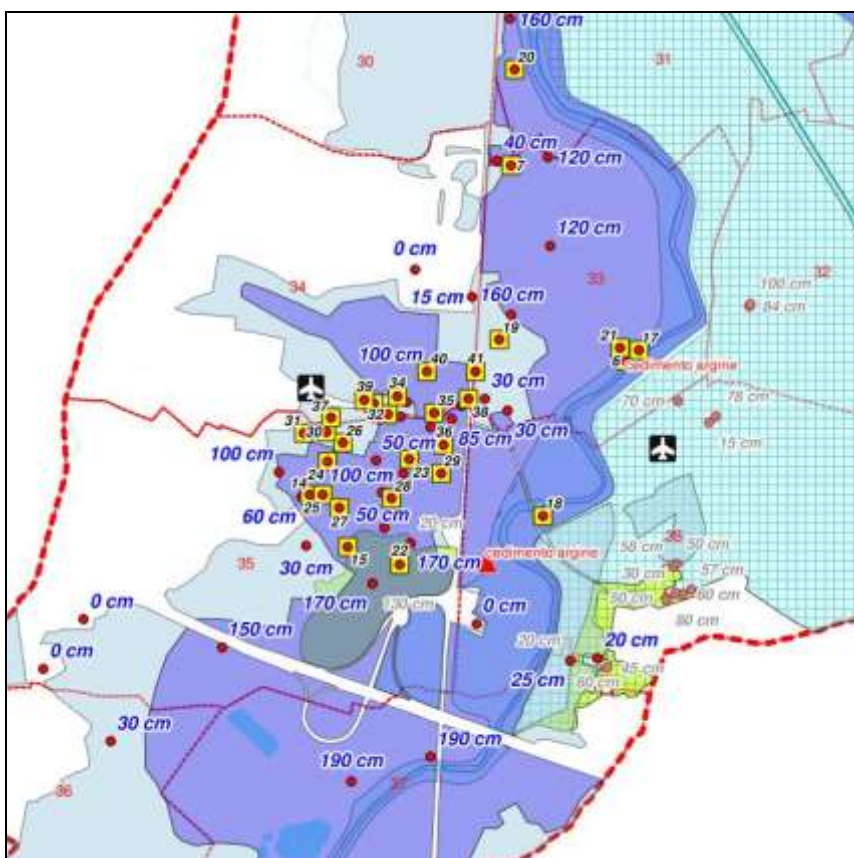


Figura 18. Aree allagate con indicazione dei battenti

Nel piano regolatore vigente molte aree interessate da inondazioni con battenti d'acqua significativi ricadono, dal punto di vista della pericolosità geologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica ai sensi della Circolare PGR n. 7/LAP/96 e successiva Nota Tecnica Esplicativa del 1999, in classe I (porzioni di territorio dove le condizioni di pericolosità geomorfologica sono tali da non porre particolari limitazioni alle scelte urbanistiche) o in classe II (porzioni di territorio dove le condizioni di moderata pericolosità geomorfologica ed idraulica possono essere agevolmente superate attraverso l'adozione ed il rispetto di modesti accorgimenti tecnici realizzabili nell'ambito del singolo lotto edificatorio o dell'intorno significativo) (Figura 19).

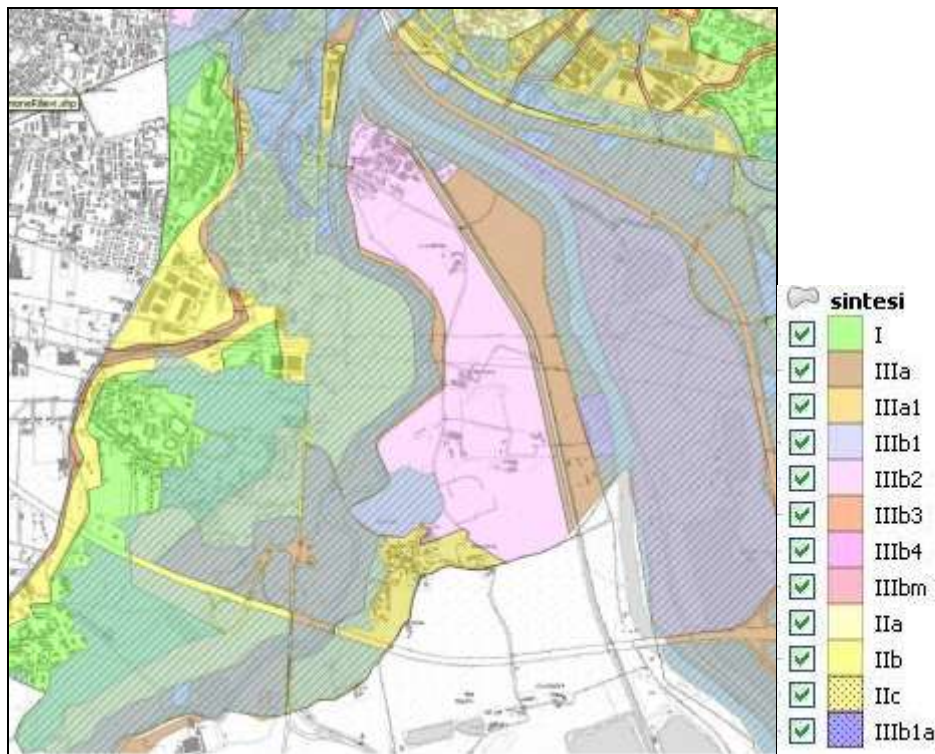


Figura 19. Stralcio carta di sintesi

Tali classificazioni si sono dimostrate non congruenti con le effettive condizioni di pericolosità emerse nel corso dell'evento alluvionale del novembre 2016 e, quindi, non sono in grado allo stato attuale di disciplinare in modo corretto ed in sicurezza l'utilizzo urbanistico del territorio.

Alla luce di ciò, l'Amministrazione comunale di Moncalieri ha richiesto alla Regione Piemonte l'applicazione delle misure cautelari di cui all'art. 9 bis della Legge Urbanistica Regionale n. 56/1977 finalizzate alla revisione dello strumento urbanistico vigente per rendere la classi di idoneità geologica all'utilizzo urbanistico congruenti con le reali condizioni di pericolosità presenti sul territorio, trasmettendo nel contempo le perimetrazioni delle aree inondate rilevate dall'Amministrazione comunale stessa sulle quali applicare tali provvedimenti.

A seguito di tale richiesta, il Settore Geologico della Direzione Opere Pubbliche, Difesa del Suolo, Montagna, Foreste, Protezione Civile, Trasporti e Logistica della Regione Piemonte ha condotto verifiche e rilievi sul terreno, studi ed approfondimenti in merito alle problematiche geologiche ed idrauliche emerse a seguito dell'evento alluvionale che hanno permesso di individuare gli ambiti del territorio di Moncalieri per i quali le rilevanti problematiche geologiche ed idrauliche emerse a seguito dell'evento calamitoso rendono necessari provvedimenti cautelari di inibizione e sospensione atti a prevenire interventi di trasformazione urbanistica sino all'adeguamento della normativa tecnica di attuazione.

Successivamente, la Regione Piemonte ha adottato nelle zone di pianura interessate dall'evento alluvionale i provvedimenti tesi a prevenire la realizzazione di locali abitabili con quota di calpestio non compatibile con i livelli di piena riscontrati, nonché prevenire o regolamentare la realizzazione di locali interrati a qualunque uso destinati o il cambio di destinazione d'uso in locali interrati esistenti a favore di destinazioni d'uso non accessorie o pertinenziali che prevedano la presenza continuativa e prolungata di persone (Figura 20). L'applicazione dei provvedimenti cautelari di inibizione e sospensione atti a prevenire interventi di trasformazione urbanistica è finalizzata alla revisione del piano regolatore vigente, per rendere la classi di idoneità geologica all'utilizzo urbanistico congruenti con le reali condizioni di pericolosità presenti sul territorio, e non può avere durata superiore ai tre anni.

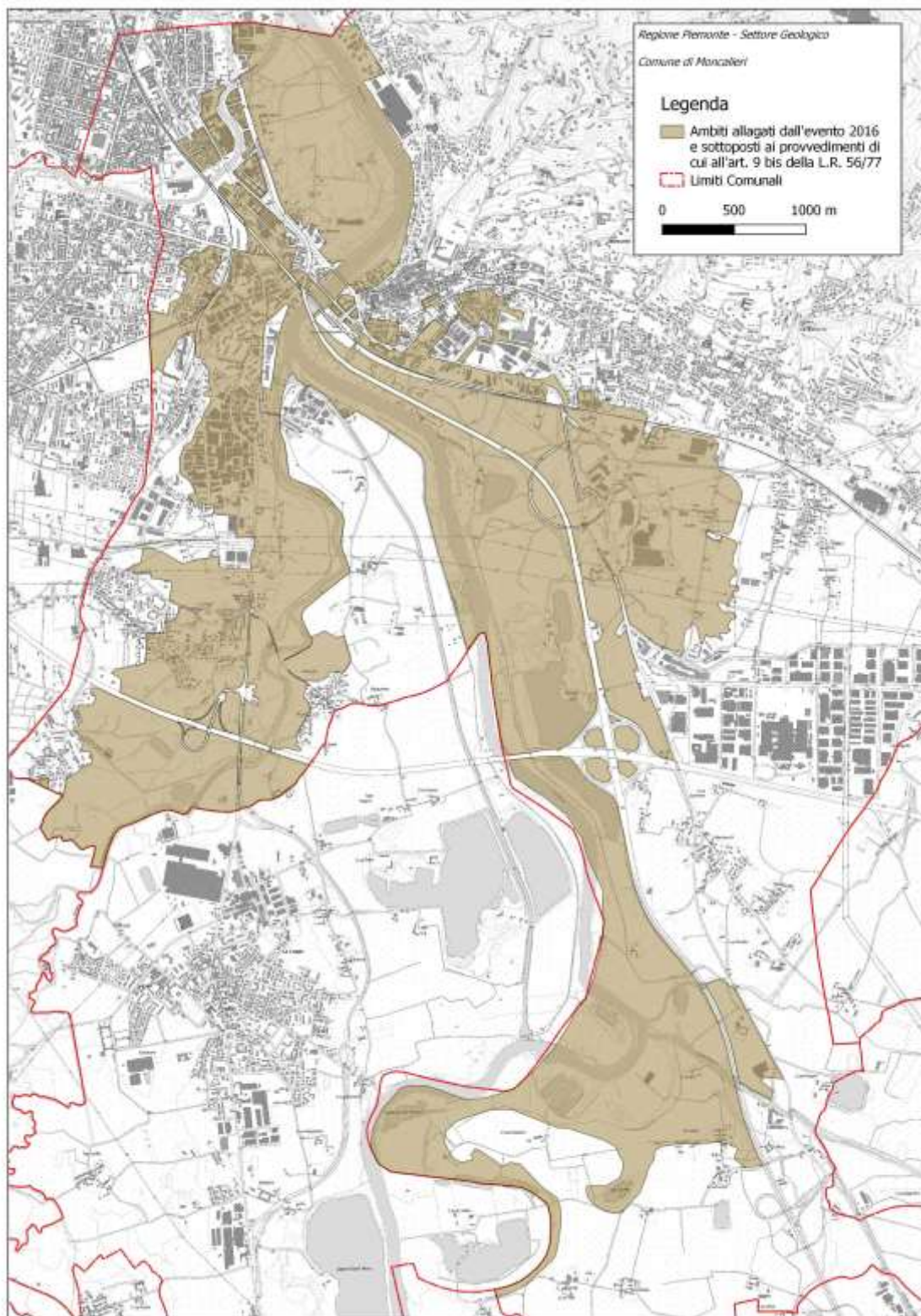


Figura 20. Ambiti sottoposti ai provvedimenti cautelari

Il Fiume Po dalla confluenza Stura di Lanzo a Chivasso

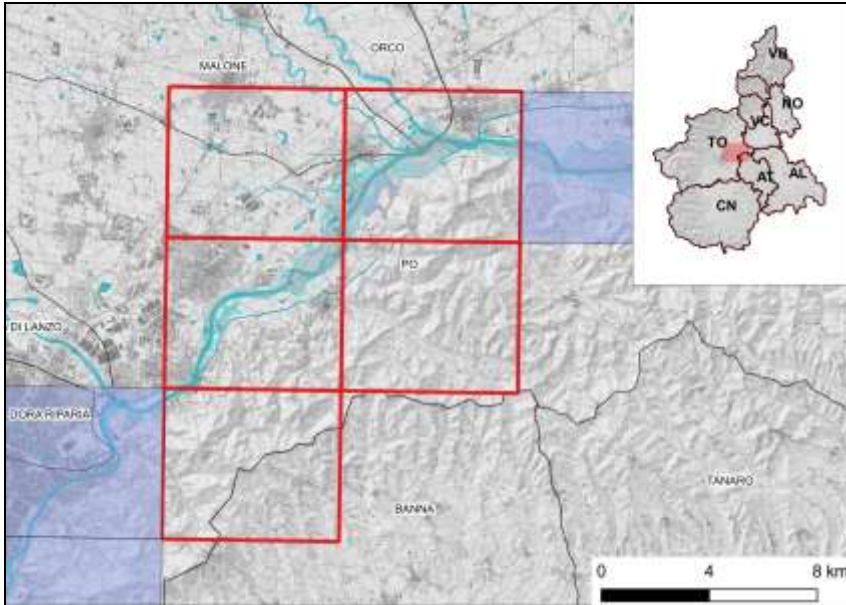


Figura 21. Quadro di unione delle sezioni BDTRE al 1:10.000 su cui è stato effettuato il rilievo di dettaglio descritto nel paragrafo

Nel tratto dalla confluenza Stura di Lanzo a Chivasso la piena del fiume Po ha avuto un colmo lungo dovuto allo sfasamento dei contributi dei suoi tributari. La portata massima a Torino è transitata la notte del 25/11/2016 con valori di poco superiori a quella dell'ottobre 2000. Più a valle il fiume ha ricevuto il contributo delle piene della Dora Riparia e della Stura di Lanzo in fasi diversificate, limitando l'incremento su quella del Po e di conseguenza gli effetti associati al passaggio della piena.

Appena a valle della traversa Enel Green di Corso Don Luigi Sturzo, il Po è fuoriuscito in destra, in corrispondenza della sponda concava, allagando l'area depressa della zona del Parco del Meisino (Borgata Rosa), già inondata nell'evento dell'ottobre 2000 con le medesime modalità. Qui la tendenza del fiume a erodere la sponda, processo contrastato dalla presenza di pennelli, evidenzia il naturale comportamento dell'alveotipo monocursale che tende a migrare con erosione progressiva della sponda concava. Nel tratto di San Mauro Torinese l'acqua è stata contenuta perlopiù all'interno dell'alveo, anche se in alcuni tratti si sono avute erosioni di sponda. Verso Settimo Torinese sono stati allagati il parco fluviale e, in destra, i terreni agricoli più depressi in corrispondenza di uno dei canali in cui anticamente si divideva il fiume ad alveotipo pluricursale. Il Ponte della SP 92 tra Settimo e Castiglione ha subito danni strutturali per cedimento differenziale in corrispondenza del giunto di dilatazione compreso tra la prima e seconda campata (sponda sinistra) e pertanto chiuso al traffico (Figura 17).



Figura 22. Il Ponte della SP 92 ha subito danni strutturali ad una pila e pertanto è stato chiuso al traffico

In questo tratto l'alveo ha subito negli ultimi secoli abbassamenti importanti, anche maggiori di 3 metri, trasformandosi da corso d'acqua a canali intrecciati a canale monocursale con scarsa mobilità. I processi di abbassamento del fondo sono ancora in atto a causa anche della derivazione di San Mauro che limita la continuità longitudinale del flusso dei sedimenti e, prelevando in media 110 m³/s, altera il 10% delle portate formative, cioè delle portate che hanno maggiori effetti sulla forma e sulle dimensioni dell'alveo.

Tra Castiglione Torinese e Brandizzo l'acqua ha occupato le medesime aree inondate nell'evento del novembre 2000 invadendo un'ampia fascia e lambendo in sinistra gli abitati di Mezzi Po e Peroda. Le acque sono esondate in corrispondenza di un paleocanale attivo sino a metà degli anni '50 ripercorrendone il medesimo tracciato (Figura 23).

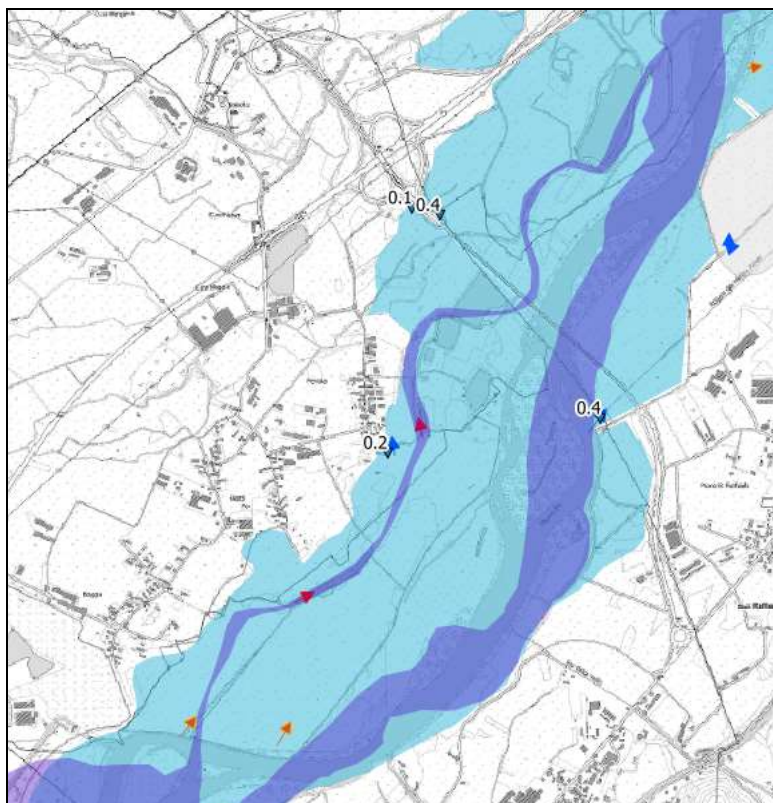


Figura 23. In viola il tracciato dell'alveo del 1954 e in azzurro le aree allagate durante l'evento del 2016 nel tratto da Gassino Torinese a San Raffaele Cimena

Più a valle, superando i sottopassi della SP11 Padana superiore a Brandizzo, l'acqua ha invaso parte della strada comunale per Gassino e i terreni limitrofi con tiranti di 1 metro. Il rilevato stradale funge da barriera alla divagazione laterale delle acque in piena. Il corridoio di pertinenza fluviale si restringe a imbuto causando l'innalzamento dei tiranti idrici in quest'area.

Appena a monte della confluenza del Malone il sistema di arginature restringe la fascia fluviale a una larghezza di 400 metri; non più contenute, le acque in sponda destra hanno sormontato l'argine allagando i terreni agricoli retrostanti (Figura 24), (Figura 25).

Per l'intero tratto di Po da Torino a Chivasso la stima dei tempi di ritorno della portata dell'evento 2016 risulta di 50 anni. La morfologia fluviale relitta ha influenzato la distribuzione dei deflussi; canali abbandonati, incisi nella pianura limitrofa al corso d'acqua attuale,

sono stati riattivati. Nelle Gran Carta Stati Sardi 1852 – 1862, l'alveo in questo tratto appariva marcatamente pluricursale. Il cambiamento di configurazione morfologica avvenuta progressivamente da monte verso valle sino a renderlo alveo monocanale, è stato la conseguenza dello scarso apporto di sedimenti da monte dovuto alle innumerevoli opere trasversali presenti (traverse e dighe) e al restringimento dell'area di pertinenza fluviale per l'espansione degli abitati e la messa in posto di difese longitudinali spondali e argini. Il cambiamento tipologico è stato accompagnato dagli anni '50 del 900 da approfondimenti importanti dell'ordine dei 4-5 metri in media che rendono maggiormente esposti all'erosione le opere di difesa e quelle trasversali.

Per quanto concerne il confronto tra le fasce fluviali PAI e le aree inondate si nota come queste ultime siano ricomprese nella fascia B tranne l'area allagata del Parco Fluviale del Po nel comune di Settimo Torinese, i campi in sinistra a monte del ponte della SP50 e gli allagamenti retrostanti la linea ferroviaria Milano-Torino in comune di Brandizzo dovuti al passaggio delle acque dai sottopassi.



Figura 24. In primo piano sulla sinistra confluenza del Malone in Po, sulla destra la zona in cui l'argine è stato sormontato. Foto CNR IRPI del 29 novembre 2016

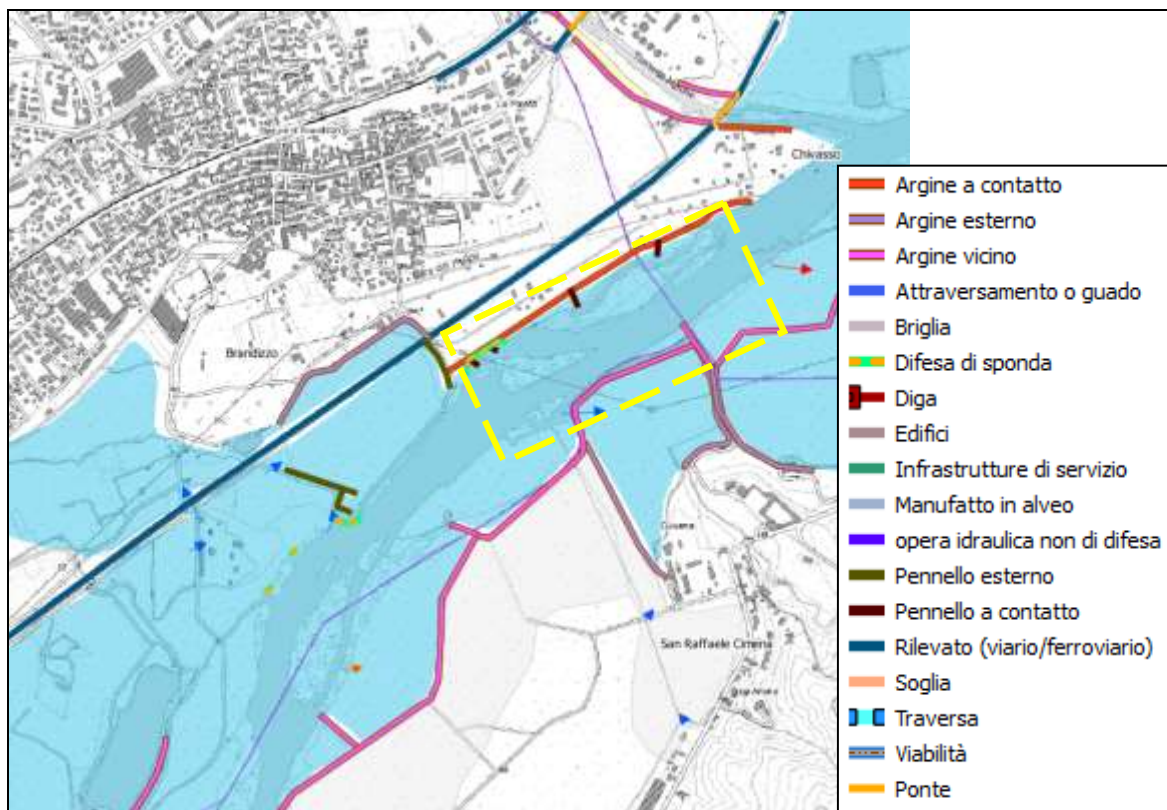


Figura 25. Nella mappa il riquadro tratteggiato giallo indica la zona dove la fascia di pertinenza fluviale si restringe a una larghezza di 400 metri

Il Fiume Po da Chivasso alla confluenza con il Tanaro

Tratto da Chivasso a Crescentino

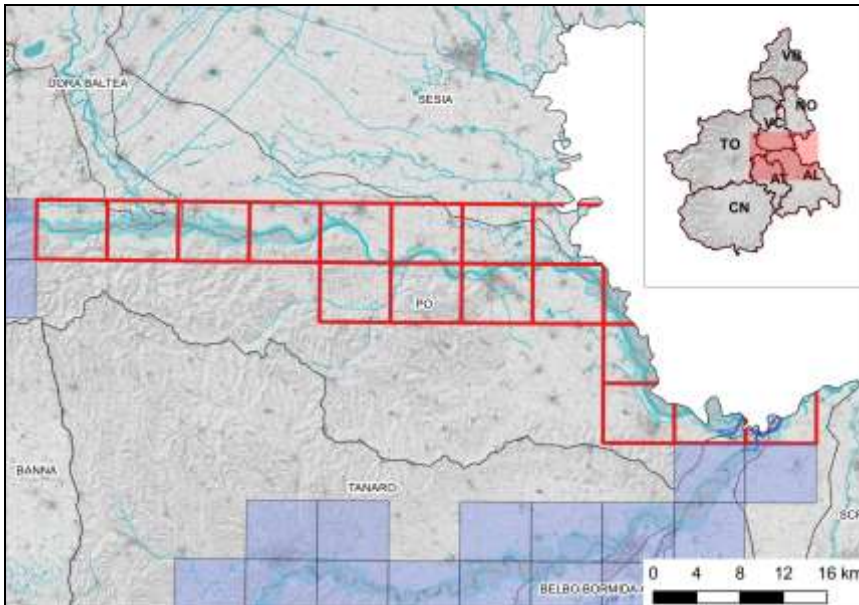


Figura 26. Quadro di unione delle sezioni BTRE al 1:10.000 su cui è stato effettuato il rilievo di dettaglio descritto nel paragrafo

La piena del fiume Po tra Chivasso e Crescentino ha interessato essenzialmente le aree di golenia, determinando danni alle aree agricole limitrofe (Figura 27). Le aree d'inondazione sono risultate generalmente inferiori a quelle raggiunte durante gli eventi alluvionale del 1994 e del 2000, in quanto le acque di piena sono rimaste contenute negli argini esistenti.

A valle della presa del Canale Cavour di Chivasso, le acque della piena del Po hanno occupato le aree in sinistra idrografica, ricadenti nella fascia B con tiranti compresi tra 0.5 e 0.7 metri.

Poco dopo il ponte ferroviario, le acque di piena hanno interessato estese aree coltivate (Figura 28) e in località C.na Battaglia hanno sormontato gli argini esistenti.



Figura 27. In primo piano le aree golenali a monte del ponte ferroviario tra Chivasso e San Sebastiano da Po interessate (Foto CNR IRPI)



Figura 28. A valle del ponte della SP94 in comune di San Sebastiano da Po

In corrispondenza della confluenza con la Dora Baltea si è riattivato l'antico sistema pluricursale della Dora, responsabile degli estesi allagamenti sul piano campagna al di fuori dell'alveo attuale, con erosioni causate da acque in corrente veloce (Figura 29).



Figura 29. In primo piano area di confluenza della Dora Baltea in Po - Foto CNR IRPI

L'area tra la confluenza della Dora Baltea e Crescentino rappresenta l'antica area di pertinenza della Dora stessa: i paleoalvei abbandonati della Dora lambiscono l'area industriale della ex Teksid attraversano la frazione Galli, intersecano il settore meridionale del concentrico di Crescentino passando a N delle frazioni Mezzi Po e dirigendosi verso i piccoli nuclei abitati di Sasso e S. Maria.



Figura 30. La Carta degli Stati Sardi mette in evidenza i sistemi pluricursali della Dora Baltea e del Po

In seguito ad un progressivo processo di interrimento si é avuta una trasformazione d'uso dell'area di pertinenza fluviale, che è stata ben presto recuperata a fini agricoli con la realizzazione di una fitta rete di rogge e canali.

Durante l'evento alcune di queste rogge e il canale della Doretta Morta hanno esondato, interessando i terreni agricoli e i pioppeti limitrofi; le acque hanno laminato con bassa energia e limitate altezze.

La Figura 30 mostra come il Po abbia tentato di ripercorrere il paleoalveo della Dora Baltea a monte del ponte Crescentino-Verrua (freccia in carta), provocando il sormonto dell'argine più basso in area di golenale e generando un canale d'erosione.

Il ramo della Doretta Morta che scorre a sud dell'abitato di Crescentino si è riattivato per rigurgito a causa dell'innalzamento delle acque in piena del Po.

La strozzatura Crescentino-Verrua, imposta dall'uomo con la realizzazione di argini maestri in destra e sinistra, costringe le acque di piena in una sezione ristretta proprio in corrispondenza del ponte, a valle del quale il Po riprende velocità; a monte del ponte gli effetti della piena sono limitati alle aree golenali e si manifestano con un'erosione della sponda destra per una lunghezza di circa 300m.

Tratto a valle di Crescentino sino alla confluenza con il Tanaro

Per quanto riguarda la piena del Fiume Po transitata nel tratto a valle di Crescentino, l'acqua ha invaso, nel tratto del fiume che va da Crescentino a Casale, diverse aree di laminazione.

A monte, nella zona a nord di Trino, le aree di laminazione sono state invase dall'acqua, ma non sono impegnate al cento per cento.

A Trino per quanto riguarda l'idrografia minore, la Stura, che da Fontantetto attraversa Trino e si dirige a Po, è esondata obbligando la chiusura del tratto di strada che transita davanti alla Centrale Fermi (Figura 31).



Figura 31. Esondazione Stura di Trino (foto di Maurizio Inguaggiato da www.ilmonferrato.it)

A Coniolo basso è stata allagata anche la cava di fronte all'abitato di Morano Po (Figura 32).



Figura 32. Allagamento della cava di Coniolo basso (foto di g.pi.mor. da www.ilmonferrato.it)



Figura 33. Casale Monferrato con allagamento delle aree golenali (foto di Stefano Bragato e Giancarlo Panelli da www.ilmonferrato.it)

L'esondazione del fiume Po da Casale Monferrato sino alla confluenza con fiume Tanaro ha interessato prettamente le aree di golena (Figura 33).

TORRENTE CHISOLA

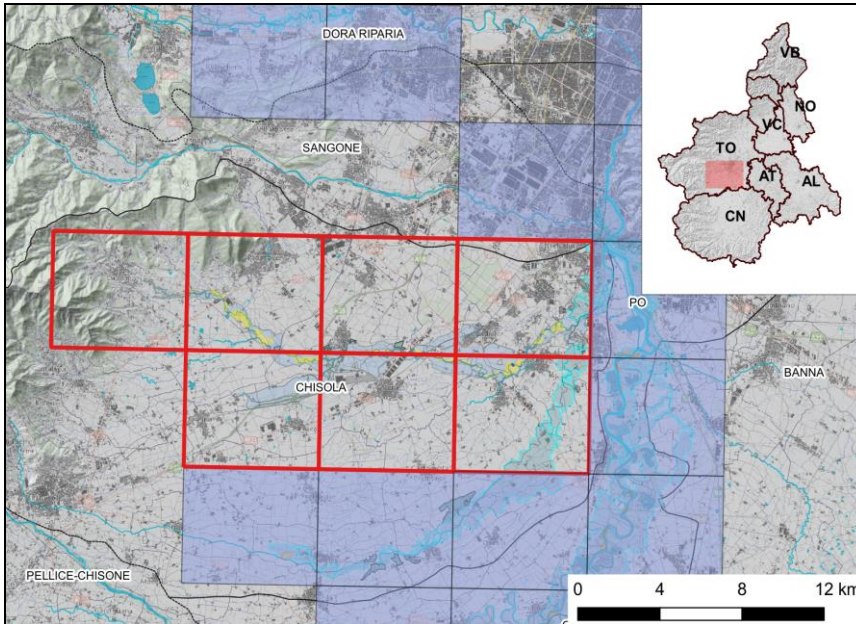


Figura 1. Quadro di unione delle sezioni BTRE al 1:10.000 su cui è stato effettuato il rilievo di dettaglio descritto nel paragrafo

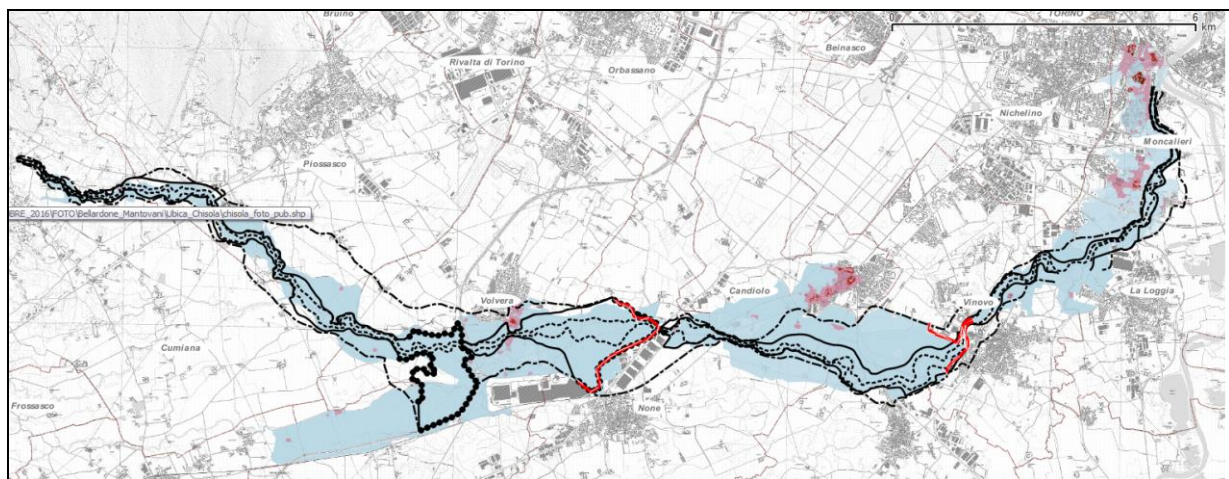
L'evento alluvionale del 21-25 novembre 2016 è stato particolarmente significativo per il torrente Chisola.

Estesi campi di allagamento hanno interessato l'intero tratto fasciato del corso d'acqua, dal ponte di via Chisola, in comune di Cumiana alla confluenza in Po, in comune di Moncalieri.

Le aree inondate sono state generalmente più ampie della fascia B e localmente anche della fascia C del PAI. Ciò ha evidenziato la necessità di rivedere l'intero assetto di progetto del corso d'acqua nonché di aggiornare gli scenari di pericolosità individuati dal Piano di Gestione del Rischio di

Alluvioni (PGRA), derivati sostanzialmente dalla delimitazione delle fasce PAI, ad eccezione di limitate modifiche locali nel tratto finale arginato del corso d'acqua.

I deflussi hanno coinvolto prevalentemente aree naturali o terreni agricoli; circa 16.700 sono stati km² di area inondata in classe di danno potenziale medio (D2) - aree attraversate da infrastrutture secondarie e attività produttive minori, destinate sostanzialmente ad attività agricole o a verde pubblico. (Figura 2). Gli abitati maggiormente colpiti sono stati Volvera, Candiolo e Moncalieri.



LEGENDA

Fasce fluviali

- A
- B
- limite B di progetto
- - - C
- argini realizzati

Residenti nelle aree inondate nov2016

- 0
- inferiore 25
- 25-50
- 50-100
- 100-200
- 200-500

Figura 2. Torrente Chisola: abitanti coinvolti dall'evento

Il Torrente Chisola nel comune di Piossasco

Occorre evidenziare come in comune di Piossasco, le aree allagate abbiano interessato la centrale della Terna (Figura 3) (Figura 4), con tiranti anche importanti. Il piano di imposta della centrale, rialzato dal piano campagna di circa un metro, ha evitato l'allagamento della stazione elettrica. I deflussi hanno coinvolto tutto il sedime di proprietà della Terna, provocando il sifonamento di un tratto significativo del muro di recinzione posto a sud.



Figura 3. Comune di Piossasco, centrale Terna; aree verdi coinvolte nella dinamica dei deflussi e stazione elettrica, rialzata, non interessata dagli allagamenti



Figura 4. Comune di Piossasco; tratto di muro di recinzione della centrale Terna sifonato

I rilevati arginali realizzati nel 2010 e nel 2012 a None e a Vinovo, in attuazione delle linee di intervento previste dal PAI, hanno assolto la loro funzione di contenimento dei livelli anche se talvolta in assenza del franco idraulico del metro (argine destro di None).

Il Torrente Chisola nel comune di Volvera

Gli allagamenti che hanno interessato il concentrico di Volvera hanno sostanzialmente confermato la necessità di dare attuazione agli interventi strutturali di contenimento dei livelli previsti dal PAI; dovrà esserne verificata la tipologia, il tracciato e l'ubicazione.

I fornici presenti nel rilevato autostradale hanno consentito alle acque di esondazione del torrente Chisola e del rio Torto di defluire a valle interessando il concentrico di Volvera, alcune cascate sparse e parte dei parcheggi dello stabilimento Fiat Ricambi Group.

Il ponte della SP141 ha costituito un ostacolo al deflusso delle acque ma non è stato trascinato; il livello massimo è stato raggiunto intorno alle ore 3:00 del 25 novembre 2016.

A monte del ponte della SP141, allagamenti significativi hanno coinvolto gli edifici ad uso prevalentemente residenziale ubicati in via Airasca e in via Piscina. I deflussi sono arrivati a lambire via San Rocco senza interessare l'abitato, in quanto posto a quota più rilevata rispetto al piano stradale. Sono stati coinvolti circa 700 residenti. (Figura 5 e Figura 6).



Figura 5. Comune di Volvera; aree allagate in prossimità del ponte della SP141 - foto della mattina del 25 novembre 2016 (foto comune di Volvera)



Figura 6. Comune di Volvera; ponte della SP141 visto da monte nella mattinata del 25 novembre 2016 - le acque sono in fase di ritiro (foto comune di Volvera)

Il Torrente Chisola nel comune di Candiolo

I deflussi, fuoriusciti a monte del ponte della linea ferroviaria Torino-Pinerolo e veicolati dal rilevato ferroviario in direzione nord-est, verso l'abitato di Candiolo, hanno determinato, in sponda sinistra, campi di allagamento più estesi di quelli verificatisi nell'evento del novembre 2002 e decisamente più ampi della fascia C del PAI.

Il fornice della SP142 per Piobesi ha consentito il passaggio dei deflussi verso il concentrico di Candiolo. I passaggi a livello di via Europa e della Stazione hanno permesso il defluire delle acque verso il centro storico. Via Orbassano, via Altinetti, via Nino Costa e numerose altre vie del centro storico sono state allagate con tiranti dell'ordine di 0,4 – 0,8 m. Sono state interessate circa 1650 persone. (Figura 7 e Figura 8)

21 novembre 2016



Figura 7. Sponda sinistra sopraelevata della SP142 per Piobesi che ha consentito il deflusso delle acque verso il concentrico di Candiolo (foto sig.ra Miriam Sintajova)



Figura 8. Sponda sinistra: passaggio a livello di via Europa dal quale i deflussi hanno raggiunto il centro storico di Candiolo (foto sig.ra Miriam Sintajova)

Il Torrente Chisola nel comune di Moncalieri

A valle di Vinovo il territorio comunale di Moncalieri è stato interessato da un prolungato allagamento da parte delle acque del Chisola, giunte ormai a una portata straordinaria, in qualche misura anche per l'approssimarsi dell'ingresso del Chisola in Po, con conseguente effetto di rigurgito.

Le aree più gravemente colpite sono state le aree di Borgata Tetti Piatti e Tagliaferro, in sinistra idrografica del Chisola. (Figura 9)

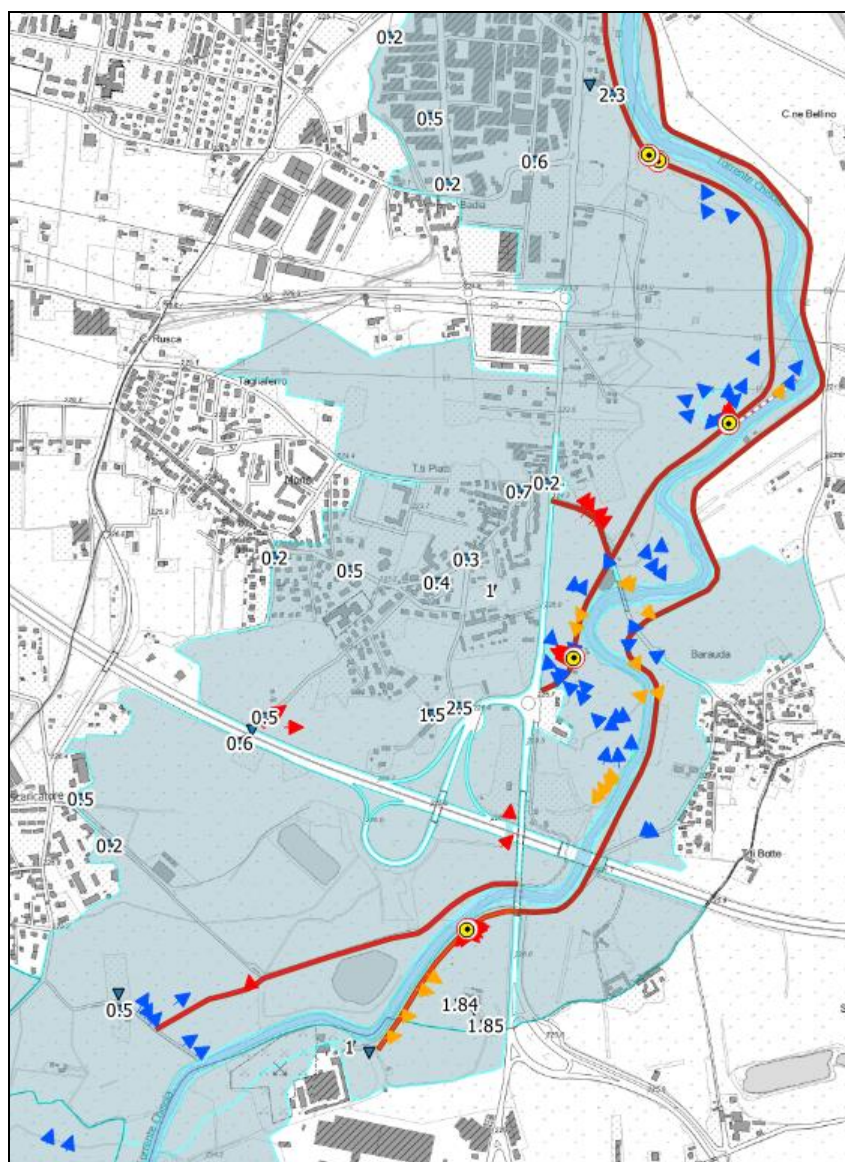


Figura 9. Comune di Moncalieri, Borgata Tetti Piatti; con i pallini gialli i punti dove le arginature (evidenziate dalle linee rosse) si sono rotte. Le frecce indicano rispettivamente: rosse direzione della corrente ad alta energia, blu generica e arancioni i punti di esondazione

Il mattino del 25 novembre le acque del Chisola sono fuoriuscite presso località Tetti Cagliari in un tratto non arginato e si sono dirette a valle dove hanno provocato allagamenti nelle aree prevalentemente agricole di Tetti Rolle, con battenti generalmente inferiori a 0.5 metri. Nel frattempo l'onda di piena, impedita nel deflusso dalle arginature longitudinali e dal rilevato della tangenziale sud di Torino, ha tracimato le opere di difesa sia in destra che in sinistra per poi dirigersi verso nord e superare la tangenziale sfruttando i sottopassaggi esistenti in corrispondenza

di Strada Tetti Piatti, Strada Carignano e del Canale Scaricatore. Gli allagamenti in località Tetti Piatti hanno raggiunto livelli idrici medi di 0.5 metri, localmente superiori per effetti topografici, causando molteplici danni agli insediamenti residenziali e alle attività commerciali.

Nel pomeriggio del 25 novembre, alle 15.30 circa, il cedimento dell'argine sinistro in due punti, a sud (Figura 10) e a nord (Figura 11, Figura 12) del ponte di Strada Barauda ha rilasciato acque caratterizzate da correnti ad alta energia che hanno depositato sui campi coltivati una gran quantità di sedimenti (Figura 13). Il volume idrico riversatosi dalle rotte arginali ha invaso la zona compresa tra l'argine di sponda sinistra e Strada Carignano senza superare il rilevato di quest'ultima.



Figura 10. Comune di Moncalieri; rotta arginale a sud di Strada Barauda. (www.youtube.com, Giorgio Ferraris)



Figura 11. Comune di Moncalieri, Borgata Tetti Piatti; argine sormontato e rotta arginale a nord di Strada Barauda. (www.youtube.com, Giorgio Ferraris)

Dal punto della rotta sud, il deflusso delle acque ha sormontato Strada Barauda, unendosi alle acque provenienti dalla rotta nord e, all'altezza della rotonda di Viale Europa, il livello ha superato il rilevato di Strada Carignano intorno alle 17 del pomeriggio del 25 novembre, allagando Località Badia con tiranti anche superiori al metro. Procedendo verso nord l'inondazione ha poi coinvolto la borgata Moncalieri Sangone, dove localmente i livelli hanno raggiunto altezze di circa 1.70 metri, e la borgata Santa Maria.



Figura 12. Breccia nell'argine nel tratto nord a valle del ponte di Strada Barauda

Se il tempo di ritorno della piena del novembre 2016 è stato stimato di poco superiore ai 200 anni, per l'evento pluviometrico è stato stimato invece un tempo di ritorno superiore (di circa 500 anni), in ragione del fatto che le intense precipitazioni hanno avuto una durata superiore alle 15-18 ore, tempo di risposta tipico del bacino del Chisola. Ciò giustifica come la piena del torrente abbia fatto registrare il suo massimo storico di 7,41 metri all'idrometro di La Loggia (TO).



Figura 13. Deposito di materiale sabbioso-ghiaioso (*crevasse splay*) lasciato nei campi a seguito della rottura arginale

Riguardo l'area colpita dall'inondazione del novembre 2016, sono state reperite informazioni sugli eventi alluvionali verificatisi in epoca storica (Figura 14). Dal 1930 ad oggi, risultano almeno undici eventi significativi, prevalentemente nei periodi primaverile e autunnale o tardo autunnale, che hanno causato effetti sul territorio di entità diversa, variabili da danni alle opere idrauliche e ai campi coltivati a danni gravi agli insediamenti civili.

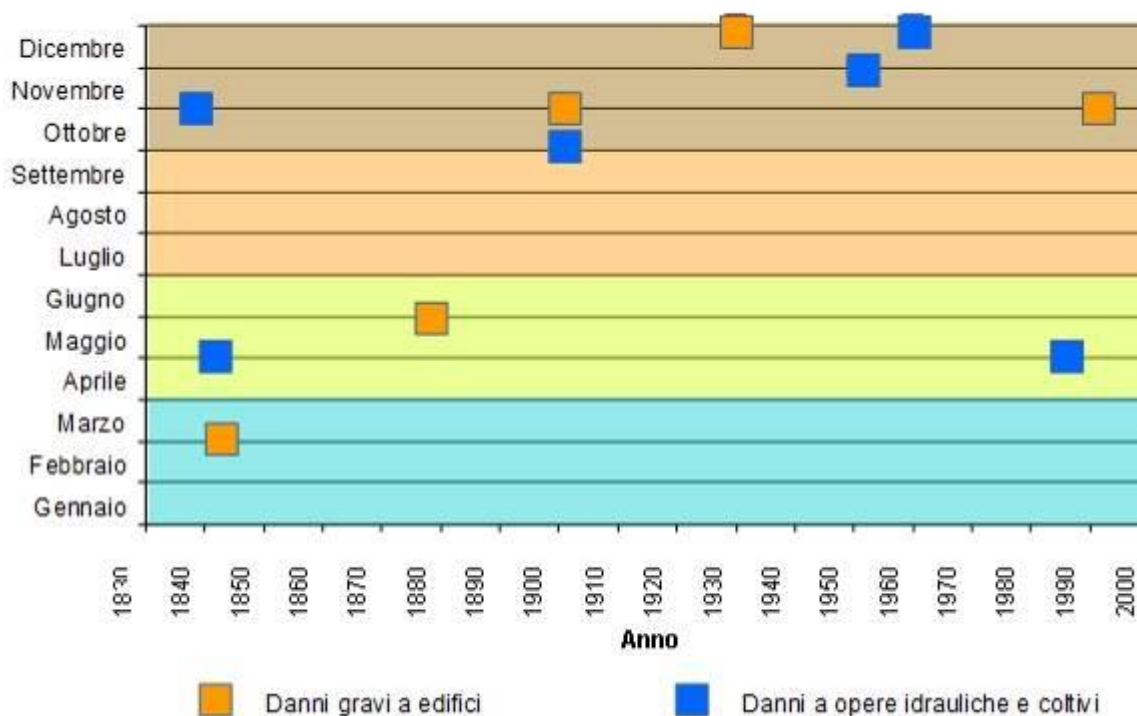


Figura 14. Ricorrenza storica delle inondazioni del Chisola in comune di Moncalieri nelle località, T.ti Piatti, Barauda e Badia (BDGeo Arpa Piemonte) in blu scuro sono evidenziati gli eventi con danni ingenti agli edifici

La piena, il cui tempo di ritorno è stato stimato di poco superiore ai duecento anni, tempo di riferimento per la programmazione delle linee di intervento per la difesa del territorio, ha avuto effetti solo parzialmente raffrontabili a quelli dei precedenti eventi del 1994, 2000 e 2002. Essa ha evidenziato in maniera forte l'importanza, nella revisione dell'assetto di progetto del corso d'acqua, di ridisegnare e ridefinire le linee di intervento laddove l'uso del suolo si è dimostrato essere sostanzialmente non compatibile con le dinamiche di allagamento e di favorire e preservare, ove possibile, la vocazione alla laminazione nelle aree verdi o agricole al fine di ridurre le condizioni di pericolosità dei nuclei abitati posti a valle.

Bibliografia

AA.VV - 2017, Eventi di piena e frana in Italia settentrionale nel periodo 2005-2016, a cura di F. Luino e L. Turconi - SMS

TORRENTE LEMINA

Il Torrente Lemina da Pinerolo a Cercenasco

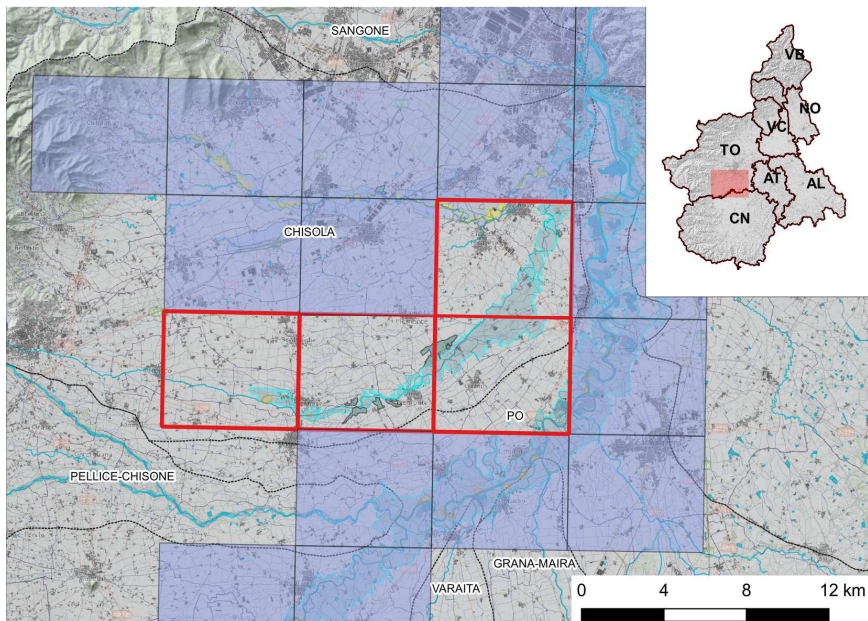


Figura 1. Quadro di unione delle sezioni BTRE al 1:10.000 su cui è stato effettuato il rilievo di dettaglio descritto nel paragrafo

Il Torrente Lemina, in piena nei pressi dell'ospedale di Pinerolo già alle 17 del 24 novembre 2016, è esondato nelle campagne a monte di Cercenasco intorno alle 2,30 di venerdì 25.

Il flusso delle acque diretto verso Borgata San Rocco è stato in parte contenuto dal sistema di canalizzazioni, arginature in terra e murature a protezione delle aree insediate. Ha poi sormontato Via Umberto I, danneggiando la staccionata in legno a margine della strada, infine è stato incanalato sotto la Strada Provinciale 139 in direzione est. Il battente dell'acqua ha raggiunto in

alcuni punti altezze di 50-60 cm. Le aree allagate a ovest e a sud dell'abitato di Cercenasco nel corso dell'evento di novembre 2016 coincidono in parte con quelle allagate nell'ottobre 2000, con la differenza che non hanno interessato le aree edificate e il punto di esondazione risulta posto di poco a est rispetto al 2000. (Figura 2).



Figura 2. La campagna nei pressi del primo punto di esondazione a monte di Cercenasco, ancora visibili i depositi sabbiosi (Foto Arpa del 23/02/2017)

Il Torrente Lemina da Virle a Vinovo

A Virle il Lemina ha allagato la SP 138, interrompendo temporaneamente la viabilità nei pressi del cimitero e della rotonda con la SP 141. (Figura 3).



Figura 3. SP138 a Virle nei pressi del cimitero (Foto Bussolino, 24/11/2016)

Gli allagamenti molto estesi che si sono verificati a valle di Virle, con battenti variabili da 20 a 50 cm, sono stati provocati, oltre che dalle acque del Torrente Lemina, dall'intera rete idrografica minore e dai numerosi canali irrigui, incapaci di contenere la portata di piena. Sono state coinvolte le frazioni di Oitana e Belbo, la regione Molassa, Tetti Pistonatti, le frazioni Pautasso e Peretti in Comune di Vinovo. (Figura 4)

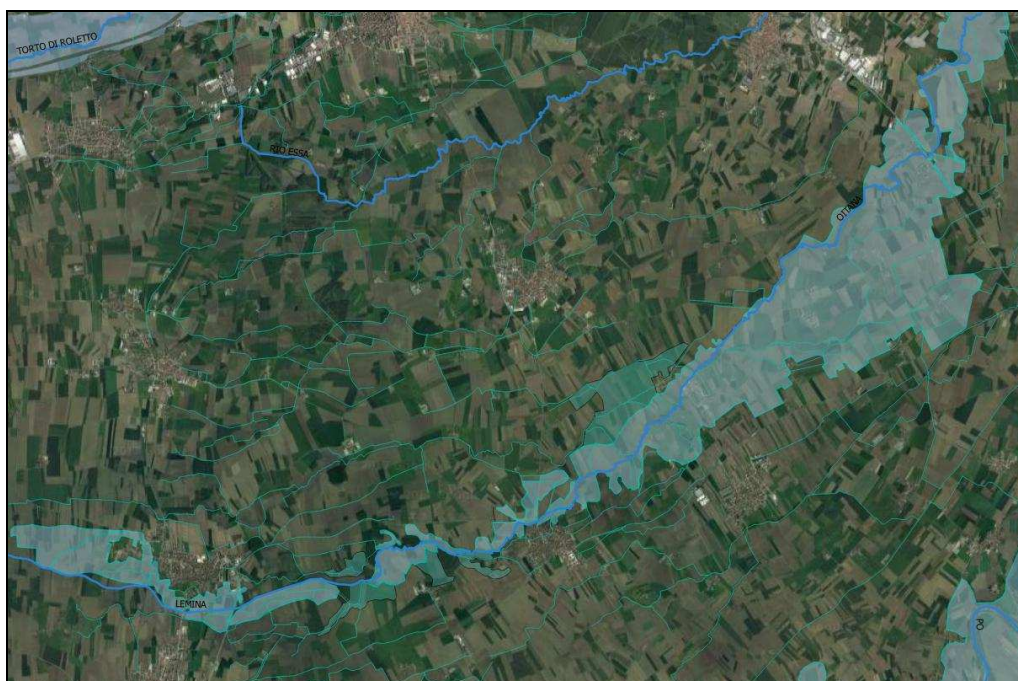
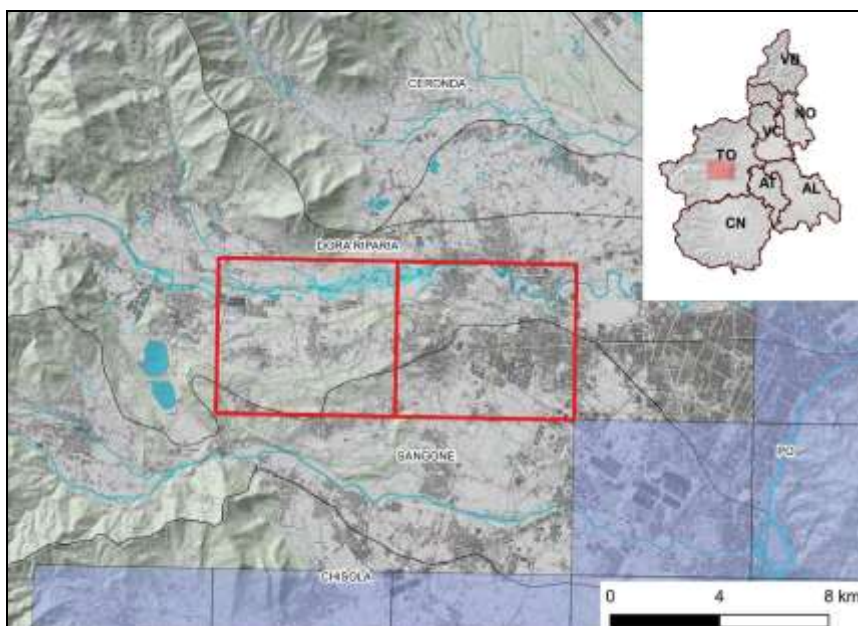


Figura 4. Estensione delle aree inondate

FIUME DORA RIPARIA

La Dora Riparia da Rosta-Caselette a Rivoli-Alpignano



La Dora Riparia in piena nei territori comunali di Rosta, Caselette, Rivoli e Alpignano è esondata nel corso della giornata del 25 novembre. Il flusso delle acque ha inondato le aree ad uso prevalentemente agricolo adiacenti al corso d'acqua, raggiungendo battenti medi di 70 cm, senza tuttavia causare danni. (Figura 2).

Figura 1. Quadro di unione delle sezioni BTRE al 1:10.000 su cui è stato effettuato il rilievo di dettaglio descritto nel paragrafo



Figura 2. Campagna nei pressi di un punto di esondazione in comune di Caselette, ancora visibili i depositi sabbiosi. (Foto Arpa del 21/02/2017)

In comune di Alpignano, si è riscontrato uno dei battenti maggiori, pari a 1,7 m, in corrispondenza del cementificio abbandonato, lungo via Almese. (Figura 3)



Figura 3. Effetti dell'esonazione nell'area del cementificio abbandonato di via Almese, in comune di Alpignano.
(Foto Arpa del 21/02/2017)

Confrontando le aree inondate dell'evento dell'ottobre 2000 con quelle del 2016 si evince come le aree colpite sono le medesime, per quanto le portate maggiori del 2000 abbiano interessato una maggior estensione del territorio. (Figura 4)

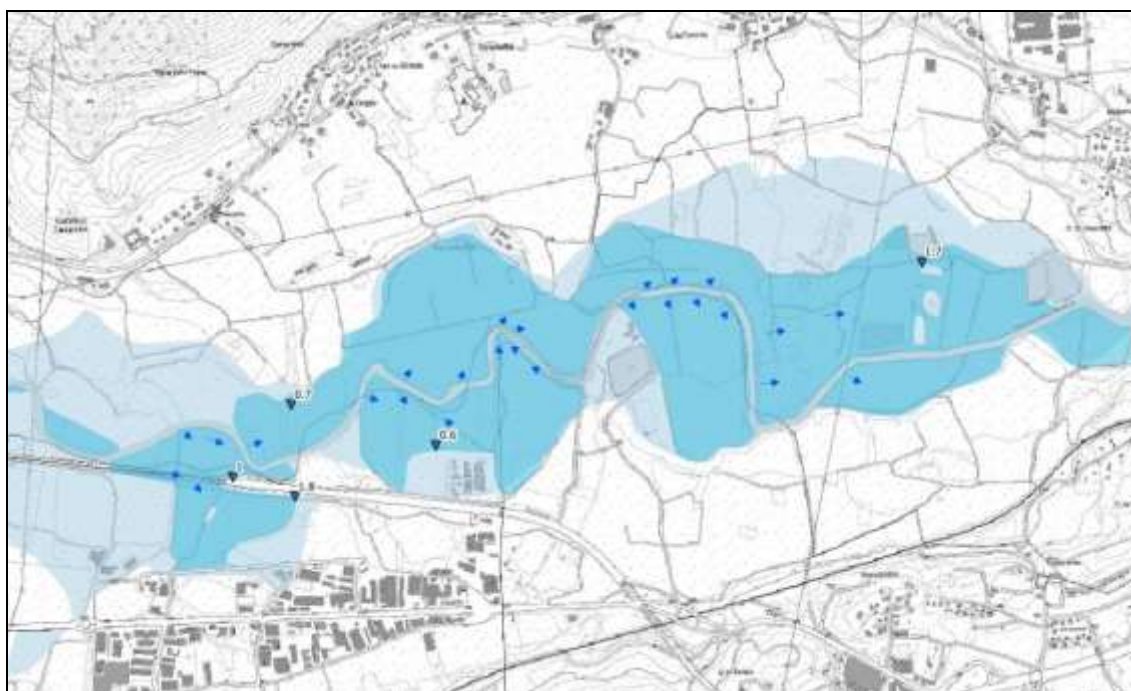


Figura 4. Confronto tra le aree inondate nell'evento 2000 (azzurro chiaro) e quelle interessate nel novembre 2016 (azzurro scuro)

FIUME TANARO

Il Fiume Tanaro dal suo inizio fino a Ceva

L'evento del novembre 2016 vede nel settore dell'alto Tanaro un picco di precipitazioni eccezionale, concentrato alla testata del bacino, al confine ligure-piemontese occidentale; in questo settore le precipitazioni cumulate (oltre 600 mm in 5 gg), se comparate con quelle dell'evento di novembre 1994, risultano pressoché raddoppiate. Gli effetti, particolarmente gravosi, verificatisi alla testata del bacino, presso le località di Piaggia (CN) e Monesi di Mendatica (IM), sono descritti nel capitolo di approfondimento.

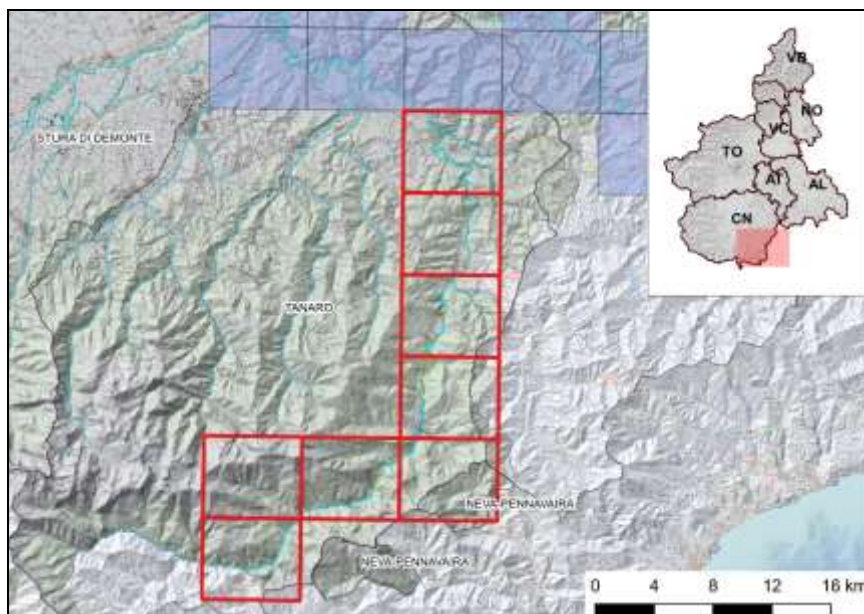


Figura 1. Quadro di unione delle sezioni BTRE al 1:10.000 su cui è stato effettuato il rilievo di dettaglio descritto nel paragrafo

Le intense precipitazioni hanno causato effetti sia lungo la rete idrografica sia sui versanti anche nei tratti successivi del corso d'acqua.

Nel tratto montano del corso d'acqua, compreso tra la confluenza dei torrenti Tanarello e Negrone (inizio del Fiume Tanaro) e la località Ponte di Nava, si sono verificate numerose erosioni delle sponde che hanno spesso intaccato la strada principale di fondovalle, compromettendo la viabilità ordinaria.



Figura 2. Erosione in sponda sinistra, poco a monte dell'abitato di Ponte di Nava

A valle di Ponte di Nava, la piena del Tanaro ha riproposto, sino all'abitato di Ceva, condizioni analoghe a quanto avvenuto in occasione dell'evento del 4-6 novembre 1994, attenuate però dai limitati apporti della rete idrografica minore.

Le esondazioni hanno coinvolto prevalentemente aree agricole salvo taluni casi in cui sono stati interessati edifici residenziali o agricoli isolati.

Tra Ponte di Nava e Cantarana l'intensa attività fluviale, caratterizzata da esondazioni ed erosioni di sponda ha causato il crollo di un edificio, in sponda sinistra, di pertinenza del complesso ricettivo dell'hotel San Carlo.



Figura 3. Erosione in sponda sinistra e crollo di un edificio, a monte di località Cantarana

A Ormea l'attività torrentizia dal Torrente Armella, ha causato il sifonamento del muro d'argine, in sinistra idrografica, provocando una voragine sulla piazza principale all'interno della quale sono cadute alcune vetture in sosta. Il crollo della sponda ha messo in luce un antico muro d'argine arretrato rispetto all'attuale a testimonianza del fatto che in passato l'alveo, non tombinato, doveva essere almeno 2 metri più ampio.

Le briglie realizzate lungo il torrente a seguito dell'evento di novembre '94 hanno trattenuto buona parte del materiale detritico trasportato a valle, riducendo l'impatto che questo avrebbe potuto avere sul paese.



Figura 4. Ormea, muro d'argine sifonato in sinistra idrografica del Rio Armella



Figura 5. Ormea, voragine causata dal sifonamento del muro d'argine da parte del Rio Armella

Una delle situazioni più gravose si è riscontrata a Garessio dove lo sbarramento indotto dal ponte Odasso, in centro al paese, ha causato l'esondazione delle acque nel centro storico di Borgo Ponte, in sinistra idrografica, posto a quota inferiore rispetto al bordo dei muri di sponda, con tiranti idrici superiori al metro e danni alle attività commerciali presenti. Effetti analoghi si erano registrati in occasione dell'evento 1994, quando il livello delle acque era stato però di circa 1 m superiore, grazie anche al significativo apporto del Rio Luvia, che invece nel 2016 non ha manifestato una piena importante.



Figura 6. Confronto tra il livello raggiunto dalle acque esondate in occasione dell'evento di novembre 1994 e quello di novembre 2016 nell'abitato di Gressio (foto dott. Aldo Acquarone)



Figura 7. La piena del Tanaro in Borgo Ponte, Gressio (foto dott. Aldo Acquarone)



Figura 8. La piena del Tanaro in corrispondenza del ponte Odasso, Garessio (foto dott. Aldo Acquarone)

Immediatamente a valle dell'abitato di Garessio lo stabilimento della Huvepharma (ex Lepetit) ha subito l'allagamento della parte prossima al corso d'acqua su una larghezza di circa 200 m.



Figura 9. Stabilimento Huvepharma, posto in sinistra idrografica a valle dell'abitato di Garessio

A Priola, in località Borgo, in destra idrografica, il rio San Giusto, il cui deflusso è stato ostacolato dalla piena del Tanaro, è esondato causando l'allagamento delle pertinenze di alcune abitazioni con deposito di materiale detritico.



Figura 10. L'abitato di località Borgo, in destra idrografica, interessato dall'esondazione del rio San Giusto

La piena del Tanaro ha determinato vistosi effetti nelle frazioni Pievetta (sinistra Tanaro) e Pianchiosso (destra Tanaro).

Nel tratto di Tanaro interessato, la dinamica fluviale si è discostata da quanto accaduto durante l'evento del novembre 1994. Nel 1994 il fiume aveva interessato le aree golenali in destra a partire dall'ansa a monte di Pievetta-Pianchiosso; l'alveo si era diviso in più rami a monte della confluenza in sinistra con il Rio dei Gatti (conoide di Pievetta). Le acque erano transitate presso il ponte per Pianchiosso, rimasto intatto, ed erano esondate violentemente a valle in sinistra, fino al Rio del Buonconsiglio. La frazione di Pianchiosso veniva allagata come pure l'insediamento produttivo corrispondente al toponimo "Sega".

Nell'evento 2016 si osserva invece che l'esondazione nell'area golenale in destra è contenuta (forse smorzata dalle difese spondali realizzate post-94), l'alveo si mantiene unico fino alla curva dove la forza concentrata dell'acqua provoca una vistosa erosione in sinistra per battuta di sponda asportando completamente la viabilità locale lungo Tanaro, la sede ferroviaria per un tratto di 170 m e parte della sede stradale della SS 28 (un tratto di 10-15 m su mezza carreggiata); nella zona dove si erano creati più alvei il Tanaro forma un unico ampio alveo fin contro il conoide di Pievetta (Rio dei Gatti), con asportazione di 90-100 m di sponda in sinistra; la corrente principale rimbalza dalla parte sinistra della valle verso la parte destra e in corrispondenza del ponte per Pianchiosso si dirige trasversalmente verso la frazione, asportando i rilevati del ponte, la viabilità locale e parte di un edificio rimasto in bilico sulla sponda destra, arretrata di circa 70 m; dopo aver eroso la sponda in parte rocciosa a valle della frazione Pianchiosso, il fiume compie un'altra ansa riportandosi sull'alveo preesistente ed esondando in sinistra in tutto il tratto fra "Sega" e l'alveo del Rio del Buonconsiglio.

La frazione di Pianchiosso viene allagata dalle acque che fuoriescono nell'ansa a monte, non in corrispondenza delle aree golenali ma ancora più a monte, forse a causa delle difese esistenti; l'allagamento in sé non appare gravoso quanto invece risultano pesanti gli effetti erosivi sulla parte nord della frazione su descritti.

La piena ha determinato una maggiore sinuosità dell'alveo principale, con spostamento da sinistra a destra e ancora a sinistra in un tratto in precedenza quasi rettilineo, con conseguenti erosioni localizzate e arretramenti di sponda notevoli; il tutto è dovuto all'eccessiva energia/velocità dell'acqua incanalata a monte del tratto anche per la presenza di difese spondali sia in sinistra che in destra (recenti) dove è stata chiusa la comunicazione con le aree golenali che potevano accogliere parte della piena senza danni eccessivi.

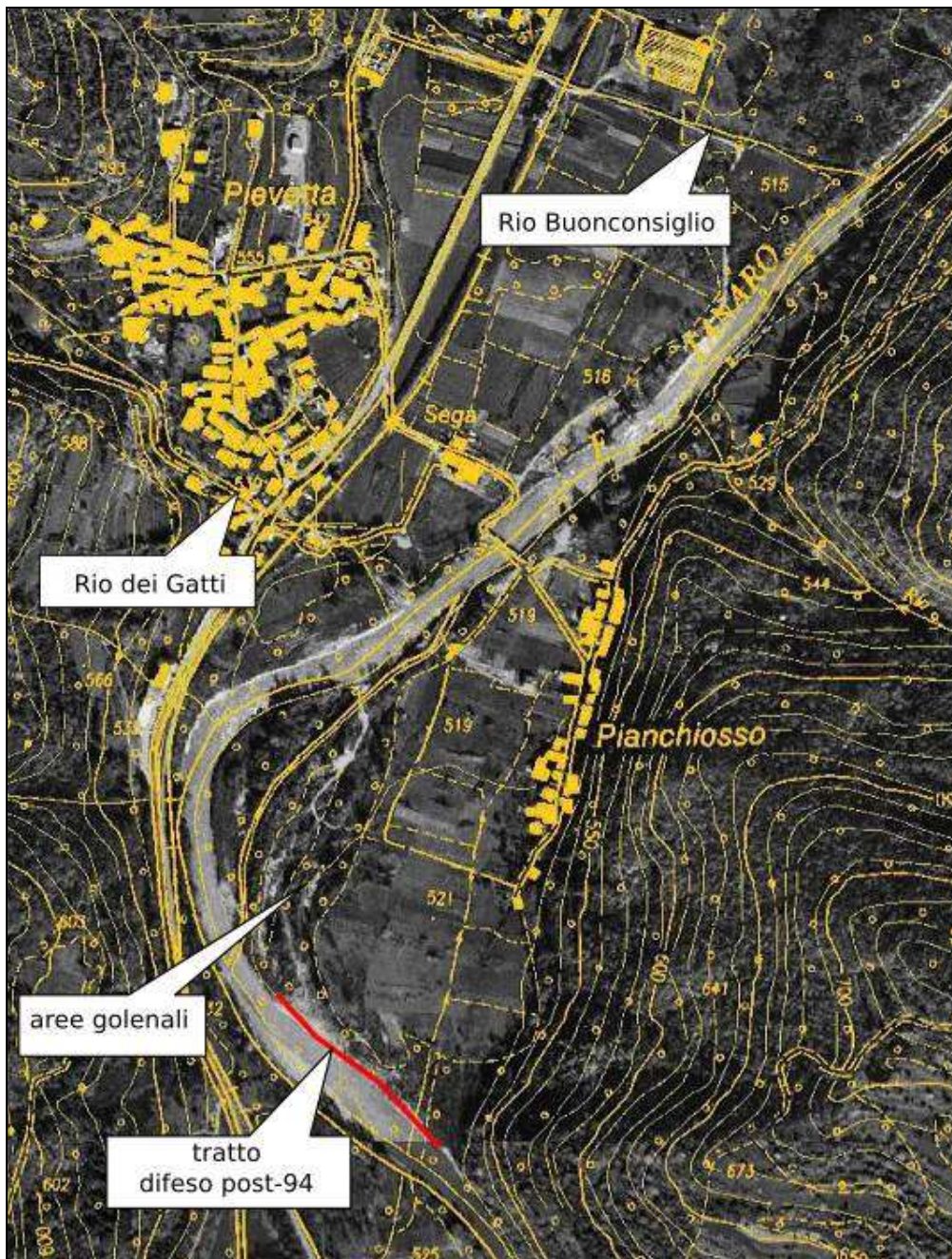


Figura 11. Tratto di Tanaro interessato (corrente verso Nord); CTR (91) con Ortofoto PCN 1995



Figura 12. Erosione in sponda sinistra con asportazione ferrovia e parte SS28; sullo sfondo il ponte per Pianchiosso e la frazione parzialmente in ombra; Tanaro visto da monte



Figura 13. Situazione preesistente (Google Earth 20/05/2016); la freccia indica l'arretramento massimo di sponda sinistra



Figura 14. Ponte per Pianchiosso; edificio distrutto in primo piano di Pianchiosso; località "Sega" in sponda sinistra; Tanaro visto da valle; Pievetta su conoide di fronte



Figura 15. Situazione preesistente (Google Earth 20/05/2016); la freccia indica l'arretramento massimo di sponda destra

A Bagnasco in corrispondenza del ponte Romano, come già avvenuto in occasione dell'evento di novembre 1994, hanno subito danni per allagamento gli edifici posti a monte e valle in sinistra idrografica.



Figura 16. Edifici in sinistra idrografica coinvolti dalla piena del Tanaro, in corrispondenza del ponte Romano, Bagnasco



Figura 17. Bagnasco, edifici in destra idrografica coinvolti dalla piena del Tanaro

A Nucetto la porzione di centro abitato posta in sinistra idrografica è stata coinvolta dalla piena del Tanaro, come già avvenuto in occasione dell'evento alluvionale del 1994. Gli estratti cartografici mostrano un confronto tra i livelli dell'acqua raggiunti nei due eventi: nel novembre 1994 il tirante idrico risultò essere superiore di circa un metro.

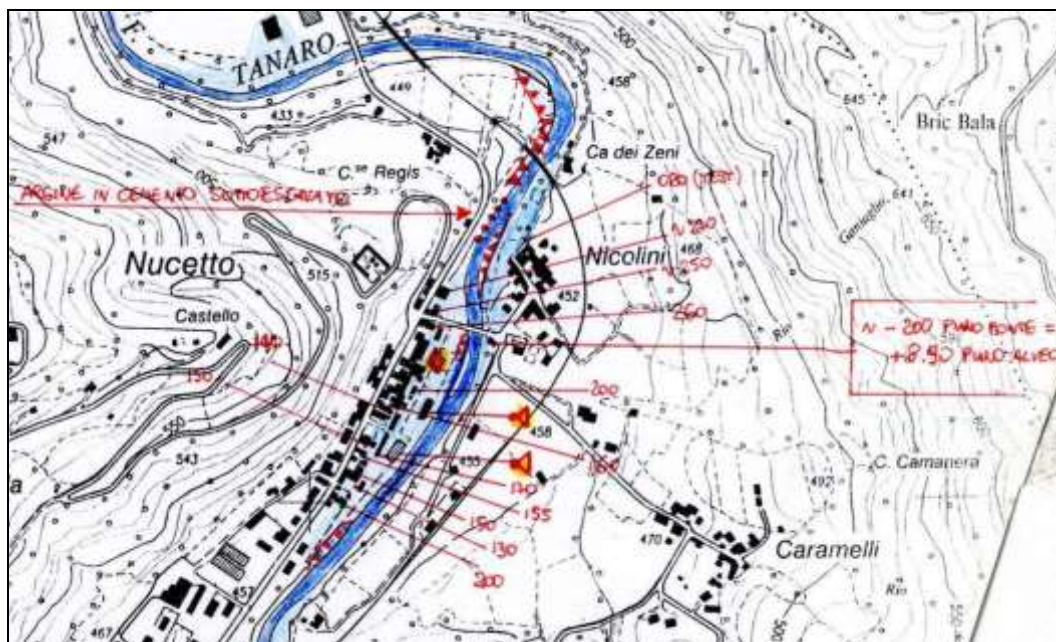


Figura 18. Nucetto, effetti della piena del 4-6 novembre 1994

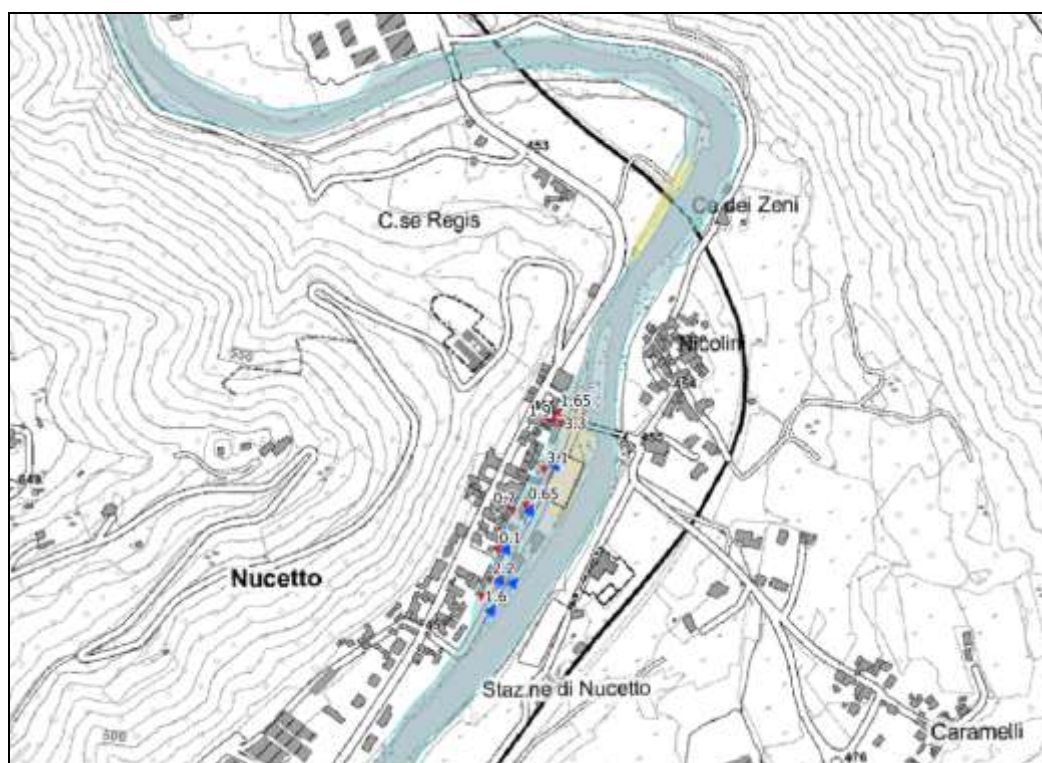


Figura 19. Nucetto, effetti della piena del 24-25 novembre 2016

Il muro posto a difesa dell'abitato ha agito negativamente impedendo alle acque, esondate a monte, di defluire nel fiume, creando così un effetto "piscina".



Figura 20. Nucetto, effetti della piena del 24-25 novembre 2016 in corrispondenza del campo da calcio



Figura 21. Nucetto, effetti della piena del 24-25 novembre 2016 in corrispondenza del campo da calcio

LA CITTÀ DI CEVA

A Ceva la piena del Tanaro ha coinvolto prevalentemente la zona della caserma Galliano e, più a valle, l'area immediatamente a monte della confluenza con il T. Cevetta, entrambe ubicate in sponda destra.

Le condizioni dell'alveo, molto diverse rispetto all'evento di novembre 1994 in particolare per quanto riguarda le luci dei ponti, hanno influito positivamente sull'impatto della piena in città, con livelli idrici e danni più contenuti.

Nella zona degli impianti sportivi a causa di tracimazioni puntuali e sifonamenti dell'argine, l'acqua ha raggiunto i 30 cm, interessando solo marginalmente il vicino nucleo abitato posto in sponda sinistra.

A monte del ponte della circonvallazione, in sponda destra, la piena ha danneggiato la porzione superiore dell'argine in materiali sciolti di riporto; a valle dello stesso ponte l'acqua tracimata ha causato l'allagamento del tratto compreso tra il cinema, la caserma e le scuole, con livelli dell'acqua compresi tra 30-40 cm e 1 m, a differenza del '94 quando erano stati superati 2.5 m di altezza. In sponda sinistra, gli edifici della località Torretta, pesantemente coinvolti nel '94, in questo caso non sono stati interessati dalla piena.



Figura 22. Ceva, ripresa in corso d'evento dell'area allagata nei pressi del ponte della circonvallazione. Vista verso monte (foto dott. Giuseppe Galliano)



Figura 23. Ceva, deposito fine e di materiale fluitato nel campo sportivo a tergo del cinema, in prossimità del F. Tanaro



Figura 24. Ceva, area compresa tra il cinema e la caserma, in destra idrografica

Immediatamente a monte del ponte della SS 28, detto della "Catalana", in sponda sinistra l'acqua ha raggiunto e in alcuni casi superato il metro di altezza, mantenendosi comunque al disotto del livello raggiunto nel '94, superiore ai 3 m. Subito a valle del ponte, in sponda destra, la piena del

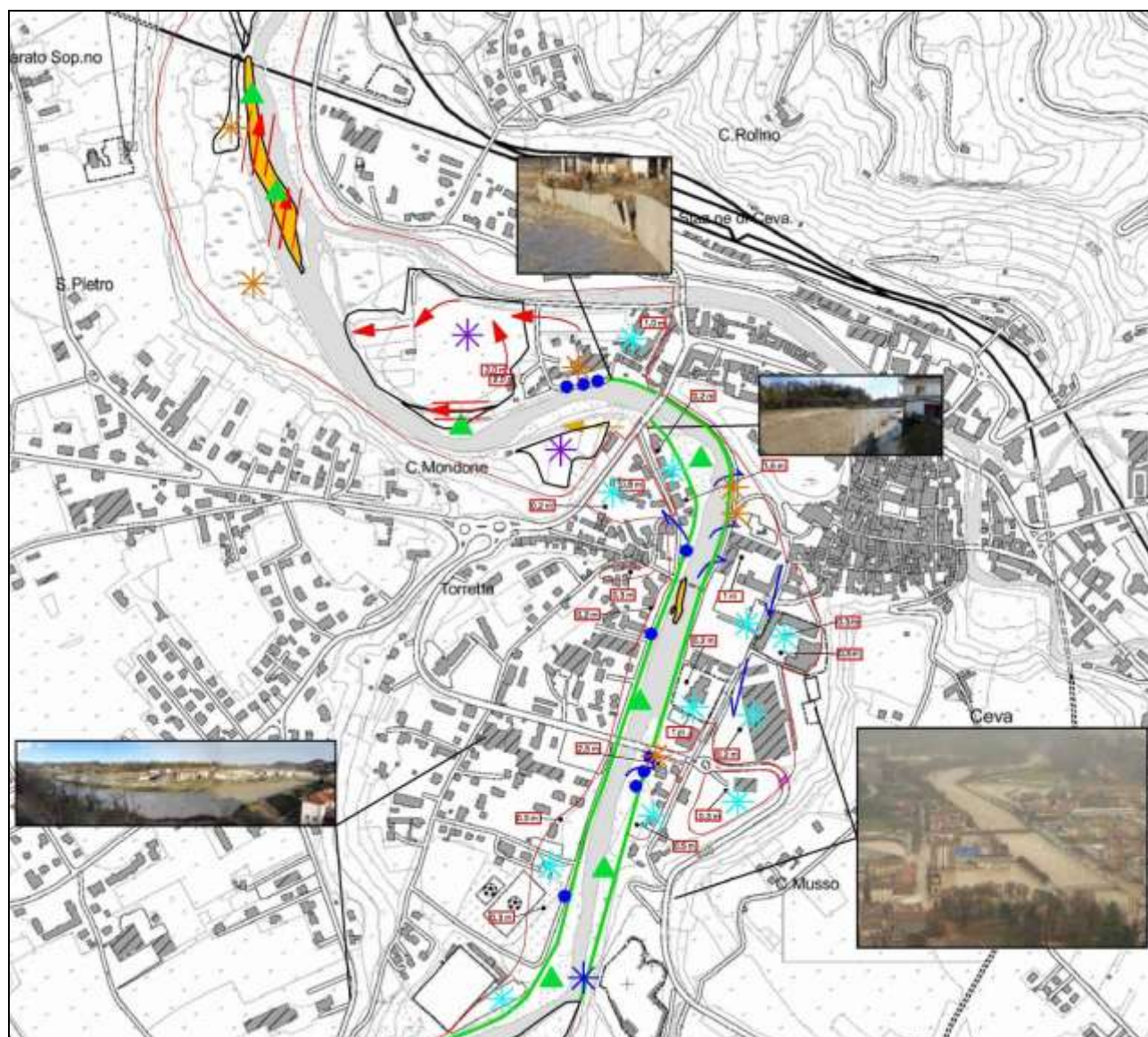
Tanaro ha danneggiato le difese spondali allagando gli edifici presenti. A differenza del '94 l'allagamento di questo settore è stato provocato pressoché esclusivamente dalle acque del Fiume Tanaro, con contributo del Torrente Cevetta solo per rigurgito delle acque, il cui deflusso alla confluenza era ostacolato dalla piena del Tanaro.



Figura 25. Ceva, aree in prossimità del ponte della SS28. Vista verso monte



Figura 26. Ceva, difese spondali, in destra idrografica, danneggiate a valle del ponte della SS28



LEGENDA

<ul style="list-style-type: none"> Barra o isola fluviale Sponda preesistente finora parzialmente rimodellata dal passaggio della piena Pronunciata erosione della sponda Argine o difesa spondale <i>Direzione di propagazione del deflusso indotta da:</i> Disposizione dei sedimenti, verso di abbattimento della vegetazione Solco di erosione Canale di erosione Direzione di flusso delle acque 	<p><i>Depositi distribuiti arealmente prevalentemente:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Area con deposito prevalentemente flottato (legname ed altro) Area con deposito prevalentemente ghiaioso ciottoloso Area con deposito prevalentemente sabbioso ghiaioso Area con deposito prevalentemente limoso sabbioso Altezza raggiunta dalle acque di inondazione riferibile al piano campagna precedente l'evento o a punti ben reperibili sul terreno <p>DANNI</p> <ul style="list-style-type: none"> Difesa spondale danneggiata o distrutta Tratto di argine con trascinazioni puntuali Ponte gravemente danneggiato o distrutto Infrastruttura danneggiata o distrutta Sponda erosa
--	---

Figura 27. Ceva, effetti della piena del 24-25 novembre 2016 (cartografia prodotta dal dott. Giuseppe Galliano)

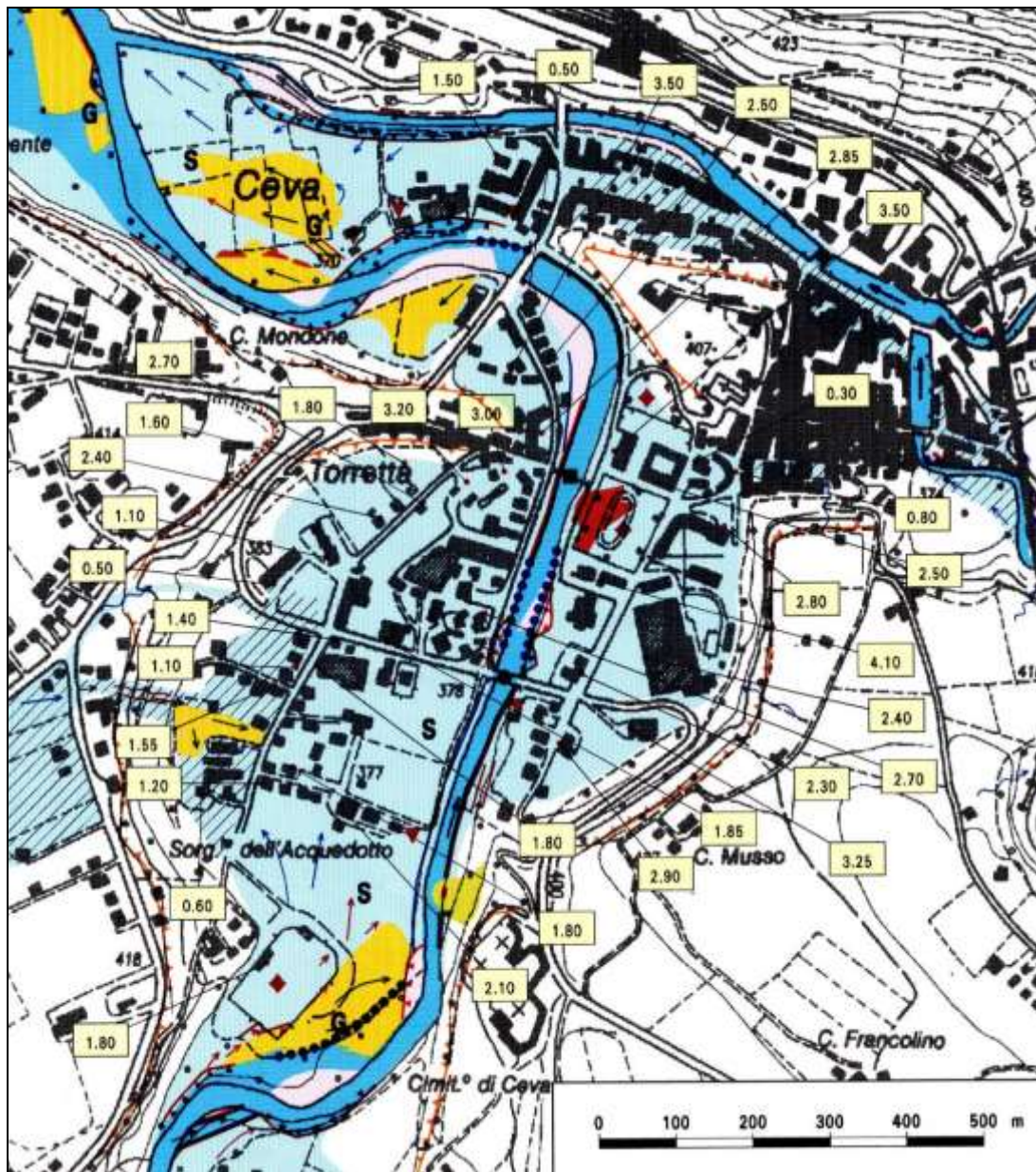


Figura 28. Ceva, effetti della piena del 4-6 novembre 1994 (Regione Piemonte)

Il Fiume Tanaro da Ceva alla confluenza con la Stura di Demonte

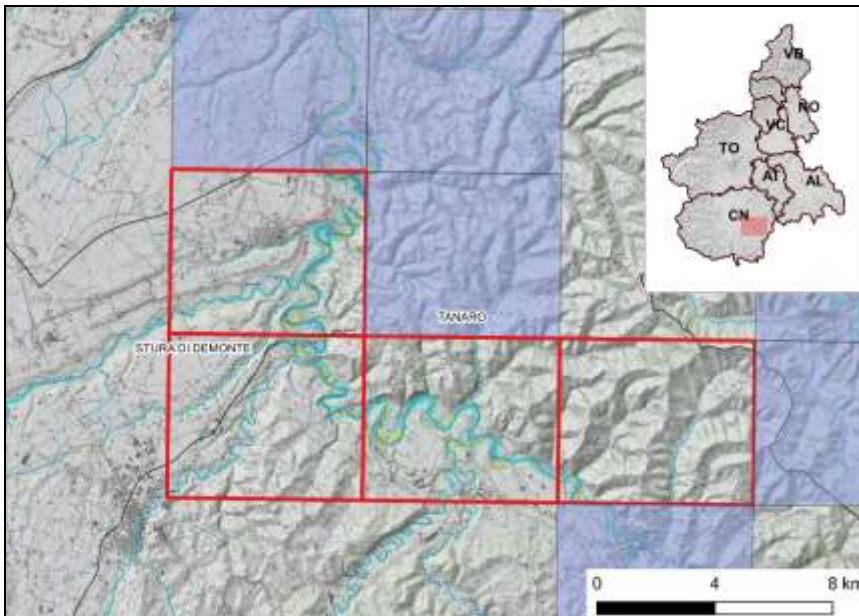


Figura 29. Quadro di unione delle sezioni BTRE al 1:10.000 su cui è stato effettuato il rilievo di dettaglio descritto nel paragrafo

Considerando l'ampiezza delle aree del campo di inondazione e dei livelli idrometrici registrati sul piano campagna, l'evento del 2016 ha avuto sul territorio un impatto certamente inferiore rispetto al 1994. Questo è stato determinato, principalmente, da una minore intensità complessiva dell'ultimo evento in confronto al 1994. A testimonianza di ciò, il fatto che quasi tutti i principali tributari del fiume Tanaro, a parte il torrente Corsaglia, non siano stati caratterizzati, nel tratto in oggetto, da piene significative. L'elevata intensità dell'evento è tuttavia dimostrata dagli importanti processi morfologici

innescatisi ed evidenziatisi in termini di erosioni e trasporto solido (Figura 30).



Figura 30. A sinistra, Bastia Mondovì - Materiale solido trasportato e depositato nel corso della piena del 2016; a destra Erosioni in occasione dell'evento di piena del 2016

La piena del 2016 in questo tratto, sulla base di quanto riferito praticamente all'unanimità da tutti i residenti intervistati durante le attività di sopralluogo, si è caratterizzata per le elevate velocità di formazione e di transito, perlomeno se confrontate con quanto verificatosi nell'evento alluvionale del 1994.

Rispetto a tale evento, inoltre, si sono manifestate minori interferenze con gli attraversamenti stradali e ferroviari che, durante l'evento precedente, creando per ostruzione degli "invasi" temporanei a monte anche a causa dall'enorme quantità di legname flottante in alveo, contribuirono ad aumentare i livelli della piena, di per sé già caratterizzata da portate sensibilmente superiori.

Interferenze importanti sulla dinamica di piena, con innesco di processi di erosione anche intensi, si sono verificati, invece, in corrispondenza delle traverse fluviali di maggiori dimensioni.

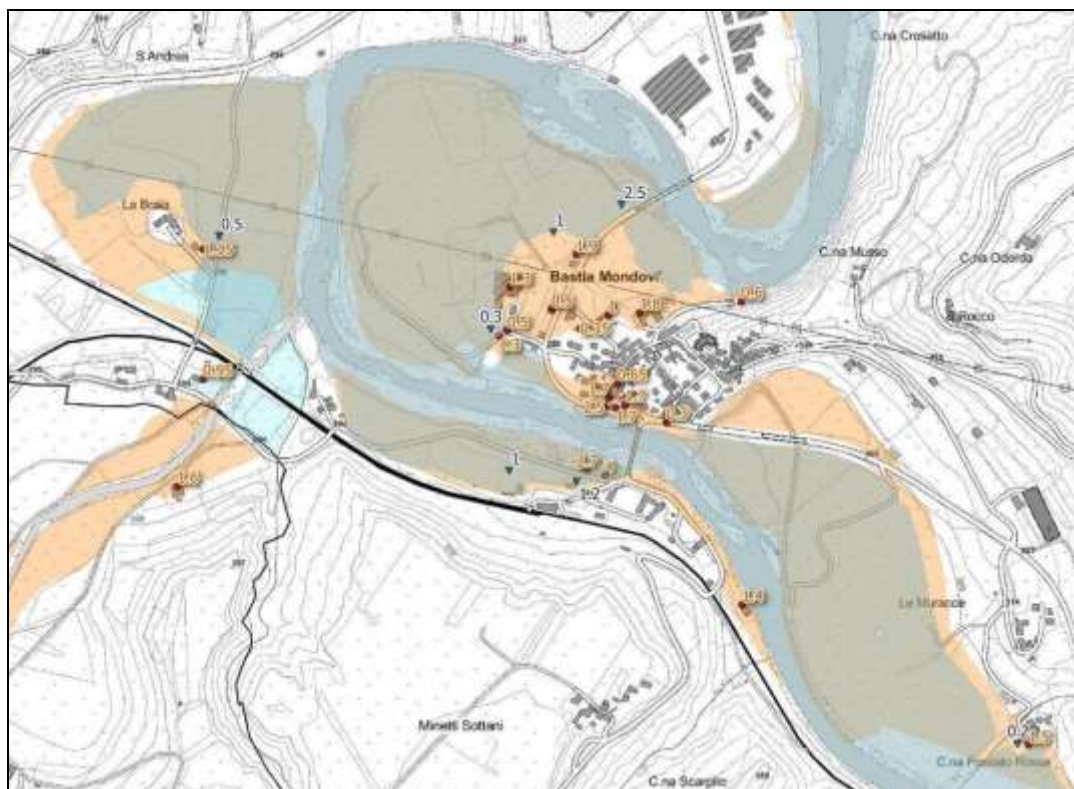


Figura 31. Fiume Tanaro a Bastia Mondovì. Con il colore pesca le aree inondate dal Tanaro (altezze d'acqua in rosso) relativamente all'evento 1994, in azzurro le aree inondate dal Tanaro (altezze d'acqua in blu) durante l'evento 2016

In particolare, si evidenziano nella Figura 32 e Figura 33 e Figura 34 a sinistra le situazioni verificatesi a Niella Tanaro (località Madonna della Neve), nella Figura 35 Clavesana (località Gerino e Generala) e Lequio Tanaro località Vacchetta (Figura 36), dove la presenza delle opere di derivazione, talvolta congiuntamente ad alcune opere idrauliche di difesa, hanno interferito con il deflusso delle acque di piena, determinando e/o amplificando i processi di inondazione e di erosione, anche in prossimità di aree antropizzate.



Figura 32. Niella Tanaro (loc. Madonna della Neve - C.na Lucchi) - Canale d'erosione in destra idrografica



Figura 33. Niella Tanaro (loc. Madonna della Neve - C.na Lucchi) - Canale d'erosione in destra idrografica (vista d'insieme)



Figura 34. Niella Tanaro (loc. Madonna della Neve - C.na Lucchi) – a sinistra, canale d'erosione in destra idrografica (punto d'innesco a monte della scogliera in massi); a destra Canale d'erosione in sinistra idrografica in corrispondenza della traversa posta a valle della località L'Arcurata



Figura 35. Clavesana - Effetti dell'evento di piena del 2016 in corrispondenza della traversa fluviale nei pressi della località La Generala



Figura 36. Lequio Tanaro – a sinistra canale d'erosione e a destra erosione di sponda in sinistra idrografica e formazione di canale d'erosione immediatamente a valle della località Vacchetta

Le opere e gli interventi di mitigazione del rischio idraulico, costituenti il sistema difensivo realizzato successivamente al 1994, in linea generale, si sono dimostrati efficaci rispetto all'evento del 2016.

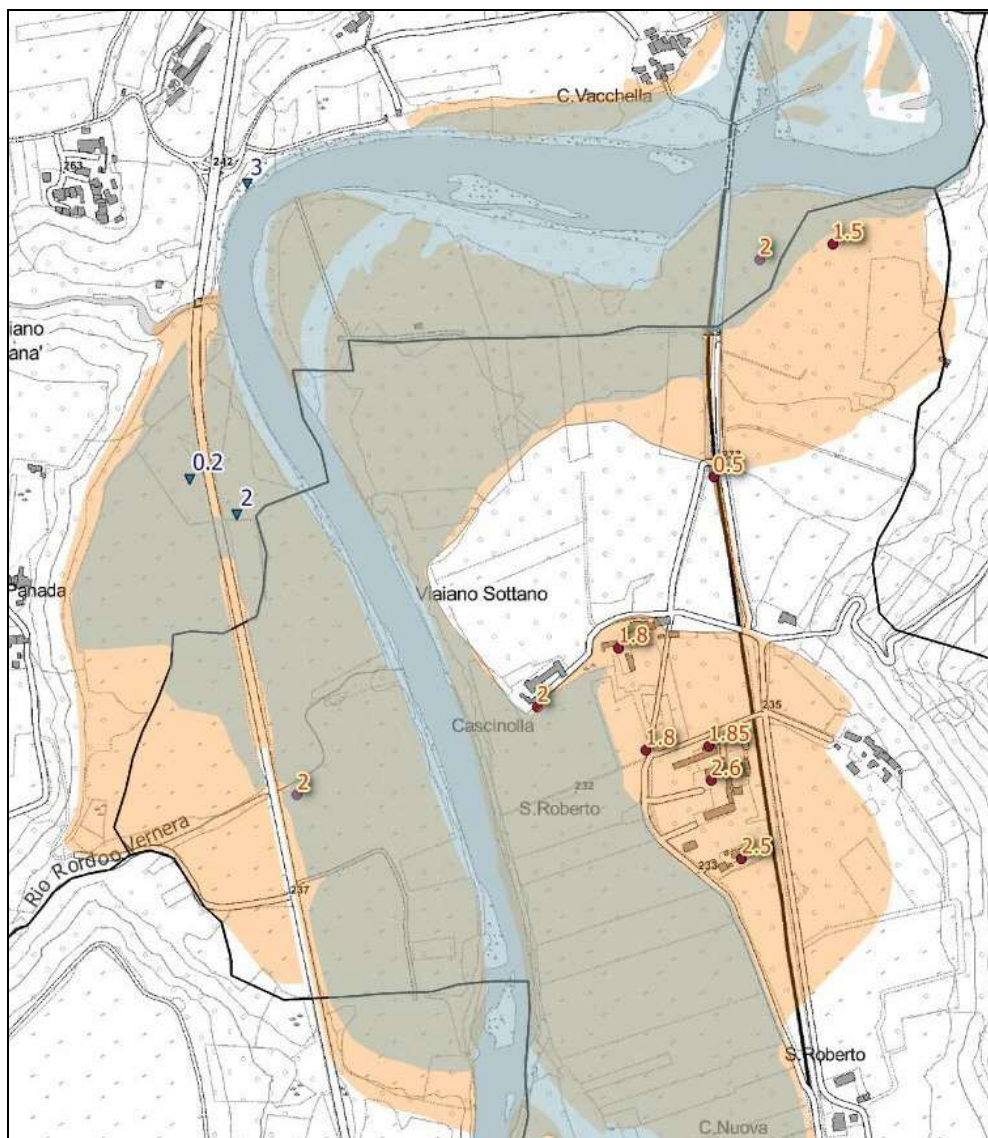


Figura 37. Fiume Tanaro a Farigliano (frazione Viaiano sottano) - Evento 1994: con il colore pesca le aree inondate dal Tanaro (altezze d'acqua in rosso). Evento 2016: in azzurro le aree inondate dal Tanaro (altezze d'acqua in blu). Nel 2016, quindi, l'inondazione ha raggiunto quote decisamente inferiori al 1994, non interessando minimamente il nucleo abitato

Come già sottolineato, la realizzazione di attraversamenti stradali caratterizzati da “luci” più ampie e minori interferenze con l'alveo ha contribuito a ridurre il campo di inondazione e soprattutto i livelli idrici a monte di essi, contribuendo, per altri versi, ad incrementare la velocità di deflusso della piena.

In questo tratto gli effetti dell'evento del 2016, pur collocandosi dentro a un quadro d'insieme coerente con la pianificazione di bacino vigente, hanno evidenziato locali discrepanze con le fasce fluviali del PAI. In particolare, si sono rilevati limiti del campo di inondazione talvolta più estesi rispetto ai limiti della fascia B e zone esterne al limite della fascia A vigente caratterizzate da processi geomorfologici di elevata intensità.

Le divergenze più significative, rispetto a tali casistiche, ricadono nei territori dei comuni di Ceva, Bastia Mondovì (Figura 38) e Clavesana.



Figura 38. Bastia Mondovì – a sinistra, aree inondate in sinistra idrografica. I fabbricati sullo sfondo sono ubicati esternamente al limite della fascia B del PAI vigente, a destra, la fascia B del PAI comprende solo parzialmente l'area inondata a seguito della piena del 2016

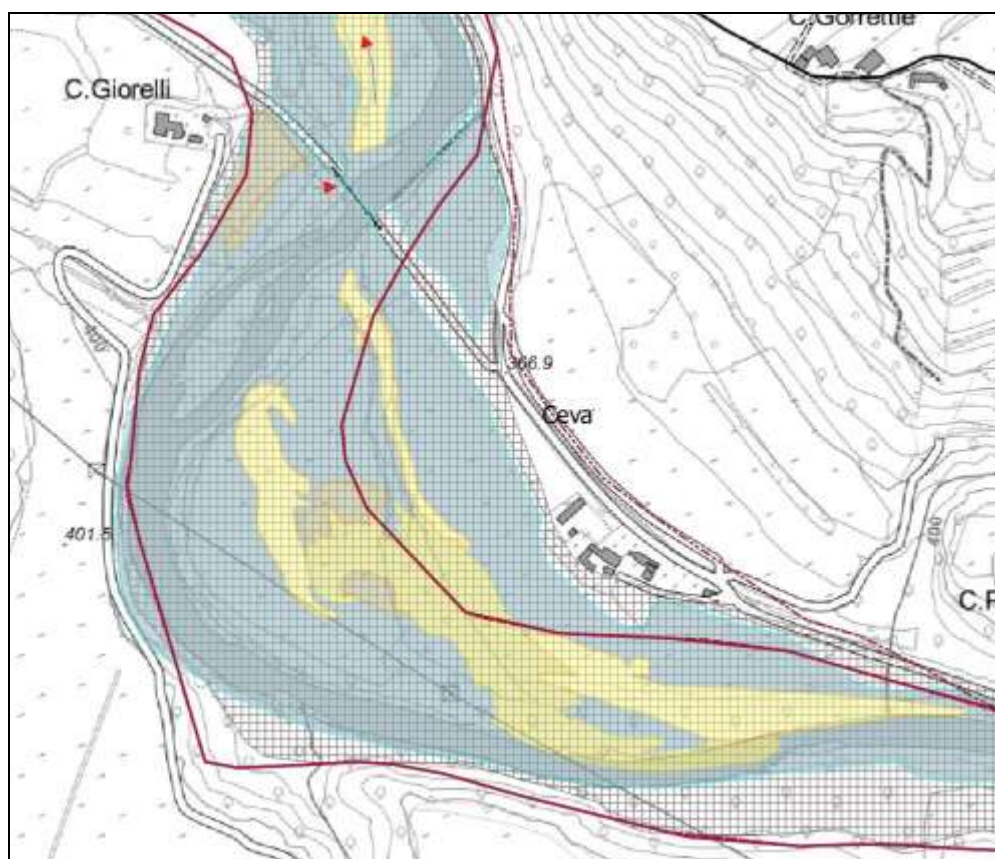


Figura 39. Fiume Tanaro in comune di Ceva - L'area di inondazione del 2016 è, soprattutto in destra idrografica, più ampia rispetto al limite di fascia B (linea continua rossa) ma compresa entro lo scenario "poco frequente" (M) del PGRA (campitura a quadretti)

Localmente, anche se meno diffusamente, si sono rilevate anche incongruenze con i limiti della fascia C.

A completamento del confronto con il quadro di pianificazione vigente, occorre peraltro evidenziare come le aree di inondazione del 2016 si siano mantenute sempre all'interno dello scenario "poco frequente (M)" individuato nelle mappe di pericolosità del PGRA. È opportuno ricordare come tale scenario sia assimilabile, esclusivamente sotto il profilo idraulico, alla fascia B del PAI.

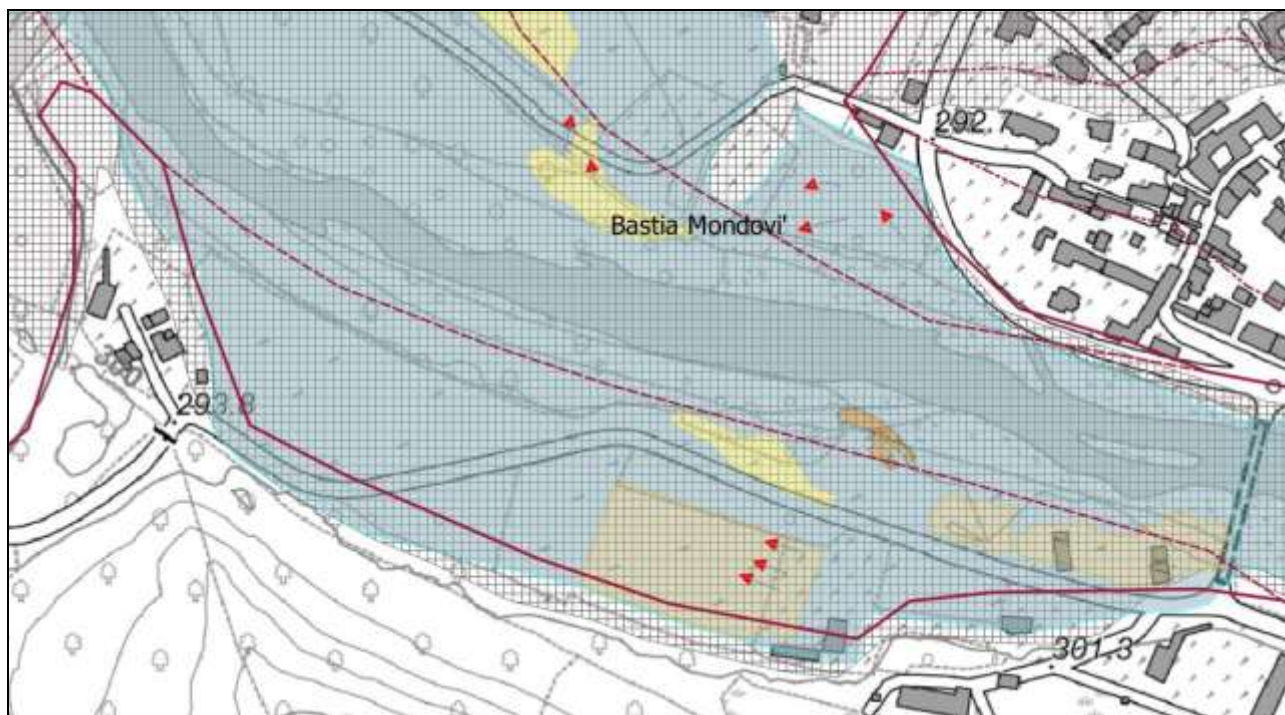


Figura 40. Fiume Tanaro in comune di Bastia Mondovì - L'area di inondazione del 2016 sinistra idrografica, più ampia rispetto al limite di fascia B del PAI (linea continua rossa), qui coincidente con il limite di fascia C, ma compresa entro lo scenario "poco frequente" (M) del PGRA (campitura a quadretti)

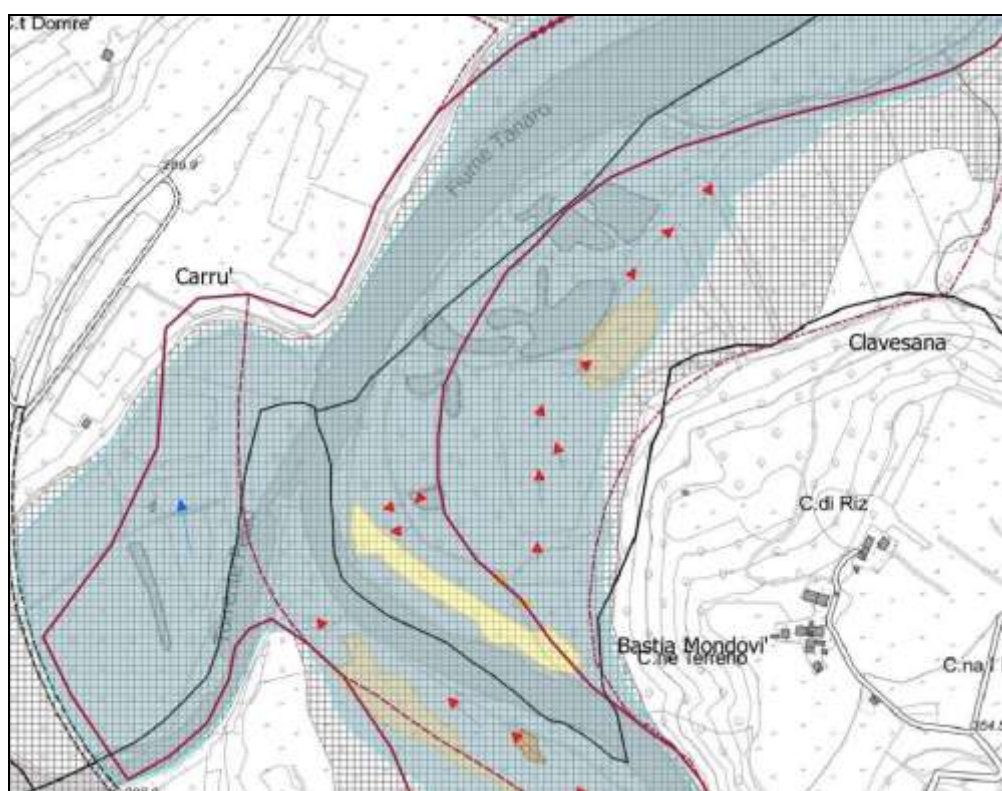


Figura 41. Fiume Tanaro alla confluenza con il torrente Pesio - Anche in questo caso le aree di inondazione del 2016, più ampie rispetto al limite di fascia B del PAI (linea continua rossa), sono comprese nello scenario 'poco frequente' (M) del PGRA

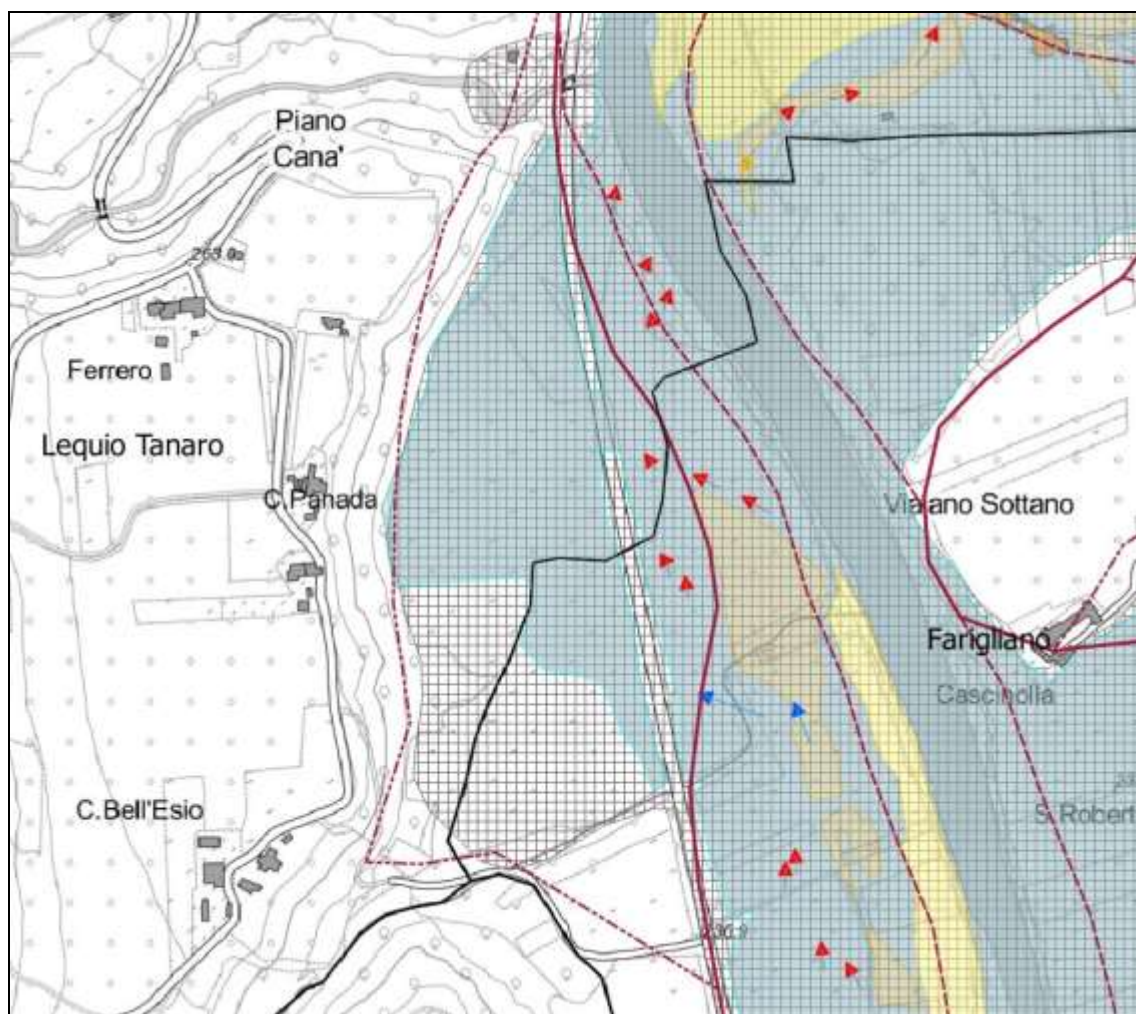


Figura 42. Fiume Tanaro tra Lequio Tanaro e Farigliano - L'area di inondazione del 2016 in sinistra idrografica, sormontando il rilevato della SP12, ha occupato la fascia C del PAI (linea rossa tratto-punti). Tuttavia è rimasta compresa entro lo scenario "poco frequente" (M) del PGRA (campitura a quadretti)

Come già anticipato, tuttavia, sono emerse alcune criticità. Tra queste, la principale è certamente costituita dall'ambito compreso tra la frazione L'Arcurata in comune di Carrù e l'abitato di Clavesana (frazione Gerino).

Nei pressi della frazione L'Arcurata, si sono verificati sormonti degli argini realizzati successivamente al 1994, anche accompagnati da processi erosivi (Figura 44).

La dinamica di deflusso della piena è stata condizionata dalle interferenze determinate dalla traversa fluviale, dal grosso rilevato arginale posto a valle della stessa in destra idrografica e dal manufatto di sbarramento, costruiti a protezione della località Gerino, nel comune di Clavesana. Anche in questa località si sono registrate inondazioni provenienti sia da monte sia per uscita laterale del Tanaro (Figura 45).

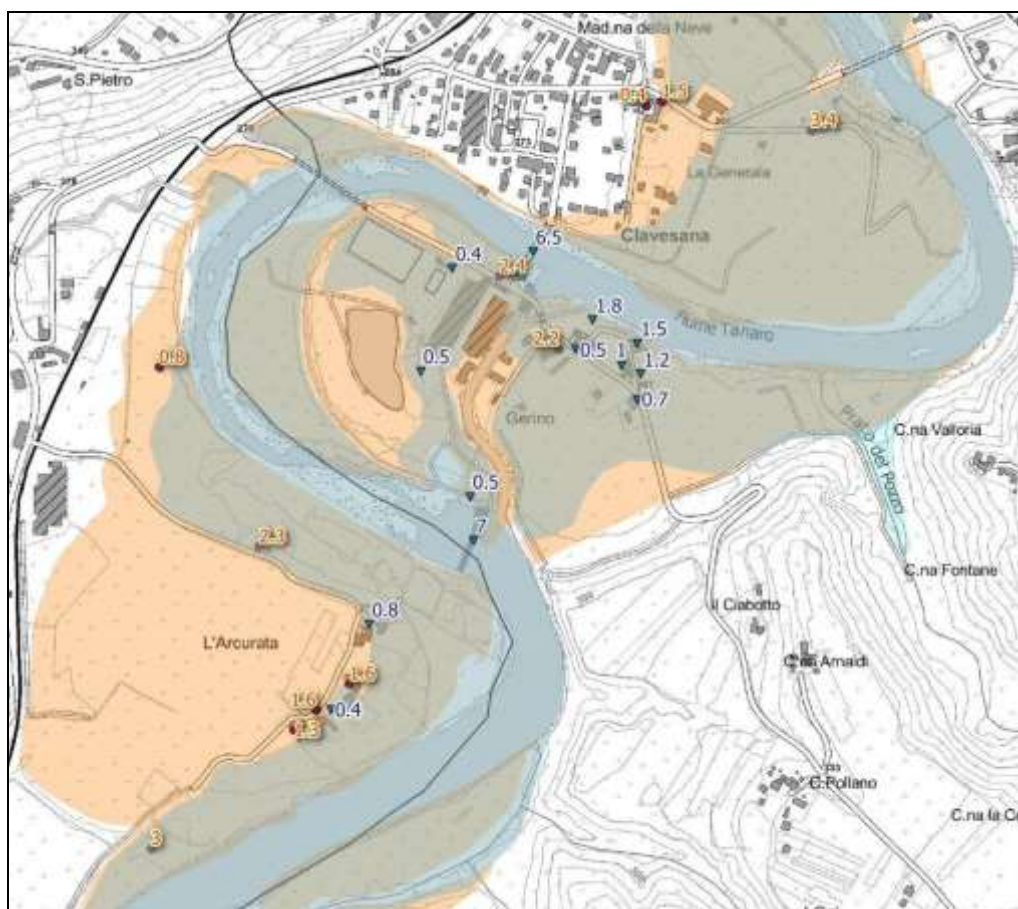


Figura 43. Fiume Tanaro tra Carrù e Clavesana - **Evento 1994**: con il colore pesca le aree inondate dal Tanaro (altezze d'acqua in rosso). **Evento 2016**: in azzurro le aree inondate dal Tanaro (altezze d'acqua in blu)



Figura 44. Carrù (località L'Arcurata) – a sinistra, sulle pareti dell'edificio sono visibili i segni dell'inondazione, a destra Segni di erosione sul rilevato arginale

I processi manifestatisi sono, ovviamente e fortunatamente, ben differenti rispetto ai disastrosi effetti verificatisi nella stessa località in occasione dell'evento 1994, anche grazie alle opere di difesa nel frattempo realizzate.



Figura 45. Clavesana (località Gerino) - Area inondata dalla piena del 2016 per sormonto del rilevato arginale più a monte



Figura 46. a sinistra, evento 1994 - Foto aerea della zona di Clavesana (tratta da "Eventi alluvionali in Piemonte" - Regione Piemonte 2008); a destra evento 2016 - Foto aerea della zona di Clavesana

Tuttavia, la piena ha mostrato come l'assetto di progetto del Tanaro in questo ambito debba ancora essere completato, tenendo conto sia degli aspetti prettamente idraulici sia degli aspetti legati ai processi morfologici, qui fortemente condizionati dai vincoli imposti dalle opere idrauliche di vario genere presenti.

Anche in questa situazione le aree inondate ricadono interamente dentro lo scenario di piena "poco frequente" (M). Lo stesso PAI, peraltro, individua un assetto di progetto ancora da completare, come evidenziato dai limiti di progetto ancora "da attuare" della fascia B vigente.

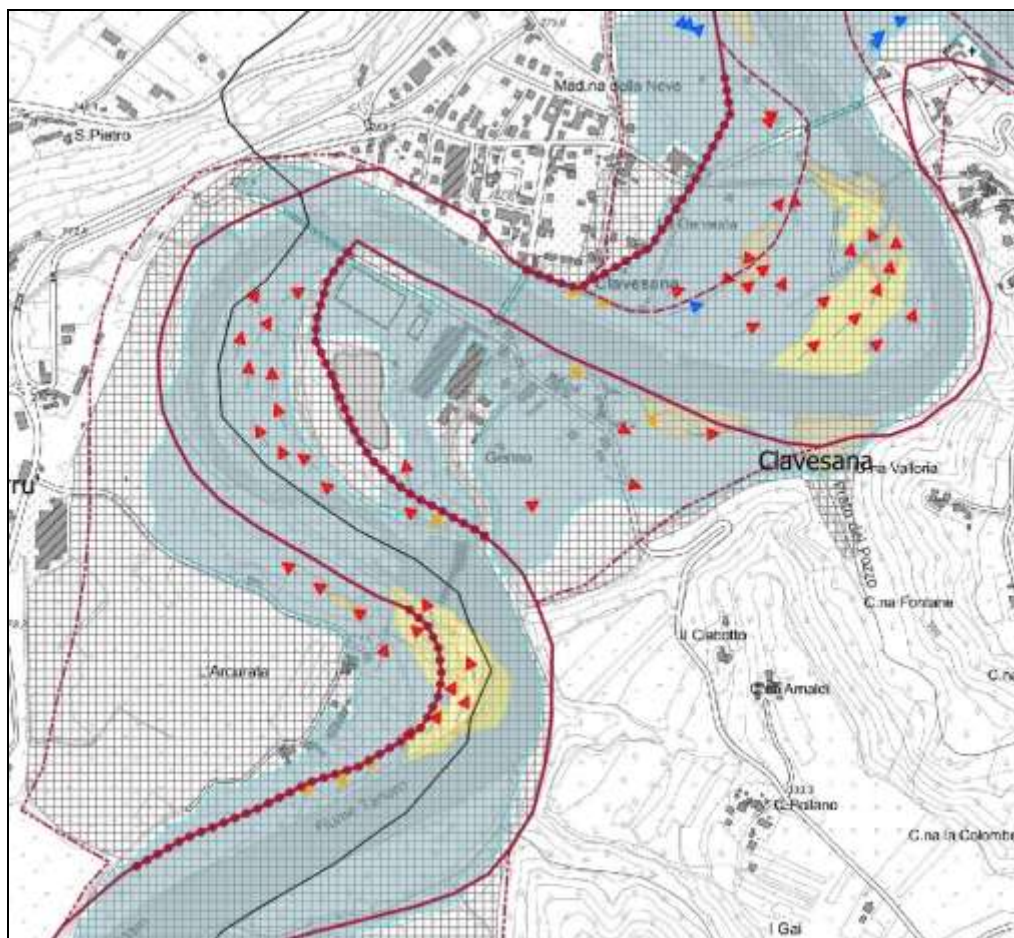


Figura 47. Fiume Tanaro tra L'Arcurata (Carrù) e Clavesana - Le aree di inondazione del 2016, più ampie rispetto al limite di fascia B del PAI (linea continua rossa), sono comprese nello scenario 'poco frequente (M)' del PGRA. In questo caso, tuttavia, la presenza dei limiti di progetto della fascia B (linea rossa a "pallini") indica che l'attuazione dell'assetto di progetto definito dal PAI non è ancora stata ultimata

Più a valle, il confronto tra i due eventi non evidenzia sostanziali differenze, perlomeno in termini di estensione del campo di inondazione, salvo che nel tratto compreso tra Monchiero e Narzole, dove anche la presenza di attraversamenti non adeguati nel 1994 contribuì a determinarne l'estensione, in particolare andando a inondare un antico meandro nei pressi di località S. Bernocco. Questo esempio pone in evidenza un duplice effetto legato al rifacimento degli attraversamenti, con ampliamento delle sezioni di deflusso.

Se da un lato, infatti, il minore innalzamento dei livelli idrometrici a monte e la conseguente minore estensione del campo di inondazione hanno determinato minori danni, dall'altro lato la stessa minore estensione e la probabile velocizzazione della dinamica della piena ha determinato un minore sfruttamento delle aree di laminazione, in tale tratto peraltro verificatosi solo in ambiti di estensione ridotta, aggravando potenzialmente le condizioni di rischio per i territori posti più a valle.

Nel tratto fino a Cherasco la piena del 2016 ha occupato sostanzialmente l'intero fondovalle, seppure con livelli idrometrici nettamente inferiori rispetto al 1994, come testimoniato, ad esempio, in corrispondenza della centrale elettrica di Cherasco (Figura 49).

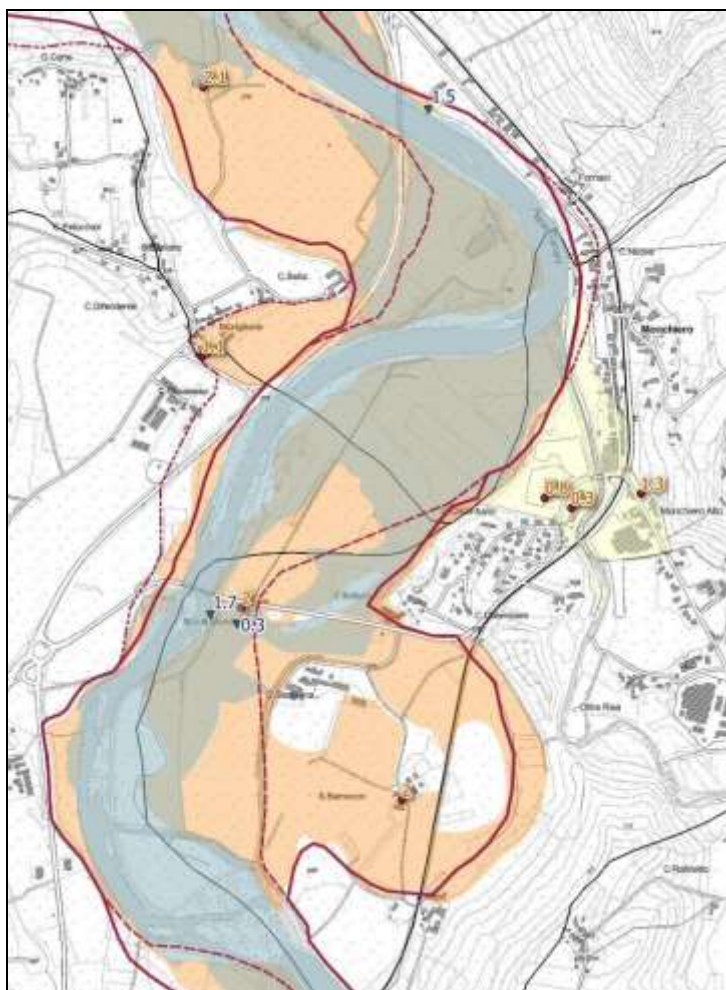


Figura 48. Fiume Tanaro tra Monchiero e Narzole - Evento 1994: con il colore pesca le aree inondate dal Tanaro, in giallo aree allagate dal reticolo secondario (altezze d'acqua in rosso). Evento 2016: in azzurro le aree inondate dal Tanaro (altezze d'acqua in blu). La linea rossa continua rappresenta il limite della fascia B vigente del PAI



Figura 49. Cherasco – a sinistra effetti dell'evento di piena del 2016 in corrispondenza della centrale elettrica di Isorella; a destra confronto tra il livello raggiunto dall'acqua nel 1994 e quello del 2016 nella medesima località

Il Fiume Tanaro dalla confluenza con la Stura di Demonte fino a Asti

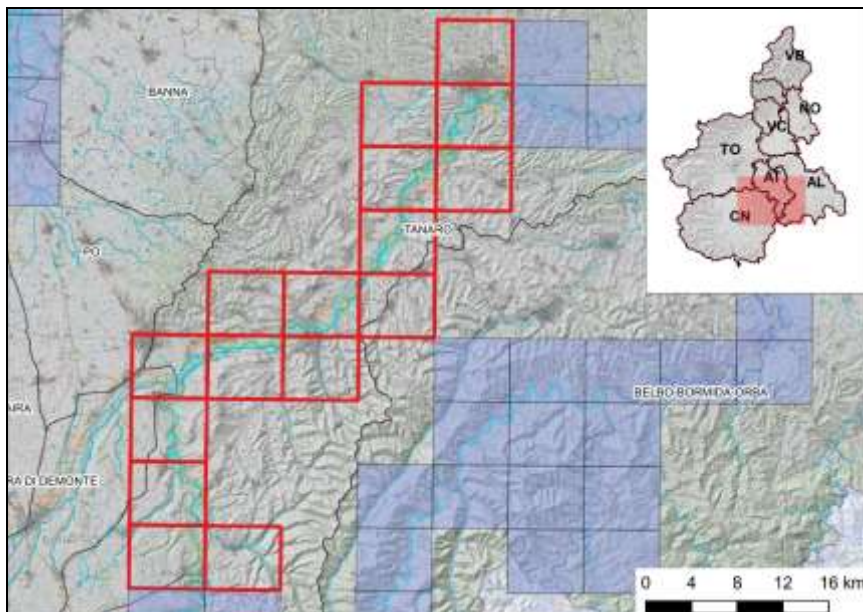


Figura 50. Quadro di unione delle sezioni BTRE al 1:10.000 su cui è stato effettuato il rilievo di dettaglio descritto nel paragrafo

Immediatamente a valle della confluenza con la Stura di Demonte, l'ampiezza del campo di inondazione del Tanaro relativo all'evento 2016 è del tutto comparabile a quello del 1994.

Nel tratto compreso fra i ponti di Pollenzo e di Govone, che sottende la città di Alba, la piena ha generalmente interessato le aree golenali in prossimità delle anse fluviali, determinando danni alle aree agricole confinanti. Le aree di inondazione sono risultate generalmente inferiori a quelle raggiunte durante l'evento del novembre 1994, come anche i

livelli di piena. Esse sono state contenute all'interno della fascia B del PAI e dello scenario "poco frequente (M)" del PGRA.

È evidente, inoltre, il mancato apporto, rispetto al 1994, dei principali corsi d'acqua tributari del fiume Tanaro.

In corrispondenza del ponte di Pollenzo, in sponda destra, dove durante l'evento del 1994 il Tanaro aveva asportato per un cospicuo tratto la SP 7 costruita in rilevato (su antica opera idraulica trasversale ottocentesca), l'acqua si è convogliata attraverso l'apertura a fornice sotto la strada provinciale, invadendo le aree agricole a valle e provocando vistose erosioni nel punto di rientro in alveo e consistenti depositi ghiaioso-ciottolosi (Figura 51).

A partire dal ponte di Pollenzo, dove l'alveo del Tanaro ha subito nel tempo un vistoso approfondimento, il confronto tra i due eventi pone in evidenza un'estensione della superficie inondata nel 2016 nettamente inferiore.

A monte di Alba le aree inondate più estese riguardano settori ribassati dall'attività estrattiva. Gli effetti più evidenti della piena sono riscontrabili nelle aree golenali con erosioni di sponda, escavazione di nuovi alvei, depositi di corpi ghiaioso-ciottolosi e sabbiosi. Da segnalare dei depositi costituiti da blocchi di marna "strappati" dall'alveo e depositati esternamente, a testimonianza di come i processi di approfondimento che hanno interessato il Tanaro in questo tratto interessano anche il substrato roccioso (Figura 52, a sinistra).

Particolarmente rilevanti gli effetti in sinistra di fronte alla lunata Topino, al confine fra i Comuni di Roddi e Alba. A monte di questa ansa è stato distrutto un guado (fra i Comuni di Roddi, Monticello e Alba) utilizzato per attività estrattiva. (Figura 52, a destra).



Figura 51. Ponte di Pollenzo - Ripresa aerea del volo effettuato a seguito dell'evento. Erosioni e depositi a valle della SP7



Figura 52. A sinistra, Alba - Blocchi di substrato marnoso erosi dal fondo alveo e depositati in sinistra idrografica, a monte della città di Alba; a destra asportazione di un guado in alveo a ridosso dei comuni di Roddi, Monticello e Alba

A valle della lunata Topino (Casa Circondariale) è stata accerchiata dalle acque di piena l'ex-discarica comunale di Alba, protetta al piede da opere di difesa. Anche a monte di Alba, in destra, si rilevano effetti erosivi e deposizionali rilevanti in corrispondenza del rilevato della tangenziale di accesso al ponte strallato.

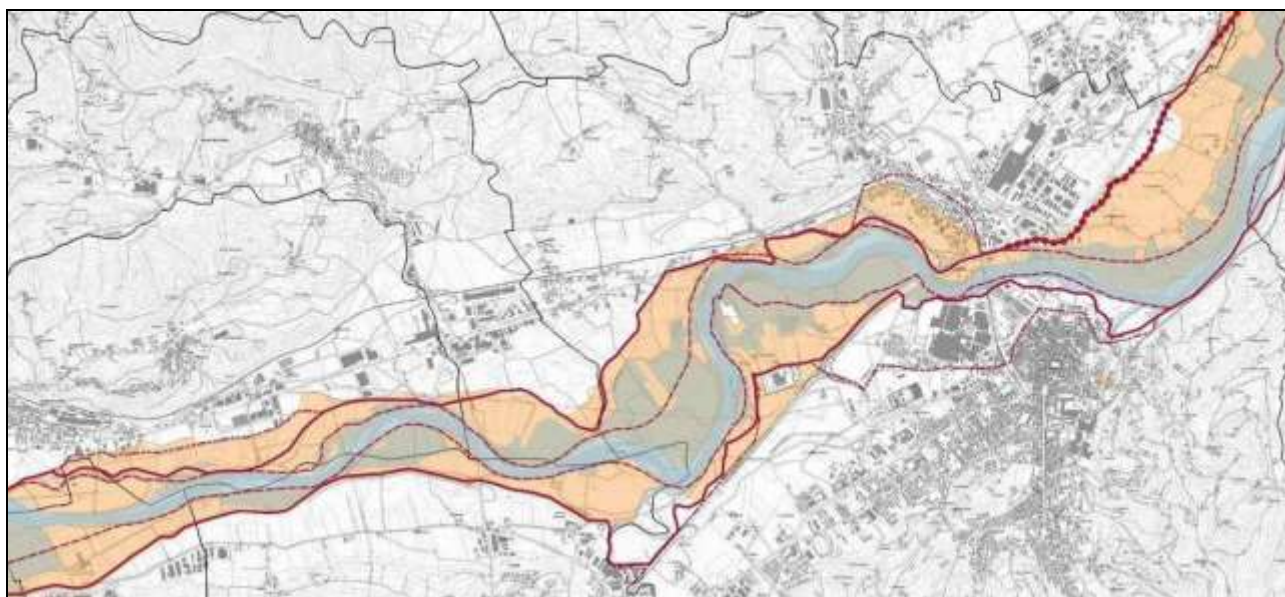


Figura 53. Fiume Tanaro tra Santa Vittoria e Alba- **Evento 1994**: con il colore pesca le aree inondate dal Tanaro. **Evento 2016**: in azzurro le aree inondate dal Tanaro

LA CITTÀ DI ALBA

Le difese arginali realizzate a protezione della città di Alba si sono dimostrate efficaci, garantendo anche il franco idraulico di progetto sul colmo di piena. Si rilevano, esclusivamente, erosioni localizzate dell'argine a valle del ponte promiscuo di Alba, in destra idrografica.

È evidente, inoltre, il mancato apporto rispetto al 1994 dei corsi d'acqua laterali, i torrenti Talloria e Cherasca in destra e il torrente Riddone in sinistra che contribuirono in maniera sostanziale agli ingenti danni subiti in quell'occasione dalla Città di Alba.

Più a valle, di fronte all'abitato di Barbaresco, si è rilevata una notevole estensione dell'area inondata che interessa ampiamente la fascia B, riducendosi successivamente per cause antropiche dovute alla presenza della SP3, ad andamento trasversale rispetto al Tanaro, al relativo ponte in direzione di Neive e agli insediamenti produttivi posti ai lati della viabilità. A questi elementi si è aggiunta la realizzazione dell'argine costruito presso Castagnito, a protezione degli insediamenti stessi.

In questo tratto la piena è comparabile con quella del 1994, anche se i livelli raggiunti appaiono comunque inferiori; l'area di inondazione è inoltre contenuta verso ovest dal rilevato dell'A33, non ancora realizzato nel 1994. In questo ambito si sono avuti importanti danni alle attività agricole.

A valle del ponte della SP3 il Tanaro riprende velocità e le aree inondate ritornano prevalentemente all'interno della fascia A.

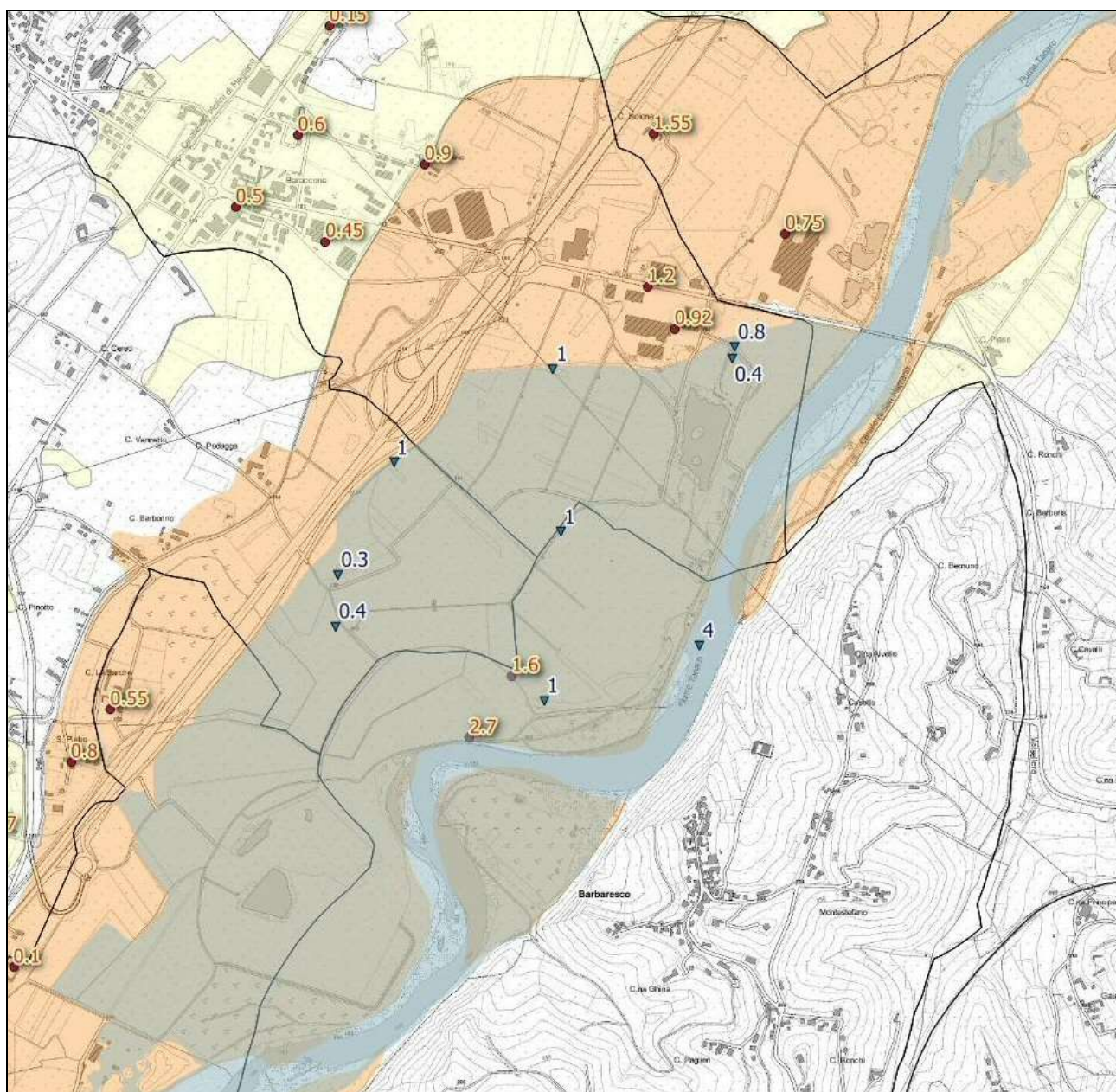


Figura 54. Fiume Tanaro tra Barbaresco e Castagnito - **Evento 1994**: con il colore pesca le aree inondate dal Tanaro, in giallo aree allagate dal reticolo secondario (altezze d'acqua in rosso). **Evento 2016**: in azzurro le aree inondate dal Tanaro (altezze d'acqua in blu)

Gli effetti più evidenti della piena sono limitati alle aree golenali con erosioni di sponda, escavazione di nuovi alvei, depositi di corpi ghiaioso-ciottolosi e sabbiosi (Figura 57).

Anche nel tratto astigiano, a monte della città di Asti, le aree di inondazione risultano decisamente meno ampie rispetto al 1994.

Ciò è legato solo in minima parte all'effetto di contenimento determinato dagli argini realizzati in seguito all'alluvione del novembre 1994, i quali, infatti, sono stati raggiunti dall'inondazione solo per limitate porzioni.

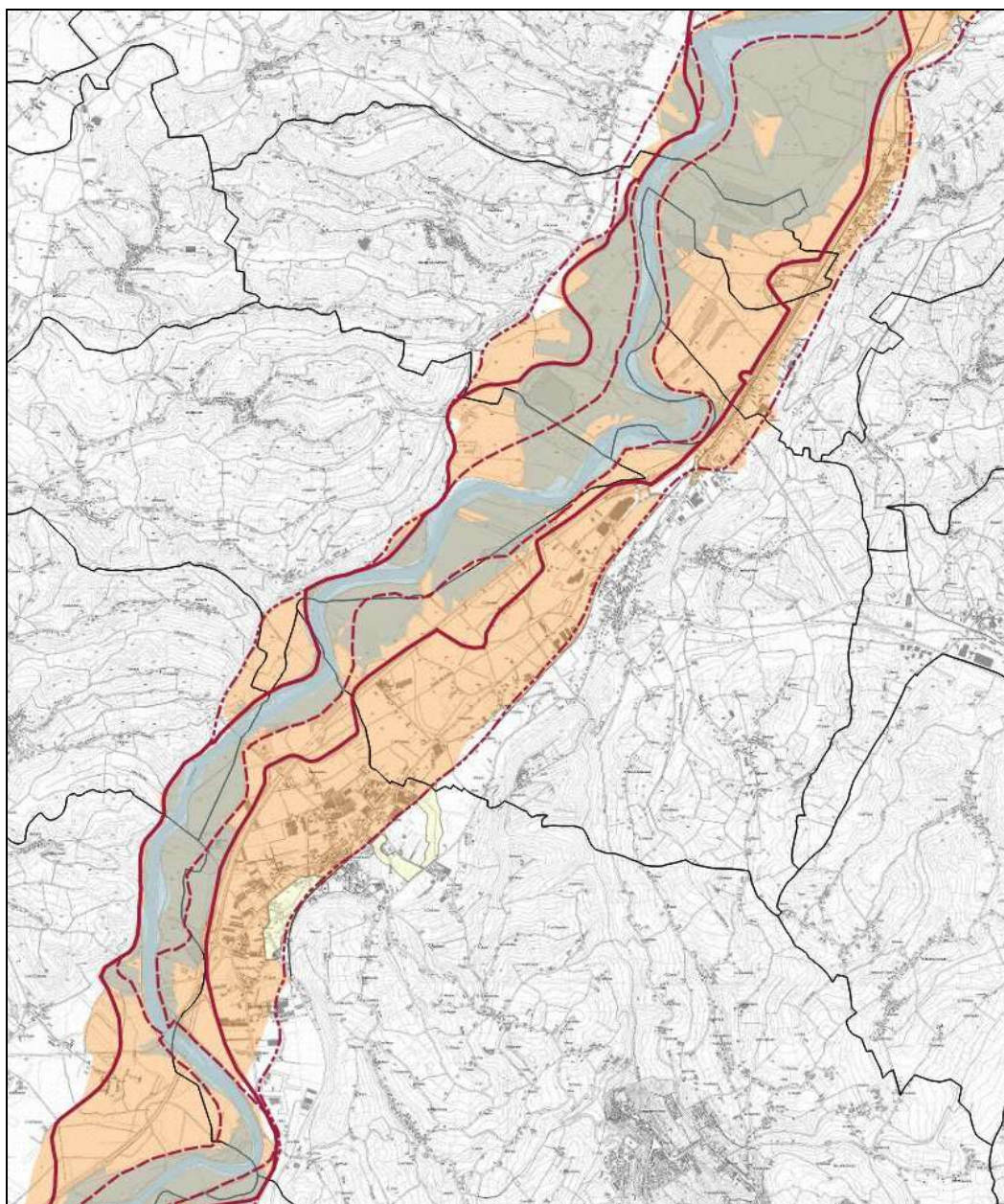


Figura 55. Fiume Tanaro tra Govone e Asti - **Evento 1994**: con il colore pesca le aree inondate dal Tanaro, in giallo gli allagamenti del reticolo secondario. **Evento 2016**: in azzurro le aree inondate dal Tanaro

Questa porzione di territorio, durante l'evento 2016, ha evidenziato una scarsa funzionalità in termini di effetti sulla laminazione delle piene.

Tale caratteristica, peraltro già precedentemente conosciuta e analizzata anche con specifici studi, è correlata sia al processo di approfondimento che ha interessato il Tanaro, in particolare negli ultimi 60 anni, sia per la presenza di setti di separazione tra alveo e pianura limitrofa, morfologie residuali di natura antropica legate all'attività estrattiva.

Anche in questo tratto si sono rilevati significativi processi erosivi, localmente influenzati dalla presenza di manufatti trasversali interferenti con il deflusso nelle golene (Figura 58 e Figura 59).

LA CITTÀ DI ASTI

In corrispondenza della città di Asti, si sono avuti problemi di rigurgito in sinistra idrografica in corrispondenza della confluenza del rio Valmanera, che ha determinato l'allagamento di una porzione di abitato con altezze d'acqua di circa un metro a bassa energia. A valle del ponte ferroviario, invece, gli allagamenti registrati sono imputabili al rigurgito della rete fognaria.

Gli argini a difesa della città realizzati successivamente al 1994 hanno sostanzialmente funzionato, pur non garantendo ovunque il metro di franco progettuale.

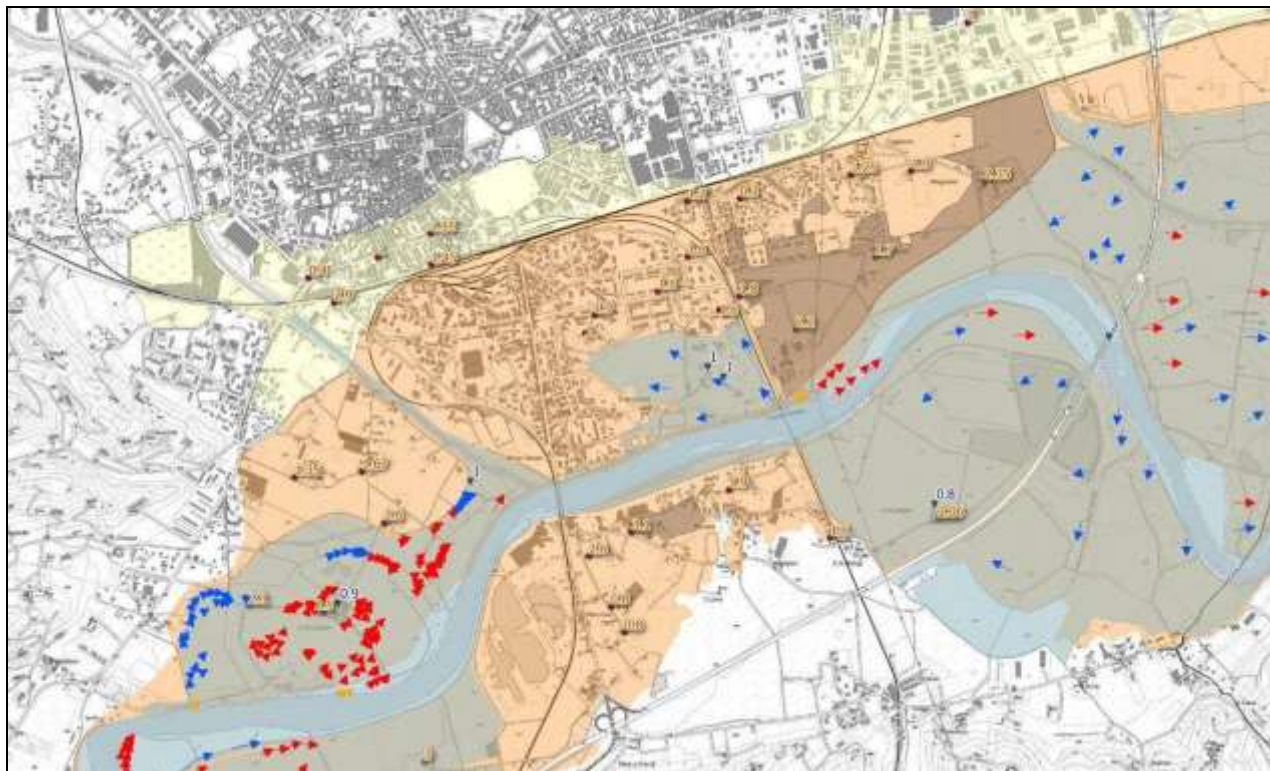


Figura 56. Fiume Tanaro ad Asti - **Evento 1994**: colore pesca le aree inondate dal Tanaro, in giallo aree allagate dal reticolo secondario (altezze d'acqua in rosso). **Evento 2016**: in azzurro le aree inondate dal Tanaro, in marrone allagamenti per rigurgito della rete fognaria (altezze d'acqua in blu)

In conclusione, si può quindi affermare che l'assetto difensivo pianificato, progettato e attuato, in linea di massima, ha funzionato, pur se nel tratto a monte della città di Asti è stato poco sollecitato e dentro la città sono emerse alcune criticità. A tal proposito, è opportuno ricordare che in occasione dell'evento del 2016, a differenza di quello del 1994, il torrente Borbore non è stato caratterizzato da una piena significativa.

Sotto l'aspetto della pianificazione di bacino, quindi, l'evento del 2016 non ha rilevato, per questo tratto, particolari incongruenze.

Anzi, si è avuta un'ulteriore conferma di quanto già noto, e riportato sia nel PAI che nel PGRA, sulla necessità di porre in atto misure e azioni mirate a favorire e a migliorare i processi di laminazione delle piene poco frequenti anche mediante interventi di rinaturazione e di riqualificazione fluviale, sia con il fine di garantire una migliore protezione dagli eventi di piena, in particolare per la città di Asti, sia per migliorare gli aspetti qualitativi del corpo idrico.



Figura 57. Neive - Blocchi in cemento costituenti vecchie difese spondali antierosione trasportate dalla piena e depositate in area golenale



Figura 58. Antignano - Erosione spondale in destra idrografica



Figura 59. Antignano - Processi erosivi intensi innescati e/o amplificati dalla presenza di settori ribassati dall'attività estrattiva e dalla presenza di rilevati di origine antropica

Il Fiume Tanaro da Asti ad Alessandria

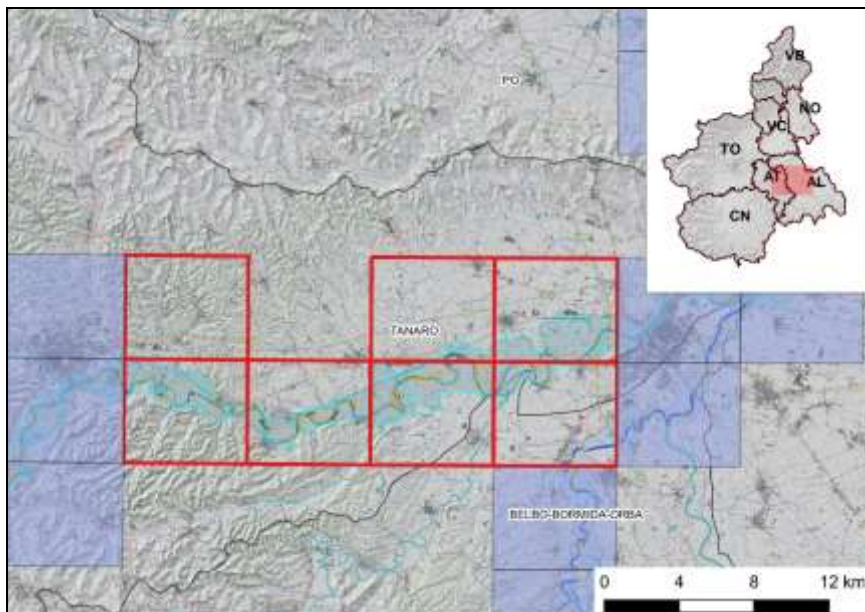


Figura 60. Quadro di unione delle sezioni BTRE al 1:10.000 su cui è stato effettuato il rilievo di dettaglio descritto nel paragrafo

L'esondazione del Tanaro del 25 novembre 2016 a valle della confluenza del Torrente Versa, nei comuni di Azzano d'Asti e Rocca d'Arazzo ha sostanzialmente riprodotto gli effetti causati dalla piena del 5-6 novembre 1994. Le inondazioni hanno infatti coinvolto prevalentemente aree a propensione agricola. Al contrario, l'abitato di Castello di Annone, che era stato pesantemente danneggiato dall'alluvione del 1994 e inondato con battenti di oltre 2 metri, è invece stato protetto dagli argini realizzati successivamente a tale evento.

Analogamente, gli abitati di Rocchetta Tanaro e Cerro Tanaro, interessati nel 1994 da estesi allagamenti favoriti dalla riattivazione di morfologie fluviali relitte, sono stati risparmiati dalla piena del 2016, grazie alla presenza degli argini post evento 1994 (Figura 61).

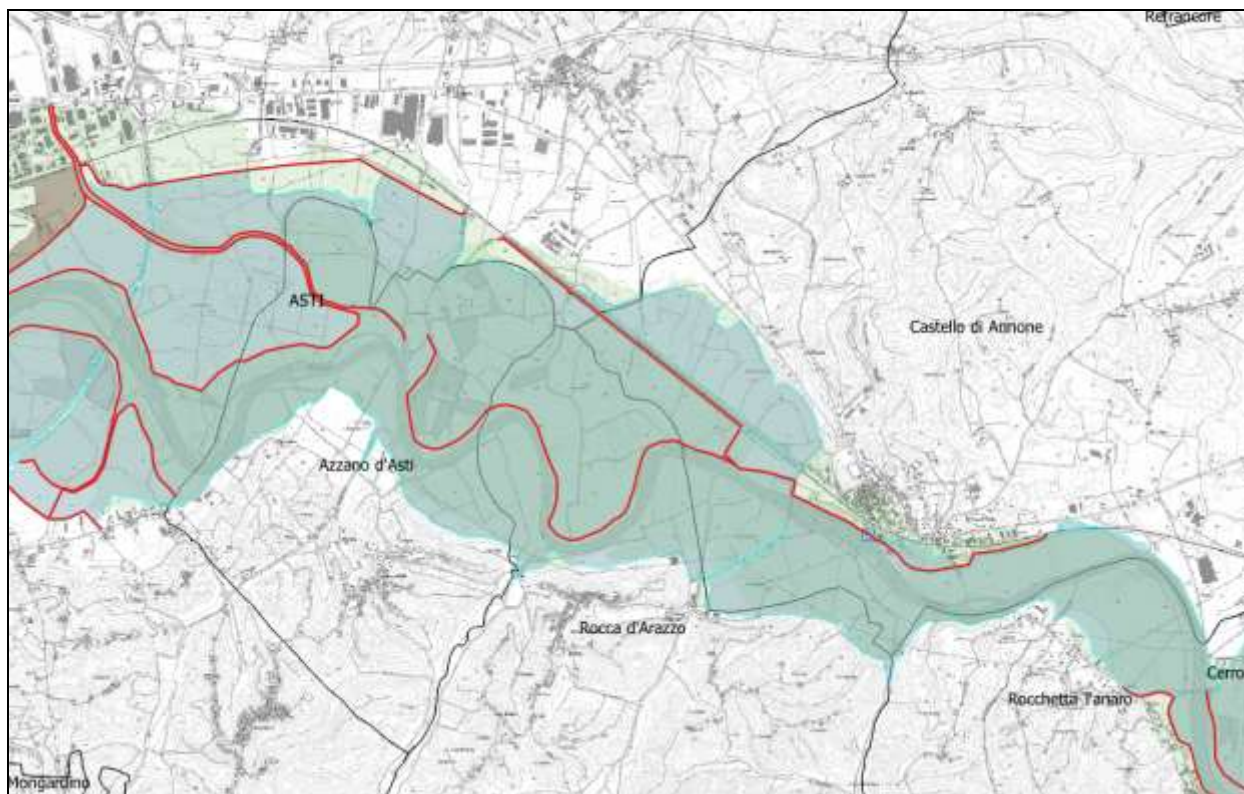


Figura 61. Confronto tra aree inondate nel 1994, in verdino, e aree inondate nel 2016, in grigio. Argini post 1994 in rosso

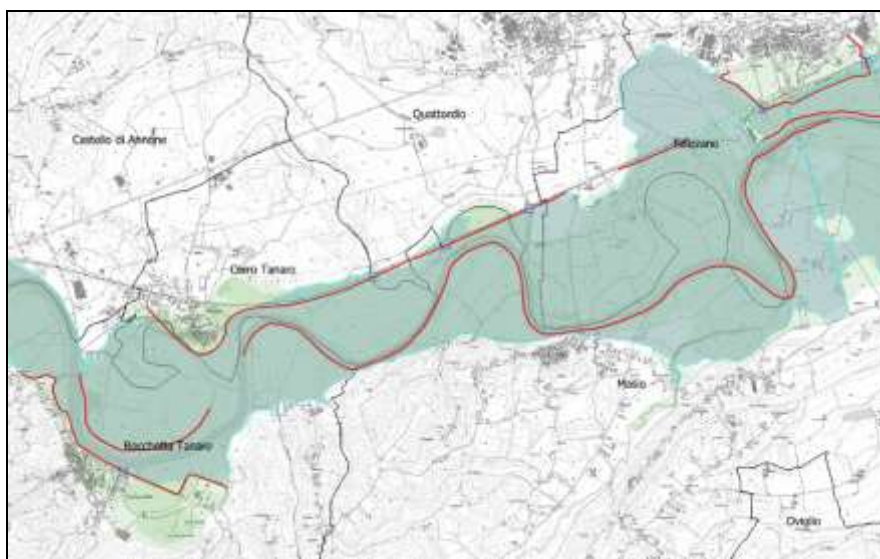


Figura 62. Confronto tra aree inondate nel 1994, in verdino, e aree inondate nel 2016, in grigio. Argini post 1994 in rosso

A Solero la sezione inondata in loc. Tanaro Morto sfiora i 3 km, interessando zone colpite in passato solo dall'evento del novembre 1994. I livelli d'acqua esondata sul piano campagna nel novembre 2016 variano in questo tratto da 0.5 a 2.5 metri, risultando quasi ovunque inferiori ai livelli della piena del '94. L'area inondata in questo tratto è quasi sempre contenuta entro i margini della fascia B. (Figura 62).

Le sponde sono state erose in più punti, con successivo deposito di materiale nelle aree allagate.

Nei comuni di Masio, Felizzano e Solero, l'area inondata nel 2016 appare estesa quasi quanto nel '94 alla quale risulta in buona parte sovrapponibile, a causa del superamento delle opere arginali in corrispondenza del meandro del Tanaro Rotto (C.na

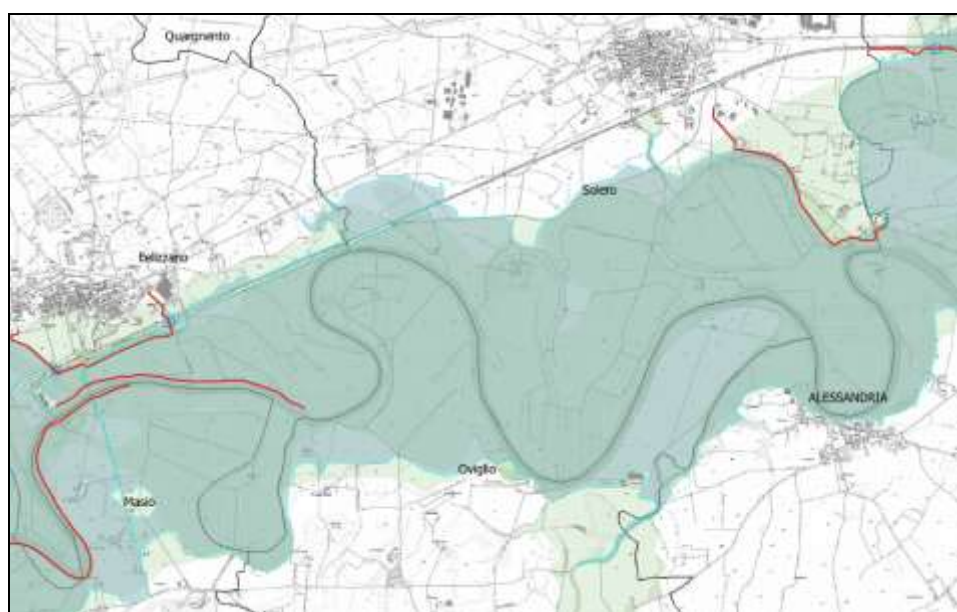


Figura 63. Confronto tra aree inondate nel 1994, in verdino, e aree inondate nel 2016, in grigio. Argini post 1994 in rosso

Gallinaccia) e della riattivazione dei paleoalvei in Regione Gorette che hanno consentito il propagarsi di correnti ad alta energia con battenti plurimetrici. La presenza degli argini ha scongiurato l'allagamento degli edifici di Felizzano posti nelle vicinanze della linea ferroviaria, mentre la SP 247, sormontata dalle acque, ha subito danni strutturali. (Figura 63).

LA CITTÀ DI ALESSANDRIA

L'evento del novembre 1994 ad Alessandria ha avuto esiti catastrofici, con numerose vittime, oltre che danni a edifici e strutture, mentre nel 2016 sono state allagate le aree agricole ma fortunatamente non le aree urbanizzate. (Figura 64).

L'area in sinistra Tanaro a monte della Cittadella, che nel 1994 è stata allagata fino oltre la linea ferroviaria con livelli di piena che hanno raggiunto, tra il Tanaro e il rilevato ferroviario, i 3 metri di altezza sul livello del suolo, è stata allagata anche nel 2016, con livelli superiori ai 2 metri.

Nel 1994 le acque esondate dalla sponda destra tra ponte ferroviario e ponte della Cittadella hanno invaso l'area del centro storico e hanno sormontando l'argine allora presente a protezione del rione Orti. Anche in sponda sinistra sono state colpite le zone residenziali e produttive di Via Vecchia Torino e del Rio Nuovo di Loreto. L'onda di piena in fase catastrofica, rotti gli argini in più punti, ha investito con violenza il centro storico, il rione Orti e numerose aziende agricole, distruggendo edifici e provocando vittime (9 nel solo rione Orti) prima di dissipare l'energia delle acque.

L'evento del 2016 non ha invece provocato vittime, né allagamenti in aree cittadine o urbanizzate su nessuna delle due sponde. Gli argini realizzati dopo l'evento 1994 si sono dimostrati efficaci, sebbene con franchi idraulici ridotti a causa dell'intensità del colmo di piena: gli idrogrammi del Tanaro mostrano come due picchi di piena si siano fusi ad Alessandria in un unico intenso colmo per effetto della laminazione.

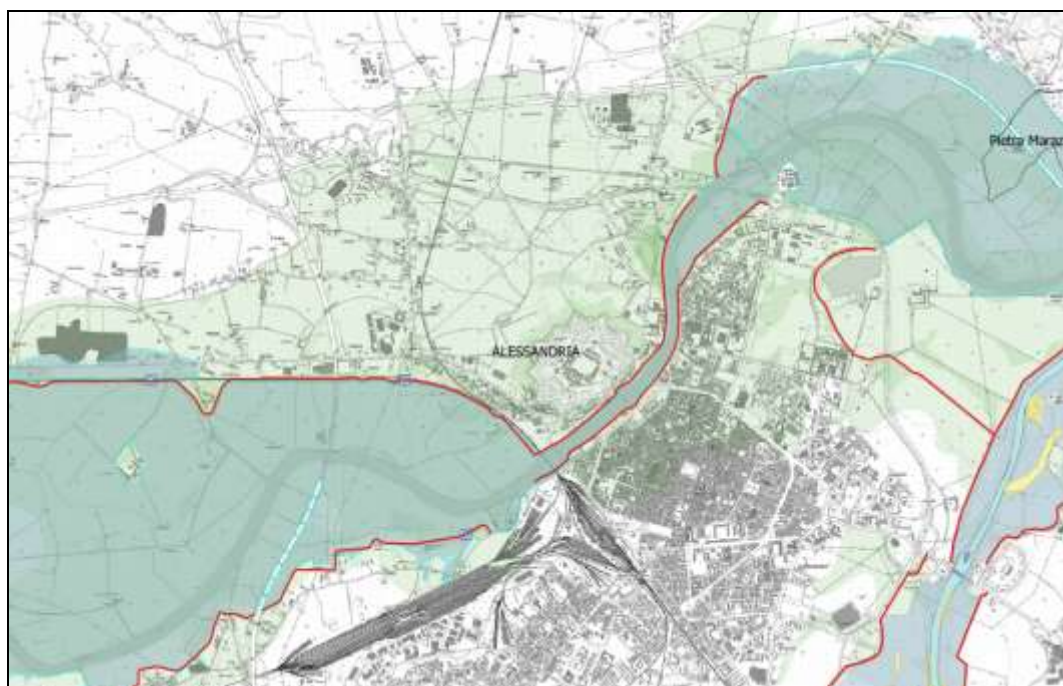


Figura 64. Confronto tra aree inondate nel 1994, in verdino, e aree inondate nel 2016, in grigio. Argini post 1994 in rosso

Il Fiume Tanaro da Alessandria alla confluenza in Po

A valle della confluenza del Bormida e fino alla confluenza nel Fiume Po, l'area inondata nell'evento del novembre 2016 appare complessivamente più ristretta rispetto al '94. In sinistra Tanaro l'area golenale è delimitata naturalmente dal margine dei rilievi collinari, mentre in sponda destra l'area inondata è delimitata dall'argine. Quest'ultimo, già esistente nel '94, aveva allora ceduto all'energia del deflusso in più punti, tra Lobbi e Piovera, e a partire dalla rottura di Piovera erano stati riattivati i paleoalvei all'esterno dell'argine coinvolgendo centri abitati, aree industriali e infrastrutture.

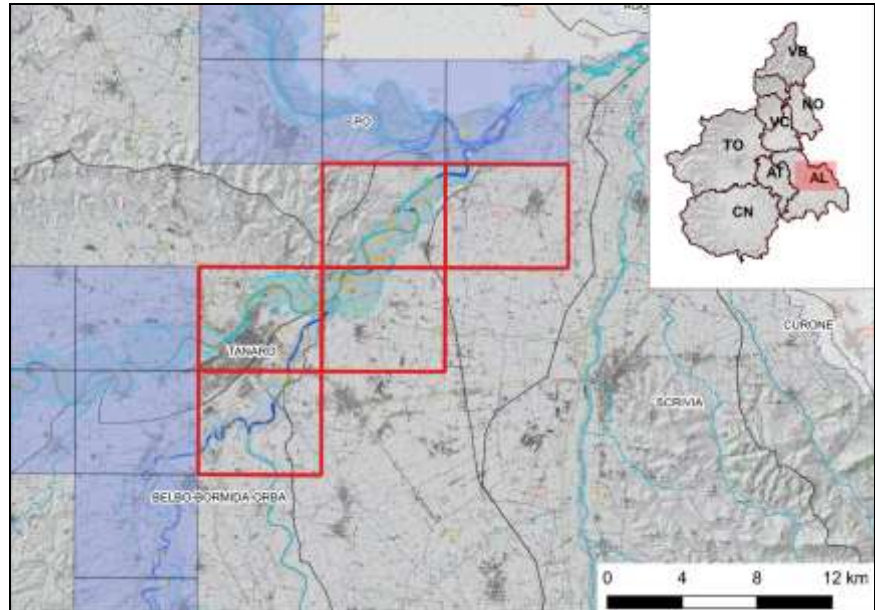


Figura 65. Quadro di unione delle sezioni BTRE al 1:10.000 su cui è stato effettuato il rilievo di dettaglio descritto nel paragrafo

Nel novembre 2016, a differenza dell'evento 1994, non sono state segnalate tracimazioni o rotture catastrofiche delle opere arginali con esondazioni nei centri abitati. (Figura 66).

Nel tratto terminale, la piena del Tanaro ha interessato la fascia B del PAI delimitata dai rilievi collinari in sinistra idrografica e dalle opere arginali in destra

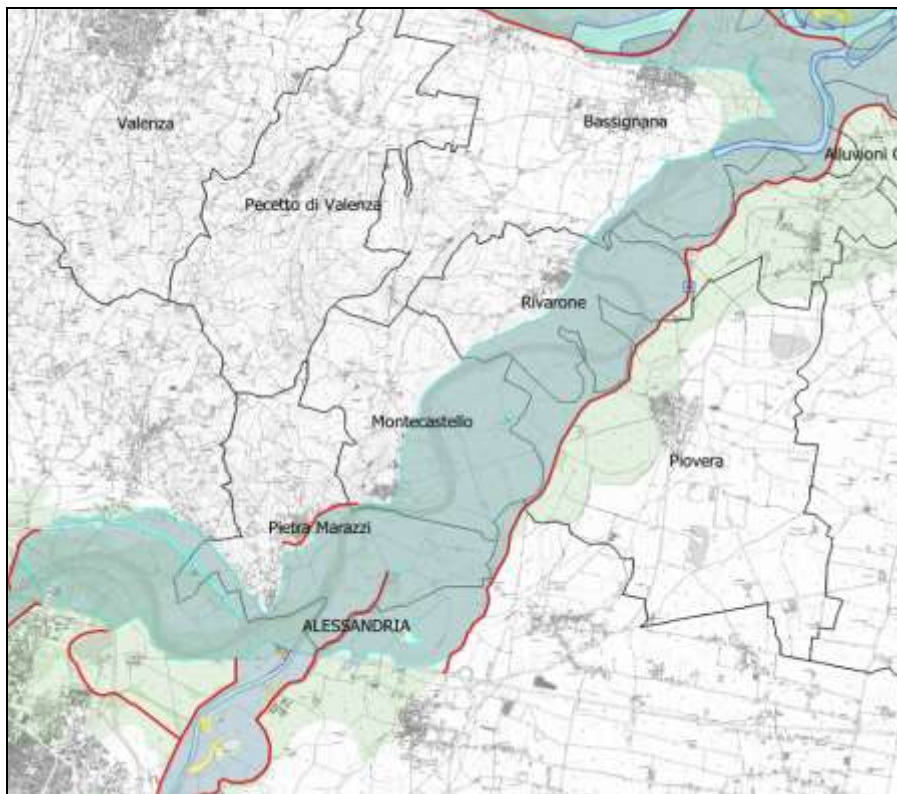


Figura 66. Confronto tra aree inondate nel 1994, in verdino, e aree inondate nel 2016, in grigio. Argini post 1994 in rosso

Considerazioni Conclusive

L'evento alluvionale del novembre 2016 ha rappresentato, per il Tanaro, un evento significativo. La portata della piena, corrispondente a quella con tempo di ritorno stimato secondo il PAI di circa 200 anni, è stata la prima a mettere alla prova le opere realizzate dopo il 1994. Mentre nel tratto iniziale del Tanaro, essa è stata nel 2016 addirittura superiore a quella del 1994, nel tratto da Asti alla confluenza in Fiume Po la portata di piena è stata quasi uguale o inferiore a quella del 1994, grazie ai minori contributi da parte dei tributari di Langhe e Roero. Le arginature, alcune di nuova realizzazione, altre rialzate rispetto a quelle esistenti nel 1994, hanno in linea di massima garantito il franco di sicurezza. In alcune situazioni, come nell'area cittadina di Alessandria, è stato valutato che una piena come quella del 1994 avrebbe sormontato gli argini. A valle di Alessandria gli argini costituiscono talora un restringimento delle aree golenali. Permangono quindi locali criticità, anche se nel complesso il sistema di arginature si è dimostrato efficace.

Bibliografia - Sitografia

ARPA Piemonte – 2016, Analisi preliminare evento 21 - 26 novembre 2016
<http://www.arpa.piemonte.gov.it/news/evento-alluvionale-21-26-novembre-2016-2013-pubblicato-il-rapporto-preliminare>

AA.VV - 1999, Eventi alluvionali in Piemonte, 2-6 novembre 1994, 8 luglio 1996, 7-10 ottobre 1996, Regione Piemonte - L'Artistica di Savigliano, 1999, 415 pp, 9 tav

AA.VV - 2017, Eventi di piena e frana in Italia settentrionale nel periodo 2005-2016, a cura di F. Luino e L. Turconi - SMS

TORRENTE CORSAGLIA E TORRENTE CASOTTO

L'attività fluvio-torrentizia si è esplicata in modo importante, sebbene più contenuto rispetto a quanto registrato nel corso dell'evento alluvionale del novembre 1994, anche lungo alcune aste torrentizie delle vallate monregalesi, in particolare lungo i corsi d'acqua Casotto e Corsaglia.

Nella Valle Corsaglia le situazioni più rilevanti sono quelle che hanno coinvolto la borgata Martinetto, alluvionata pesantemente come già nel 1994; la strada della fondovalle Corsaglia, asportata per un tratto di circa 40 metri in corrispondenza del Ponte dei Gorrazzi, dove si è riproposta la stessa dinamica verificatasi nel 1994; la località S. Rocco-Bottera, dove l'esondazione del torrente, favorita dalla presenza di un'opera trasversale, ha prodotto danni alla strada; le condotte dell'acquedotto pubblico nei pressi della località Mottoni, a causa della violenta erosione della sponda sinistra.



Figura 1. Vicoforte, loc. Martinetto. Fotografia scattata il 28 novembre 2016

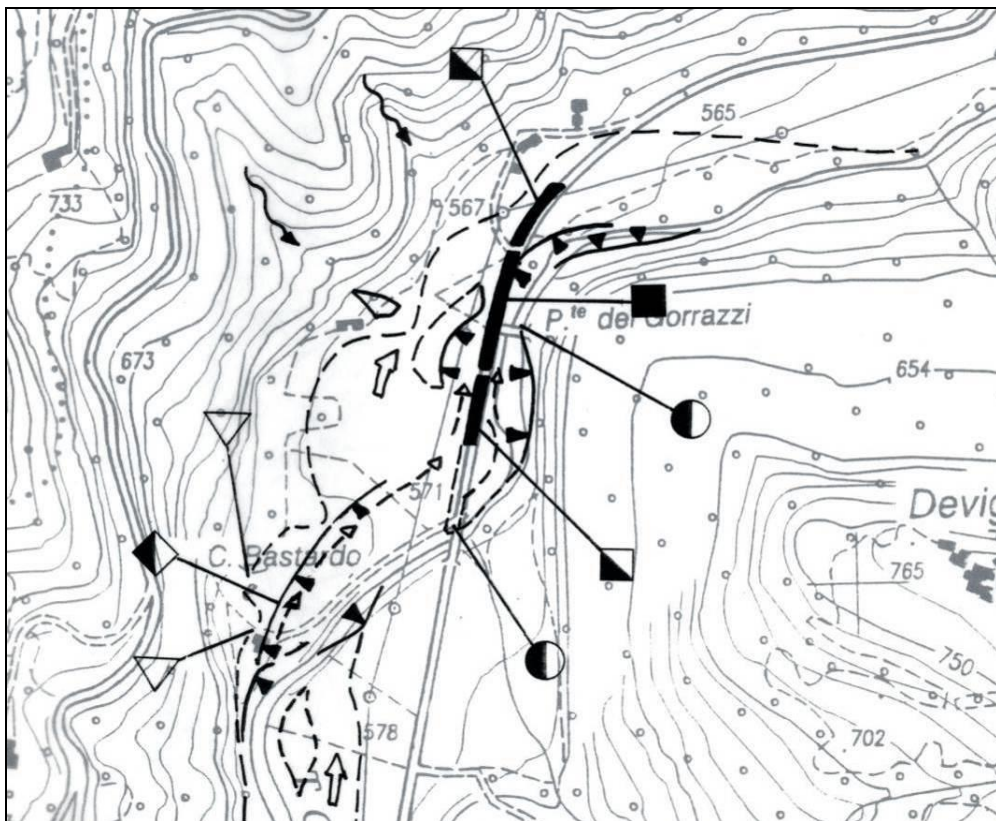


Figura 2. Effetti della piena del 4-6 novembre 1994 in corrispondenza del ponte dei Gorrazzi



Figura 3. Effetti della piena del 4-6 novembre 1994 in corrispondenza del ponte dei Gorrazzi



Figura 4. Effetti della piena del 24-26 novembre 2016 in corrispondenza del Ponte dei Gorrazzi



Figura 5. Frabosa Soprana, loc. S. Rocco-Bottera; esondazione in destra idrografica con coinvolgimento della strada e della borgata. Fotografia scattata il 28 novembre 2016

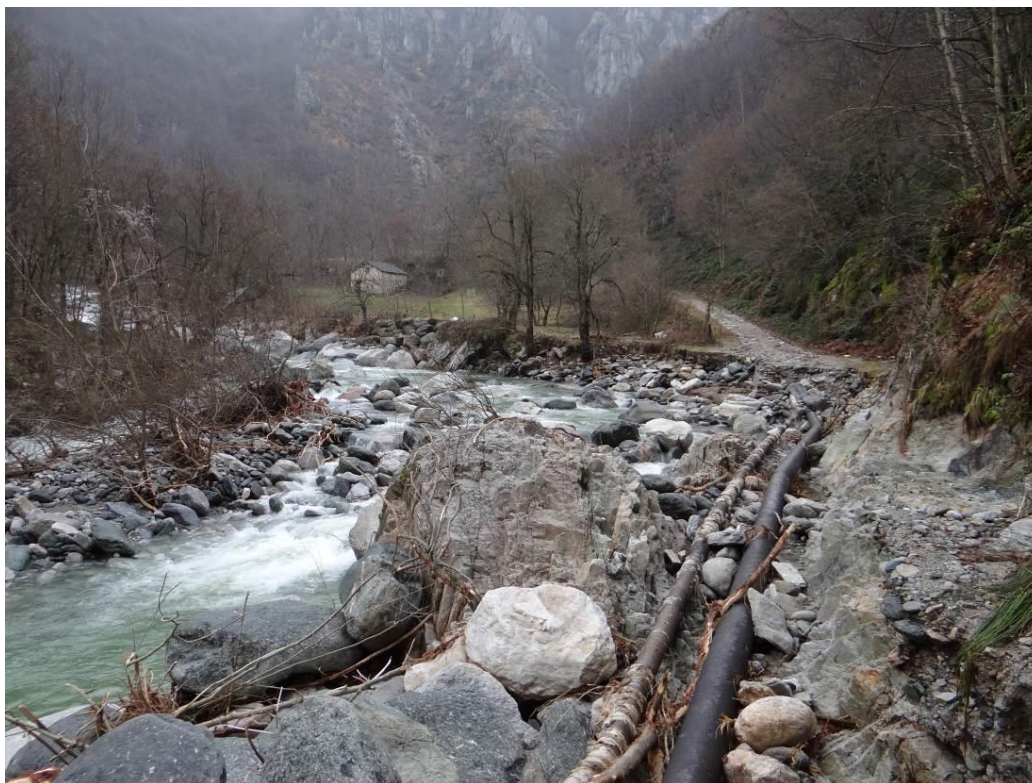


Figura 6. Frabosa Soprana, loc. Mottoni; danni all'acquedotto. Fotografia scattata il 28 novembre 2016

Nella Valle Casotto le maggiori criticità si sono avute nell'abitato di Pamparato per gli edifici posti a ridosso dell'alveo del torrente, in particolare quelli del Borgo Riviera, investiti dalle acque esondate; critica anche la situazione lungo la strada di fondovalle, danneggiata in svariati tratti a causa dei processi erosivi di sponda.



Figura 7. Pamparato, loc. Borgo Riviera. Fotografia scattata il 30 novembre 2016



Figura 8. Pamparato, loc. Curto; erosione spondale, danni alla provinciale di fondovalle. Fotografia scattata il 30 novembre 2016



Figura 9. Torre Mondovì, loc. Donato; erosione spondale a seguito di sottoscalzamento dell'opera di difesa, danni alla provinciale di fondovalle. Fotografia scattata il 30 novembre 2016



Figura 10. Torre Mondovì, loc. Melu-Merizzo; violenta attività torrentizia con coinvolgimento di una piccola azienda agricola. Fotografia scattata il 30 novembre 2016



Figura 11. Monasterolo Casotto, loc. Costacalda; erosione spondale, danni alla provinciale di fondovalle. Fotografia scattata il 30 novembre 2016

FIUME BORMIDA

Il Fiume Bormida di Millesimo da Cortemilia alla confluenza con Bormida di Spigno

Gli effetti indotti dalla piena di riferimento lungo la Bormida di Millesimo sono paragonabili a quelli rilevati durante l'evento del novembre 1994.

A valle di Cortemilia le acque hanno occupato il fondovalle compreso tra la strada statale in sinistra e le pendici dei rilievi a destra. Le acque di esondazione hanno coinvolto prettamente aree a destinazione agricola fatta eccezione per Vesime, Cessole, Bubbio e Monastero Bormida dove hanno interessato anche edifici di civile abitazione e produttivi.

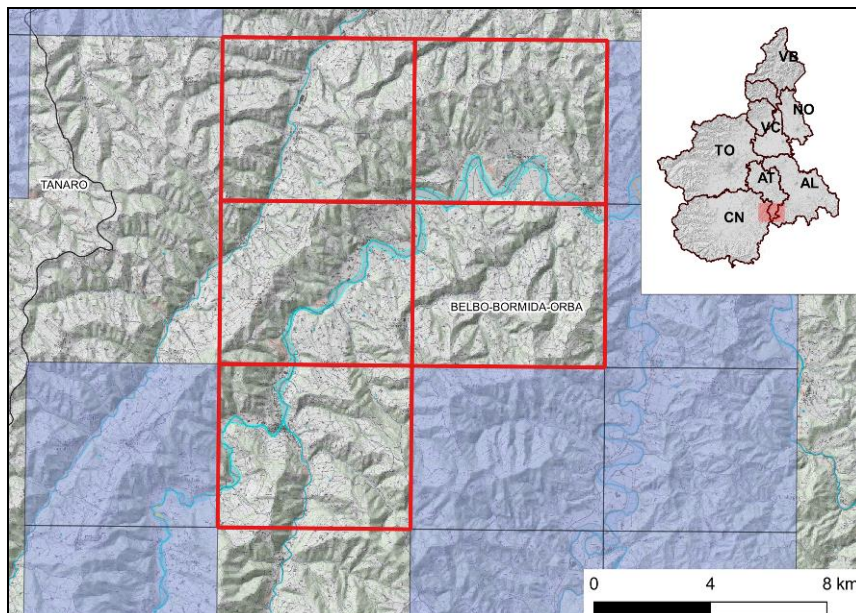


Figura 1. Quadro di unione delle sezioni BTRE al 1:10.000 su cui è stato effettuato il rilievo di dettaglio descritto nel paragrafo

A Vesime il fiume forma una stretta ansa a gomito, in corrispondenza del ponte, le acque di piena sono fuoriuscite dall'alveo in sponda destra seguendo l'andamento di un'incisione relitta, allagando gli edifici di loc. C. Bernengo con battenti idrici di circa 0.80 m e danneggiando le aree agricole presenti.

Dopo il passaggio della piena sono rimasti sulla piana alluvionale a testimonianza della violenza delle acque molti alberi sradicati, come nel tratto a monte e a valle del ponte sul Bormida (Figura 2). In sponda sinistra si è verificata l'erosione delle difese spondali a protezione della sede stradale SP25.



Figura 2. Vesime, località C. Bernengo

A Cessole l'alveo del Bormida si restringe e compie nuovamente una stretta curva, le acque di piena non più contenute hanno inondato le aree agricole adiacenti depositando molto materiale arboreo proveniente dalle numerose piantagioni di pioppi presenti nelle adiacenze del corso d'acqua; i pioppi durante la piena hanno condizionato la direzione e l'intensità dei deflussi (Figura 3).



Figura 3. Accumulo di materiale arboreo a ridosso della SP25 (foto a sinistra), barriera di tronchi in corrispondenza delle coltivazioni di pioppi (foto a destra, Regione Piemonte)

A valle del ponte a S. Alessandro in sponda destra vengono interessati dalla piena alcuni edifici con battenti inferiori ai 0.50 m e poco più a valle, in sponda sinistra, le acque del Bormida invadono la sede stradale della SP25 e viene riattivato un suo ramo laterale

A Bubbio, a valle del ponte sul Bormida, in località Beccone la viabilità provinciale e comunale, alcuni edifici di civile abitazione, un'importante attività produttiva, alcune aziende agricole ed aree coltivate sono stati interessati da livelli idrici di circa 0.6 m (Errore. Il collegamento non è valido.).



Figura 4. Esondazione del Bormida a Bubbio (tratto da www.datimeteoasti.it)

A Monastero Bormida le acque hanno invaso la pianura a monte del ponte erodendo in destra difese spondali e terreni.

Il ponte romano (Figura 5 e Figura 6) non è stato sormontato come accaduto nell'evento del 1994 e l'area di esondazione risulta essere pressoché la medesima del 1994 ma con una differenza nei battenti idrici che oscilla, a seconda della zona, tra 0.70 e 1.50 m; gli edifici nelle vicinanze del fiume sono stati allagati (Figura 7).



Figura 5. Ponte romano di Monastero Bormida durante la piena del 25 novembre 2016



Figura 6. In primo piano il ponte di Monastero Bormida. La linea blu indica il battente d'acqua raggiunto sugli edifici a monte dell'opera nell'evento 2016. L'attraversamento è rimasto intatto

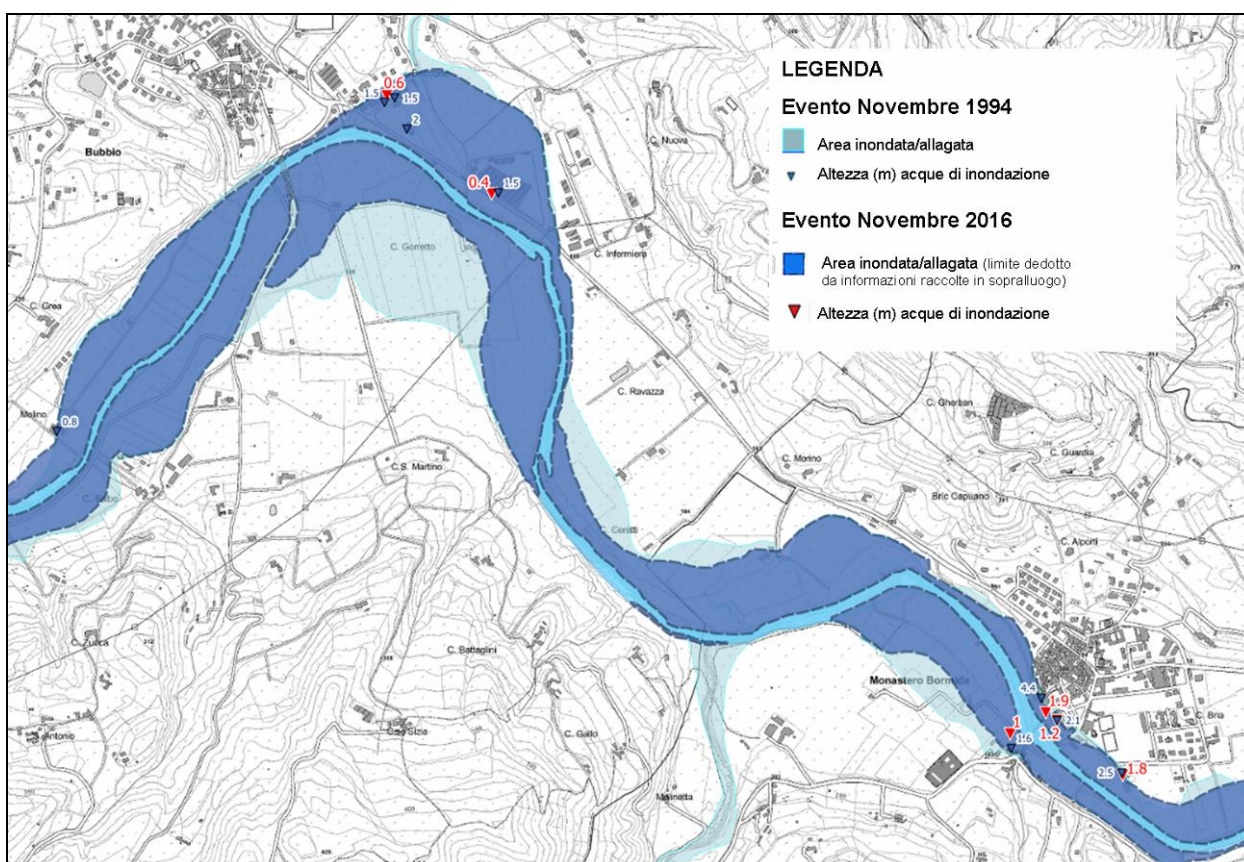


Figura 7. La carta mette a confronto le aree inondate e le altezze raggiunte dalle acque di piena durante gli eventi del 1994 e del 2016, nel tratto compreso tra Bubbio e Monastero Bormida

Nella zona di confluenza delle due Bormide in comune di Sessame, il fiume Bormida di Millesimo ha riattivato, in loc. Gringavoli, il ramo laterale e poco più a monte nei pressi di C.se Gallone un antico canale che confluiva nel Bormida di Spigno come mostrato in Figura 8.



Figura 8. La Carta Stati Sardi mostra come la zona di confluenza delle due Bormide fosse molto più complessa di quella attuale, con diversi rami che si intrecciavano. Durante l'evento le acque di piena hanno occupato il vecchio canale (indicato dalle frecce) che si collegava alla Bormida di Spigno

Il Fiume Bormida di Spigno fino ad Acqui Terme

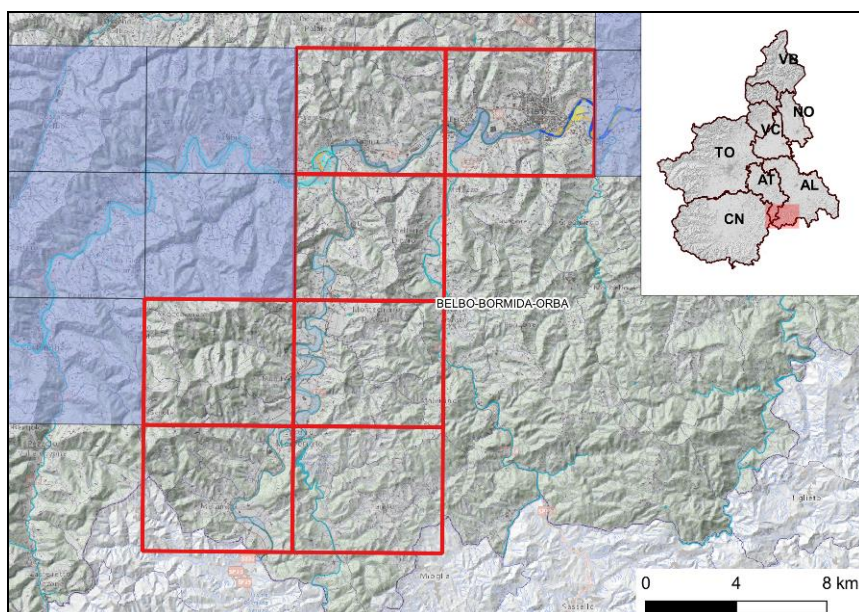


Figura 9. Quadro di unione delle sezioni BTRE al 1:10.000 su cui è stato effettuato il rilievo di dettaglio descritto nel paragrafo

L'esondazione della Bormida di Spigno del 25 novembre 2016 ha sostanzialmente riprodotto gli effetti causati dalla piena del 5-6 novembre 1994. Le inondazioni hanno coinvolto prevalentemente aree a propensione agricola salvo sporadici casi in cui sono stati interessati edifici residenziali e/o agricoli isolati. A Ponti, la difesa spondale e l'argine di recente realizzazione a protezione di un manufatto e del campo sportivo, sono stati aggirati all'altezza della confluenza del Rio del Bianchi con conseguente allagamento di entrambi. Immediatamente a valle della confluenza delle due Bormide; in comune di

Bistagno, si è osservato l'allagamento della SP228 per Monastero Bormida (**Errore. Il collegamento non è valido.**).



Figura 10. Bistagno, 25/11/2016, allagamento SP228

Situazione più critica nel comune di Terzo, in Regione Mulino Bisio (Terzo Stazione) dove vari edifici sono stati coinvolti dalle inondazioni; il limite raggiunto dalle acque di piena ha superato il corrispettivo del novembre 1994 con altezze idrometriche misurate prossime ai m. 2.00, di ben 70 cm superiori alle analoghe dell'evento '94.

Ad Acqui Terme rispetto all'evento del 1994 la piena ha avuto effetti decisamente più significativi; in Regione cimitero diverse abitazioni private sono state alluvionate con battenti idrici importanti fino ad 1 m mentre a monte del ponte Carlo Alberto in località Tiro a Segno l'acqua ha raggiunto i 2 m arrivando a lambire la SP30 ed allagando durante la notte del 25 novembre, a seguito di fenomeni di sifonamento e rigurgito della rete fognaria, diverse aree residenziali a nord della SP30, seppur con battenti idrici modesti.

Tratto con fasce fluviali da Acqui Terme alla confluenza in Tanaro

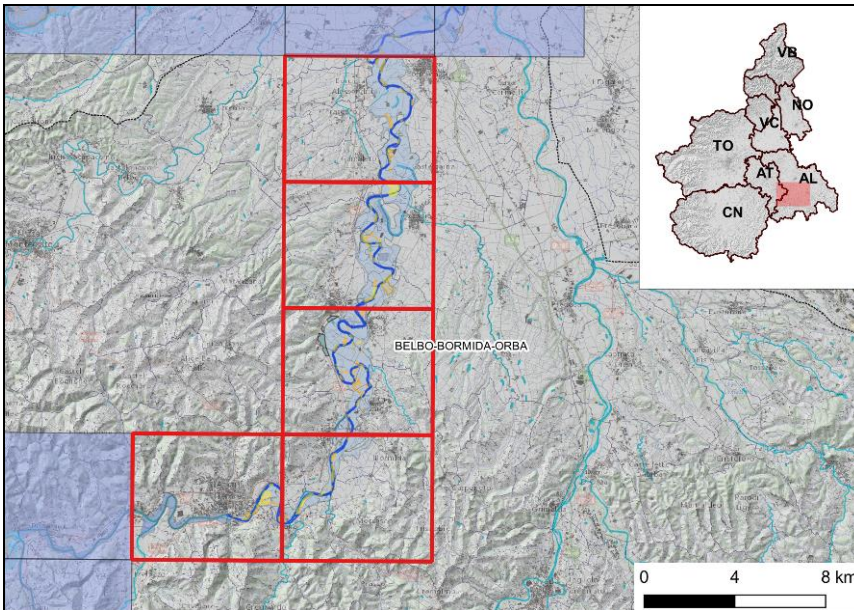


Figura 11. Quadro di unione delle sezioni BTRE al 1:10.000 su cui è stato effettuato il rilievo di dettaglio descritto nel paragrafo

Per il tratto con Fasce Fluviali, la piena del novembre 2016 può essere classificata come un evento frequente, con TR compreso tra 20 e 50 anni (circa 2110 m³/s all'idrometro di Cassine).

In linea generale, le inondazioni hanno interessato essenzialmente aree a vocazione agricola; fatta eccezione per alcune cascate ed edifici agricoli, aree edificate sono state coinvolte soprattutto nel concentrico di Acqui, di Strevi e in corrispondenza del ponte della Maranzana (Comune di Alessandria).

Sono descritti i fenomeni più significativi associati alla piena, da monte verso valle.

Gli effetti, i danni e la dinamica della piena sono confrontati con quelli degli eventi del 1977 (AIPO, 2011) e del 1994 (Aliatta P. et alii, 1995).

Il primo centro abitato interessato dall'evento è stato Acqui Terme, con coinvolgimento di edifici e infrastrutture soprattutto a monte del ponte Carlo Alberto (Corso Bagni). Le inondazioni si sono verificate tra la notte del 24 e la mattina del 25 novembre.

A valle del ponte, in sponda sinistra, le inondazioni sono state contenute dal rilevato della SP30, con inondazione di alcuni edifici e sommersione quasi completa di un fabbricato commerciale (Figura 11). La presenza di un fornice stradale in località Sotto Argine ha permesso il transito dei deflussi verso alcuni edifici artigianali/produttivi a tergo del rilevato medesimo.



Figura 12. Acqui Terme, 25/11/2016, ore 7.30 circa, sponda sinistra del fiume Bormida, località Sotto Argine, edifici compresi tra la SP30 e il fiume

A valle del ponte Carlo Alberto, in sponda destra, in località Bagni, le inondazioni sono state massimamente contenute da un argine di recente costruzione, ma hanno interessato alcune attività alberghiere per la risalita delle acque di piena lungo un canale la cui confluenza nel fiume interrompe la continuità della linea arginale.

In occasione dell'evento del novembre 1994 le inondazioni avevano raggiunto i complessi turistico-alberghieri presenti tra il corso d'acqua e la SP456, data l'assenza degli argini costruiti in periodi successivi. A valle di Acqui, le inondazioni hanno interessato l'ansa del meandro che si sviluppa a monte della traversa di Strevi, senza coinvolgere le cascate poste nelle aree topograficamente più elevate (Lavandaia, Sottorocca).

Tra la traversa di Visone e la periferia sud di Strevi le inondazioni hanno interessato dapprima una fascia ampia 450 - 700 m, con coinvolgimento di cascate e aree residenziali in sponda destra in regione Piano (Comune di Visone), per poi ampliarsi fino a raggiungere ampiezze superiori a 1500 m, in corrispondenza del concentrico di Strevi.

In sponda destra, a partire da località Monticello, si sviluppa una serie di forme relitte che si aprono a ventaglio verso i rilievi collinari su cui sorgono Orsara Bormida e Rivalta Bormida; queste forme abbandonate sono state in parte interessate dalle inondazioni, favorendo la sommersione di settori di fondovalle circondanti l'alto morfologico delimitato dalle località Monticello a sud-ovest e Marmorasco a nord-est.

In sponda sinistra è stata inondata la periferia di Strevi, con coinvolgimento di una trentina di edifici per la maggior parte di tipo residenziale. (Errore. Il collegamento non è valido.)

Utilizzando le informazioni delle mappe del rischio del Piano Gestione Rischio Alluvioni, PGRA1, i residenti degli edifici inondata sarebbero dell'ordine del centinaio.



Figura 13. Comune di Strevi, sponda sinistra, inondazioni del concentrico, riprese dalla rotonda della SP195 (foto M Goldini scattata il 25/11 verso le 8.30)

Anche durante gli eventi dell'ottobre 1977 e del novembre 1994 il concentrico di Strevi è stato interessato da inondazioni confrontabili in ampiezza con quelle del 2016. In base a rilievi di terreno, le altezze dei tiranti per gli eventi del 2016 e del 1994 sono stati per lo più confrontabili.

Il fiume Bormida tra i ponti di Strevi e Cassine (circa 10 km più a valle) presenta un andamento a meandri, per lo più irregolari. Lungo questo tratto le inondazioni hanno interessato un'ampia fascia

¹I residenti per le mappe del rischio del PRGA sono stati calcolati dividendo la popolazione per l'area delle singole geometrie con uso del suolo di tipo residenziale, ricadenti nelle sezioni di censimento (2011).

della pianura alluvionale, fino a raggiungere i terrazzi pleistocenici-olocenici (AA.VV. - 2014), in sponda destra e il rilevato ferroviario della linea Acqui - Alessandria, in sponda sinistra. A tergo del rilevato ferroviario circa 0.3 km² di terreni agricoli sono stati inondati da acque provenienti da rii secondari. I deflussi del rio Noceto hanno interessato anche la strada provinciale.

Parallelamente all'andamento dell'asse di valle, si riconoscono incisioni sul piano campagna formatesi sia durante l'evento del 2016 sia durante i precedenti eventi di piena non contenuti entro l'alveo meandriforme. Queste forme d'erosione indicano generalmente velocità e energia dei deflussi notevoli, in grado di incidere il terreno o di abbattere e trasportare vegetazione anche di alto fusto.



Figura 14. Comune di Strevi, - lat 44°42'5.11"N, long 8°31'47.69"E. limite delle inondazioni lungo SP195, nel punto dove, verso Strevi, diventa via IV Novembre - lat 44°42'5.11"N, long 8°31'47.69"E. (foto M Goldini) La foto è stata scattata la mattina del 25/1/, verso ore 8 - 8.30

A monte della strada provinciale SP196 che collega Cassine a Castelnuovo Bormida la piena ha lambito l'area artigianale di Cassine, in sponda sinistra e ha sommerso gli impianti della nuova centrale idroelettrica di Castelnuovo Bormida, in sponda destra (Figura 14).



Figura 15. Effetti della piena del fiume Bormida a Castelnuovo Bormida (Foto a sinistra - Goldini M.). Edificio di servizio della centrale idroelettrica ad acqua fluente posta in corrispondenza della traversa a monte del ponte tra Cassine e Castelnuovo. (coordinate edificio: lat. 44°45'1.53"N, long. 8°32'37.32"E). La foto è stata scattata alle ore 11.28 del 25/11/16

Il rilevato della provinciale non è stato sommerso, mentre l'argine che difende la parte meridionale di Castelnuovo Bormida è stato superato dai deflussi attraverso un sottopasso idraulico non regolato da chiavica. Nel 1994 era stata inondata la stessa area, allora non difesa dall'argine, mentre nel 1977 le inondazioni avevano solo lambito il concentrico di Castelnuovo. L'area artigianale di Cassine non era stata interessata dalle inondazioni in nessuno dei due eventi citati.

Procedendo verso valle, da Castelnuovo Bormida, l'alveo è debolmente sinuoso per i primi 1700 metri, poi la sinuosità aumenta fino a diventare meandriforme lungo il tratto compreso tra la confluenza del Rio Scapiano e il ponte Sezzadio (SP186), a monte del quale si osserva un meandro abbandonato per un taglio avvenuto nel 1901 (lanca della Bormida Morta). La pianura alluvionale qui è fortemente rimaneggiata da attività estrattive.

A sud dell'abitato di Sezzadio, nei pressi del tracciato della SP195 (sponda destra), inizia una linea arginale che costeggia dapprima il rio Scapiano, poi la sponda sinistra del fiume Bormida fino al ponte della SP 186. Questa linea arginale è stata tracimata ed asportata in più punti, permettendo il deflusso verso valle di correnti veloci che hanno causato effetti al suolo significativi tra cui la riattivazione della Bormida Morta e la tracimazione di un tratto di circa 350 m della SP186 (Figura 15).



Figura 16. Comune di Sezzadio fotogramma di una ripresa aerea effettuata alle 15.30 del 25/11, in corso d'evento. Erosione operata dal F. Bormida che ha asportato uno strato di sedimenti di spessore anche superiore a due metri su un'area superiore all'ettaro. Le riprese da cui è tratto il fotogramma effettuate e rese disponibili da Mauro Olivotti sono state un supporto preziosissimo per la realizzazione delle cartografie relative all'evento di piena e per la comprensione delle sue dinamiche

Le inondazioni delle aree a monte del rilevato della SP186 sono iniziate la mattina del 25/11, in concomitanza con le fasi iniziali delle asportazioni arginali, mentre il picco delle inondazioni è avvenuto nel pomeriggio del 25/11.

La riattivazione della Bormida Morta è avvenuta dapprima per risalita delle acque esondate a valle del ponte della SP186 e successivamente, in concomitanza delle fasi parossistiche della piena, per deflussi da monte verso valle (Figura 16).



Figura 17. Comune Sezzadio, (foto 1) fotogramma di un video fornito dall'Amministrazione comunale di Sezzadio; ripresa dal ponticello della Bormida Morta verso Sezzadio la mattina del 25/11/2016; la freccia indica i deflussi che sottopassano il ponticello della Bormida Morta, risalendo da valle. La foto 2 è stata scattata nel pomeriggio del 25/11 da Sezzadio verso il ponticello della Bormida Morta (foto M. Goldini, ripresa da posizione opposta rispetto alla foto 1) e mostra la riattivazione del meandro abbandonato con conseguente tracimazione del rilevato della SP186. La freccia blu è posta in corrispondenza del ponticello sulla Bormida Morta. La foto è stata scattata alle ore 16.12 del 25/11

In occasione degli eventi del 1977 e del 1994 le aree inondate a monte del ponte della SP186 sono state minori in estensione, corrispondenti essenzialmente all'alveo abbandonato della Bormida Morta, mentre a valle del ponte della SP186 le inondazioni durante i tre eventi citati sono state confrontabili fino in corrispondenza dell'abitato di Gamalero (sponda sinistra).

In occasione dell'evento del 2016 il torrente Stanavazzo ha fornito un contributo pressoché nullo alle inondazioni.

Procedendo da Sezzadio verso valle, le inondazioni hanno interessato essenzialmente aree agricole, fino al ponte della SP181 di Castellazzo Bormida.

Dal confronto tra il 1977, il 1994 e il 2016, emerge come le aree inondate nel 1994 e nel 2016 siano di ampiezza confrontabile, anche se nel 1994 gli apporti dei tributari sono stati più significativi, soprattutto in sponda sinistra.

Le aree inondate nel 1977 sono invece decisamente più ampie in sponda sinistra di quelle del 1994 e del 2016, mentre in sponda destra sono confrontabili.

Lungo il tratto compreso fra i rii Baldovara e Ghisone l'alveo è sinuoso a sezione incassata, assetto dovuto principalmente al taglio di meandri, il più recente verificatosi tra il 1878 e il 1906, (come si ricava dal confronto delle edizioni delle Tavole IGM alla scala 1:25.000) ed i cui tracciati sono tuttora ben visibili sulla piana alluvionale. Le aree inondate hanno interessato l'inviluppo dei meandri abbandonati, per un'estensione massima di poco inferiore a 2 km.

Il tratto fluviale a valle della confluenza del rio Ghidone, chiuso al ponte di Castellazzo Bormida è incassato e descrive due piccoli meandri sostanzialmente stabili dagli anni '50 del secolo scorso grazie a difese spondali che ne impediscono la migrazione laterale. Qui le inondazioni in sponda sinistra hanno interessato essenzialmente le aree comprese tra il corso d'acqua e gli argini di recente costruzione, finalizzati essenzialmente a difendere gli svincoli che collegano la viabilità secondaria con la SP30. Unica area a tergo del rilevato della SP30 interessata dalle inondazioni è posta in corrispondenza di Cna Corazza di Castellazzo Bormida. Qui le acque del fiume hanno dapprima superato attraverso una chiavica l'argine, successivamente il rilevato provinciale attraverso un fornice stradale, inondando un'area ampia circa otto ettari.

In sponda destra all'altezza dell'abitato di Castellazzo Bormida, le inondazioni non hanno raggiunto la nuova linea arginale costruita a difesa dell'abitato dopo il 2010, tranne in corrispondenza del rilevato della SP181 che ha impedito i deflussi di inondazione verso valle.

Dal confronto delle cartografie e delle riprese aeree relative agli eventi del 1977, del 1994 e del 2016, emerge come le aree inondate siano di ampiezza confrontabile, in sponda destra; in sponda sinistra, invece, le aree inondate nel 1977 sono state più ampie sia del 1994 sia del 2016. Nel 1977 in sponda sinistra non era ancora presente il rilevato della SP30.

A valle di Castellazzo Bormida, fino alla linea ferroviaria Alessandra - Ovada le inondazioni hanno interessato soprattutto la sponda sinistra, dove la piana alluvionale è stata occupata dai deflussi fin

oltre il rilevato della SP 30, nei punti dove questo è attraversato da fornicazioni: in corrispondenza del sottopasso idraulico del rio Betale (Cantalupo) e immediatamente a valle del viadotto della A26, nella zona del casello Alessandria Sud, che è stato anche tracimato nel punto più basso. Lungo la sponda sinistra del fiume Bormida, chiuso tra i rilevati ferroviario (non tracimato dai deflussi di piena) e della SP185 (anch'esso non tracimato dai deflussi) è presente un nucleo di abitazioni con una ventina di residenti (secondo elaborazioni statistiche su dati censimento 2011). In occasione della piena del novembre 2016 le case sono state interessate dalle inondazioni, con altezze anche di 70 - 80 cm sul piano campagna (Figura 17).



Figura 18. Nucleo di abitazioni comprese tra i rilevati ferroviari, della SP185 e dal fiume Bormida inondato dalla piena del novembre 2016 (fotogramma tratto dalle riprese aeree effettuate da M. Olivotti il 25/11/2016, in corso di evento)

Dalle informazioni disponibili emerge che lungo questo tratto le inondazioni del 1994 sono state leggermente più ampie in sponda destra, soprattutto a monte, in corrispondenza del rilevato della A26. Anche in quell'occasione, il rilevato della SP185 ha esercitato un'azione di contenimento dei deflussi.

Le aree inondate in occasione della piena del 1977 sono state più ampie sia di quelle del 1994 sia di quelle del 2016, con un contributo significativo del torrente Orba, che fece registrare in quell'occasione la piena più significativa degli ultimi 150 anni². Bisogna però tenere anche conto del fatto che nel 1977 non era presente il rilevato della SP30 che dalla sua costruzione ha rappresentato un limite antropico alle inondazioni.

In occasione dell'evento del novembre 2016 il contributo del torrente Orba è stato poco significativo.

A valle della confluenza del torrente Orba l'alveo del fiume Bormida appare artificialmente rettificato e l'abbassamento del profilo di fondo in passato è stato piuttosto intenso: un ramo secondario posto in sponda sinistra, subito a monte del ponte ferroviario, attivo negli anni '50, si trova ora circa 6 m al di sopra dell'alveo attuale.

In sponda sinistra, immediatamente a valle della confluenza dell'Orba, le inondazioni sono state contenute da un argine secondario, mentre verso valle sono state contenute dall'argine storico

² Se non si considera l'evento del luglio 1935, dovuto alla rottura della diga secondaria di Molare.

dell'Aulara e dal rilevato ferroviario della linea Alessandria - Genova. A valle della linea ferroviaria le aree inondate non hanno superato le opere di contenimento dei deflussi lungo la SP 30.

Gli unici edifici interessati dalle inondazioni in questo tratto si trovano in via Chiozzetto (comune di Alessandria), immediatamente a valle del ponte ferroviario, lungo la sponda sinistra del fiume Bormida.

Dal confronto della documentazione cartografica relativa agli eventi del 2016 e 1994 si osserva come le aree inondate nel 1994 fossero di estensione minore per il tratto compreso tra la confluenza del torrente Orba e il rilevato della ferrovia Alessandria Torino, in special modo in sponda sinistra. A valle del rilevato ferroviario, nel 1994, in sponda sinistra, i deflussi hanno superato il rilevato della SP30 attraverso forniche. Anche in occasione delle piene dell'ottobre 2011 (in particolare della piena del torrente Orba), furono interessate aree a tergo del rilevato della SP30, ancora attraverso forniche, successivamente in parte chiusi, in parte difesi da opere di contenimento.

Le aree inondate nel 1977 sono state invece decisamente superiori in ampiezza, soprattutto a causa del contributo del torrente Orba. In sponda sinistra, a valle del rilevato ferroviario, i limiti delle inondazioni si attestarono lungo Via San Giovanni Bosco. All'epoca non era ancora presente il rilevato della SP30.

In sponda destra le inondazioni hanno raggiunto la periferia di Spinetta Marengo. Unico fenomeno degno di essere citato è stato il principio di sifonamento subito dall'argine nei pressi di Cascina Stortigliona (Figura 18).



Figura 19. Effetti della piena del fiume Bormida a Castelnuovo Bormida (Foto a sinistra - Goldini M.). Edificio di servizio della centrale idroelettrica ad acqua fluente posta in corrispondenza della traversa a monte del ponte tra Cassine e Castelnuovo. (coordinate edificio: lat. 44°45'1.53"N, long. 8°32'37.32"E). La foto è stata scattata alle ore 11:28 del 25/11/16

A valle del ponte della SP10 le inondazioni hanno interessato essenzialmente campi, circondando alcune cascine, a quote topograficamente più elevate, o difese da cinte arginali.

In conclusione, per il tratto con Fasce Fluviali, la piena del novembre 2016 può essere classificata come un evento frequente, con TR compreso tra 20 e 50 anni (circa 2110 m³/s all'idrometro di Cassine).

I deflussi associati alla piena hanno occupato complessivamente circa 41 km² del sistema corso d'acqua/piana alluvionale (tratto chiuso al tracciato della SP10, per non comprendere aree interessate dagli apporti congiunti dei fiumi Tanaro e Bormida). Le ampiezze massime delle

inondazioni sono registrate a monte del torrente Orba, che non ha quasi fornito alcun contributo alle inondazioni.

I volumi di inondazione sul piano campagna sono stati valutati in circa m^3 50.000.000³ (tratto chiuso al tracciato della SP10).

Dall'analisi degli elementi a rischio emerge che la maggioranza delle inondazioni ha interessato aree agricole, per lo più colture in campo o arboree (frutteti, arboricoltura da legno).

Per quanto riguarda il tessuto residenziale e produttivo interessato dall'evento, esso ammonta a meno dello 0.3% dell'area inondata.

In base alle informazioni derivate dalle mappe del rischio del PGRA, il numero di residenti direttamente coinvolti nelle inondazioni ammonta a circa 260 unità, corrispondenti a una densità media abitativa (riferita all'estensione delle aree inondate) di 3.7 abitanti per chilometro quadrato.

La maggior parte dei residenti coinvolti nelle inondazioni si trova nei concentrici di Acqui Terme e Strevi e in gruppi di abitazioni in comune di Alessandria, nella parte inferiore del tratto considerato.

Dal confronto tra gli effetti dell'evento del 1994 con quelli del 2016 (a monte del rilevato della SS10) l'estensione delle aree inondate nel 2016 è superiore a quella del 1994 di circa il 20% (36 km² nel 1994, 41 km² nel 2016), ma la portata misurata all'idrometro di Cassine nel 1994 è stata inferiore a quella del 2016 (circa 1800 m³/s nel 1994). In corrispondenza di Alessandria, la chiusura dei fornicci che sottopassano la SP 30 ha contenuto le inondazioni in occasione dell'evento del 2016, che nel 1994 avevano interessato le aree comprese tra via San Giovanni Bosco a ovest e via Marengo a nord.

Così come già accadde nel novembre del 1994, le cascate storiche nella piana del fiume Bormida non sono state inondate, perché difese da cinte arginali, o perché strategicamente poste su degli alti morfologici che le sottraggono almeno alle piene con frequenze decennali.

Per il tratto per cui sono disponibili le informazioni cartografiche relative all'evento del 1977, ossia dalla località Piene di Morsasco al ponte della SS10 di Alessandria, emerge come le aree inondate nel 2016 siano del 10% inferiori in estensione rispetto al 1977 (45 km², rispetto ai 40 km² del 1977). Per la zona di Alessandria, e per quanto riguarda il fiume Bormida, la piena del 1977 è stata senza ombra di dubbio la più grave delle tre, avendo avuto un contributo significativo da parte del torrente Orba.

In occasione dell'evento del novembre 2016 le erosioni delle sponde sono state limitate e localizzate. Su circa 120 km di linea spondale, i tratti soggetti ad erosioni significative raggiungono una lunghezza complessiva di poco più di 1500 m, anche grazie alla presenza di scogliere in corrispondenza di quasi tutte le sponde esterne delle anse di meandro. La lunghezza complessiva delle scogliere censite è di circa 46 km (AIPO 2011).

³I volumi di inondazione sono stati stimati creando una griglia altimetrica irregolare, usando il DTM prodotto dal Ministero dell'Ambiente del 2007, le quote ricavate dalle altezze dei deflussi sul piano campagna rilevate durante i sopralluoghi e quelle ricavate dal DTM in corrispondenza dei limiti delle inondazioni. Nella creazione dei punti della griglia, particolare attenzione è stata posta nell'ubicare il più correttamente possibile i limiti delle inondazioni lungo i rilevati, in quanto uno scarto irrilevante in pianta può significare differenze anche di qualche metro in quota. I volumi sono stati calcolati tra la griglia altimetrica e DTM citato, sottraendo al totale (più di 80 milioni di metri cubi) quelli relativi all'alveo.

Bibliografia - Sitografia

Aliatta P., Giampani C., Ramasco M, Susella G. (1995) Campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del 5-6/11/1994 - Fiume Bormida - tratto I (Sezzadio Gorzegno) - Scala 1:10.000. Regione Piemonte, Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico, 1995

Agenzia Interregionale Fiume Po - AIPO (2011) Studio di fattibilità per la definizione dell'assetto di progetto – interventi di gestione sedimenti, recupero morfologico e sistemazione idraulica – del fiume Bormida e del torrente Orba (E-SPEC-858)

Agenzia Interregionale Fiume Po - AIPO (2011) Carta degli eventi alluvionali recenti - scala 1:10.000. In: Studio di fattibilità per la definizione dell'assetto di progetto – interventi di gestione sedimenti, recupero morfologico e sistemazione idraulica – del fiume Bormida e del torrente Orba (E-SPEC-858)

ARPA Piemonte - 2016 - Analisi preliminare evento 21 - 26 novembre 2016 (<http://www.arpa.piemonte.gov.it/news/evento-alluvionale-21-26-novembre-2016-2013-pubblicato-il-rapporto-preliminare>)

Autorità di Bacino del Fiume Po - AdBPO (2004) Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica

Autorità di Bacino del Fiume Po - AdBPO (2014): Progetto per la valutazione e la gestione del rischio alluvioni - IIA Mappatura della pericolosità e valutazione del rischio, 22 dicembre 2014, 31pp

AA. VV (1999) Eventi alluvionali in Piemonte, 2-6 novembre 1994, 8 luglio 1996, 7-10 ottobre 1996, Regione Piemonte - L'Artistica di Savigliano, 1999, 415 pp, 9 tav

AA.VV. (2014) Foglio 194 Acqui Terme della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - APAT - ISPRA, 2014

Oberti R., Piccini C., Trucco C, Ziliani A. (1995) Campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del 5-6/11/1994 - Fiume Bormida - tratto H (Confluenza Tanaro Sezzadio) - Scala 1:10.000. Regione Piemonte, Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico, 1995

Sassone P. (2007) Il nodo idraulico Dora-Po tra Crescentino e Verrua Savoia. Cenni di dinamica geomorfologica, memorie storiche, fenomeni di piena e tendenze evolutive - in GEAM 122/2007.

Tropeano D. (1989) Eventi alluvionali e frane nel bacino della Bormida: studio retrospettivo. - Torino: Associazione Mineraria Subalpina, - 155 pp

PROCESSI DI INSTABILITÀ SUI VERSANTI

Fenomeni gravitativi nelle valli Tanaro e monregalesi

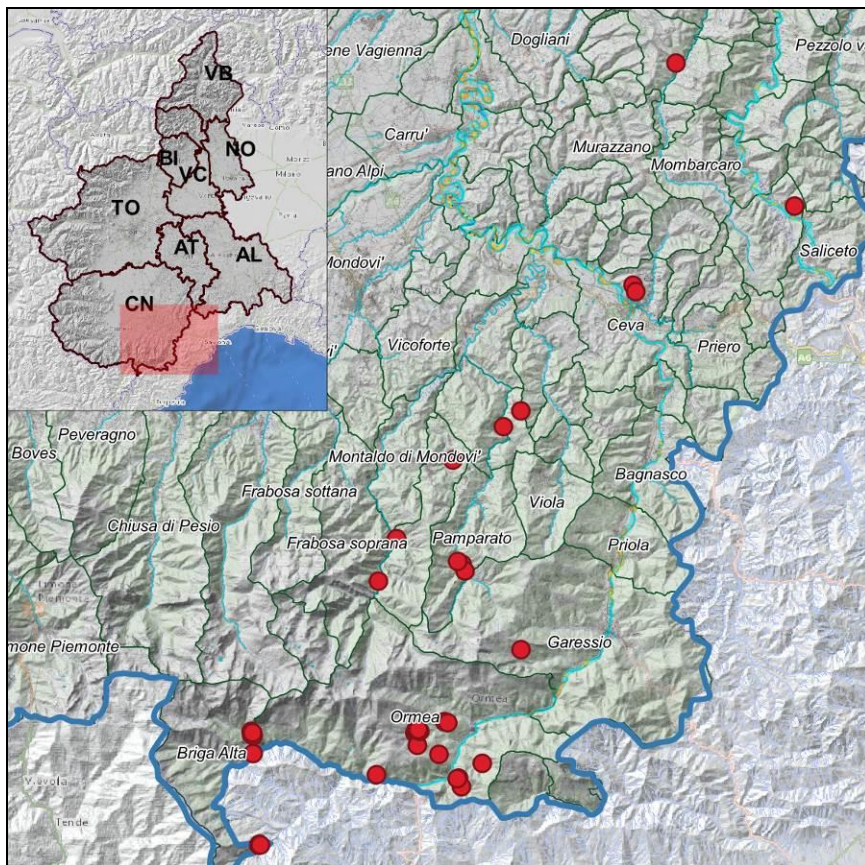


Figura 1. Ubicazione delle frane rilevate e inserite nel SIFRAP nella zona della valle Tanaro e del Monregalese

Il territorio della media e alta Valle Tanaro, incluso a livello amministrativo nei comuni di Gressio, Ormea e Briga Alta, è stato, in ambito cuneese, quello più sollecitato da fenomeni franosi, di tipologia sia superficiale che profonda e dimensioni anche ragguardevoli; nel complesso l'instabilità dei versanti è risultata più gravosa rispetto a quanto si verificò nel corso dell'evento alluvionale del novembre 1994. La situazione più significativa è indubbiamente quella che ha colpito il territorio montano alla testata della Valle Tanarello dove è ubicata la località piemontese di Piaggia (comune di Briga Alta) e quella ligure di Monesi (comune di Mendatica); per maggiori dettagli in merito a quanto accaduto si rimanda al capitolo di approfondimento.

Tra i fenomeni di dissesto che hanno interessato il territorio vale la pena ricordare: la riattivazione della frana di Valdinferno (Gressio) che ha causato l'interruzione della viabilità verso le borgate poste più a monte nel vallone; un incremento preoccupante dei movimenti monitorati presso gli affioramenti rocciosi disarticolati sovrastanti la strada Ceresè posta in destra Tanaro, poco oltre il Ponte dei Sospiri, (Ormea) che ha portato successivamente ad un importante intervento di disaggio e messa in sicurezza della parete; la frana presso la località Alpisella (Ormea) che ha causato l'asportazione completa della strada di accesso alla borgata per un tratto di circa 30 metri; la riattivazione della frana di Pian della Morra (Ormea) il cui piede si appoggia sull'alveo del Rio Rava Grossa, sul versante destro del vallone del Rio Chiapino caratterizzato da violenta attività torrentizia; le frane di Chionea e di Stalle Colletto (Ormea), dissesti superficiali riconducibili come tipologia a scivolamenti rotazionali e colamenti; gli scivolamenti rotazionali evoluti in colate di fango presso Tetti Bavi e lungo il percorso della SP 216 (Ormea); la riattivazione della frana a valle del cimitero di Viozene (Ormea), da tempo oggetto di monitoraggio strumentale; le frane alla Colla di Carnino (Briga Alta), una delle quali ha coinvolto uno spessore notevole di depositi morenici.

Le aree montane limitrofe verso ovest rispetto alla Valle Tanaro, più precisamente i territori appartenenti alle zone mediane e di testata delle valli Mongia, Casotto e Corsaglia, sono stati interessati da fenomeni franosi significativi sia in numero che per estensione; l'entità della dinamica gravitativa, esplicitasi attraverso frane che hanno coinvolto le coltri superficiali di copertura, è generalmente paragonabile a quella che si sviluppò nel corso dell'alluvione del novembre 1994, ma anche superiore se si considera la parte alta della Valle Casotto.

Le situazioni più significative si sono registrate nei comuni di Lisio (loc. Via Mulattieri), Monasterolo Casotto (loc. Piandarone-Feia), Pamparato (loc. Valcasotto) e Roburent (loc. S. Bernardo); i danni sono stati quasi esclusivamente a carico della rete stradale principale e secondaria con conseguente interruzione o limitazione del traffico veicolare.

La tabella seguente riporta il codice alle schede SiFraP delle frane di maggior interesse tra quelle verificatesi nel corso dell'evento di novembre 2016, sia di neoformazione sia conseguenti alla riattivazione di fenomeni già noti.

Le schede, contenute all'interno degli archivi del webgis di Arpa Piemonte, sono rintracciabili ai seguenti indirizzi:

<http://webgis.arpa.piemonte.it/geodissesto/sifrap/iilivelli.php>

<http://webgis.arpa.piemonte.it/geodissesto/sifrap/report.php>

Tabella 1 – Elenco delle frane rilevate ed inserite nel SiFraP

COMUNE	LOCALITA'	CODICE SIFRAP
Garessio	Valdinferno	004-60782-00
Ormea	Aimoni	004-60792-00
	Alpisella	004-60776-00
	Bavi	004-60777-00 , 004-60809-00
	Chionea	004-60783-00 , 004-60793-00
	Pian della Morra/Rava Grossa	004-40037-00
	Ponte dei Sospiri	004-60751-00
	Prale	004-60797-00
	Stalle Colletto	004-60803-00 , 004-60804-00 , 004-60805-00 , 004-60806-00 , 004-60807-00 , 004-60808-00
	Rio dell'Acqua	004-60784-00
	Viozene	004-40006-00
Briga Alta	Colla di Carnino	004-60785-00 , 004-60786-00 , 004-60787-00 , 004-60788-00 , 004-60789-00
	Fascette	004-60798-00
	Piaggia	004-60771-00 , 004-60772-00
Monasterolo Casotto	Borgata Soprana	004-60795-00
	Piandarone	004-60799-00
Pamparato	Valcasotto	004-60801-00 , 004-60802-00
Roburent	S. Bernardo	004-60775-00
	Zitella	004-60794-00



Figura 2. Garessio, loc. Valdinferno. Fotografia scattata il 29 novembre 2016



Figura 3. Ormea, loc. Alpisella. Fotografia scattata il 1 dicembre 2016



Figura 4. Ormea, loc. Pian della Morra. Fotografia scattata il 13 dicembre 2016



Figura 5. Ormea, loc. Chionea. Fotografia scattata il 15 marzo 2017



Figura 6. Ormea, loc. Stalle Colletto. Fotografia scattata il 9 maggio 2017



Figura 7. Ormea, loc. Bavi. Fotografia scattata il 1 dicembre 2016



Figura 8. Ormea, loc. Rio dell'Acqua. Fotografia scattata il 30 novembre 2016



Figura 9. Ormea, loc. Viozene. Fotografia scattata il 1 dicembre 2016



Figura 10. Briga Alta, loc. Colla di Carnino. Fotografia scattata il 13 dicembre 2016



Figura 11. Pamparato, loc. Valcasotto. Fotografia scattata il 30 novembre 2016



Figura 12. Monasterolo Casotto, loc. Piandarone. Fotografia scattata il 30 novembre 2016



Figura 13. Roburent, loc. S. Bernardo. Fotografia scattata il 28 novembre 2016

Fenomeni gravitativi nelle valli Pinerolesi

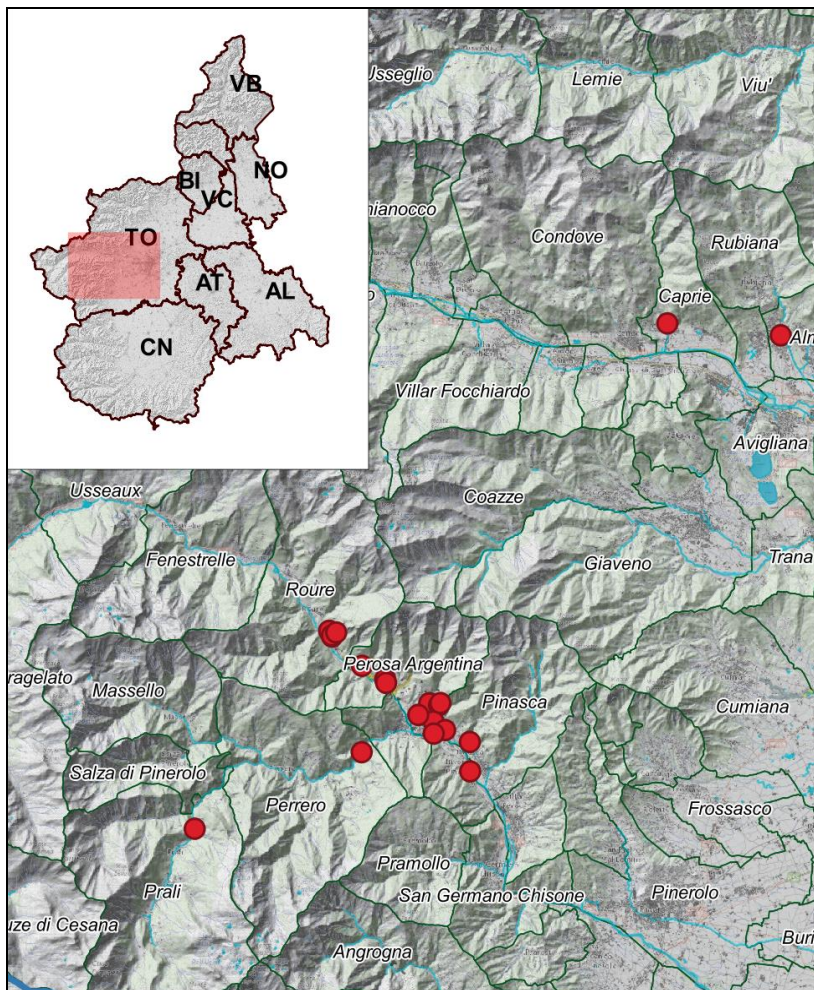


Figura 14. Ubicazione delle frane rilevate e inserite nel SIFRAP nella zona del Pinerolese

Tra le aree maggiormente colpite dal punto di vista degli effetti legati ai processi di versante si segnala l'area della media Val Chisone, tra i Comuni di Villar Perosa e Roure, la Val Germansca e la Val Pellice.

Si sono riscontrate frane ampiamente diffuse su tutto il territorio che hanno interrotto in più punti la viabilità e isolato frazioni; rispetto al resto della provincia si è osservata la maggior concentrazione dei fenomeni torrentizi.

In corrispondenza ai comuni di Villar Perosa, Perosa Argentina, Pinasca e Roure, sono stati osservati un centinaio di fenomeni franosi che hanno determinato localmente danni ad abitazioni e viabilità.

Nella maggior parte dei casi i fenomeni sono risultati in qualche modo collegati alla presenza di opere stradali, ed alla regimazione delle acque lungo le stesse, configurandosi sia come cedimenti di controripa, per i quali gli interventi in regime di emergenza sono stati in alcuni casi sufficienti al ripristino della

percorribilità, sia di sottoscarpa, che hanno in più casi determinato l'isolamento di interi abitati.

Particolarmente grave è risultata l'interruzione della strada provinciale per Prali (rimasta isolata per oltre una settimana), a causa di una frana superficiale per erosione al piede ad opera del t. Germansca che ha provocato il cedimento di un tratto di circa 40 metri del muro di sottoscarpa in pietrame e la conseguente l'asportazione di buona parte della sede stradale.

I rilevati effettuati hanno evidenziato la netta prevalenza di tipologie di frana riconducibili a colamenti rapidi di materiale detritico-colluviale, generalmente caratterizzato da potenza di pochi metri e per lo più poggiate direttamente sul substrato, mentre minoritari sono risultati i movimenti più profondi che hanno interrassato il substrato.

I fenomeni più significativi sono stati censiti all'interno della banca dati SIFRAP di Arpa Piemonte.

La tabella seguente riporta il codice alle schede SIFraP delle frane di maggior interesse tra quelle verificatesi nel corso dell'evento di novembre 2016, sia di neoformazione sia conseguenti alla riattivazione di fenomeni già noti.

Le schede, contenute all'interno degli archivi del webgis di Arpa Piemonte, sono rintracciabili ai seguenti indirizzi:

<http://webgis.arpa.piemonte.it/geodissesto/sifrap/iilivelli.php>

<http://webgis.arpa.piemonte.it/geodissesto/sifrap/report.php>

Per una descrizione più dettagliata degli effetti al suolo, organizzata per valle e per comune, si rimanda al rapporto "L'evento alluvionale del 21-25 novembre 2016 in Piemonte", aggiornamento del 6 dicembre 2016, realizzato dalla Regione Piemonte con il contributo di Arpa.

Tabella 2 – Elenco delle frane rilevate ed inserite nel SiFraP per la zona del Pinerolese

COMUNE	LOCALITA'	CODICE SIFRAP
Inverso Pinasca	Inverso Pinasca	001-76796-00
Perosa Argentina	Lageard	001-76804-00
	Brandoneugna	001-76801-00
		001-76802-00
	Ciampino	001-76798-00
	Ciabot	001-76789-00
	Perosa Argentina	001-76797-00
001-76798-00		
001-76795-00		
001-76792-00		
Perrero	Perrero	001-76799-00
Pinasca	Belvedere	001-76787-00
Pinasca	Pinasca	001-76788-00
Prali	Prali	001-76800-00
Roure	Roure	001-76793-00
Roure	Vignal	001-76794-00
Roure	Roreto	001-76790-00



Figura 15. Frana della coltre superficiale in comune di Perosa Argentina con coinvolgimento di abitazione e viabilità.



Figura 16. Angrogna. Diverse colate di fango e detriti hanno interessato viabilità ed edifici (foto Regione Piemonte)



Figura 17. Comune di Pinasca. Frana superficiale che ha lambito edifici e confluita poi nel rio delle Combe



Figura 18. Frana rotazionale interessante la coltre di copertura poggiante sul substrato cristallino in territorio comunale di Rorà ha travolto un'abitazione (Foto Eco del Chisone)

MONITORAGGIO DEI MOVIMENTI FRANOSI

Nei giorni immediatamente successivi all'evento Arpa Piemonte, sulla base di quanto stabilito dal Disciplinare per la gestione del monitoraggio frane sul territorio regionale (DGR 18-3690 del 16/04/2012), ha messo in atto le procedure di verifica sui siti di monitoraggio ricadenti nelle aree colpite dalle intense e prolungate precipitazioni.

Risultanze delle letture manuali

Nei siti della ReRCoMF (Rete Regionale di Controllo dei Movimenti Franosi) riportati nella Tabella 1 sono state effettuate misure manuali di tipo inclinometrico, distanziometrico e topografico GPS.

Tabella 1. Siti oggetto di monitoraggio straordinario.

PROVINCIA	COMUNE	SITO	TIPO MISURA E DATA
CN	Alto	Madonna del Lago	Inclinometrica – 6/12/2016
CN	Caprauna	Concentrico	Inclinometrica – 5 e 6/12/2016
CN	Castino	Ferrera - Vernetta	Topografica GPS – 5/12/2016
CN	Ceva	Costa Canile/Consolata - Poggi Santo Spirito	Inclinometrica – 6/12/2016
CN	Garessio	Deversi	Inclinometrica – 5/12/2016
CN	Ormea	Pornassino	Topografica GPS – 2 e 14/12/2016
CN	Ormea	Ponte dei Sospiri	Distanziometrica – 29/11, 2 e 13/12/2016
CN	Ormea	Viozene	Inclinometrica – 5/12/2016
CN	Ostana	Ciampagna	Distanziometrica – 1/12/2016
CN	Paroldo	Concentrico	Topografica GPS – 5/12/2016
CN	Priola	Casario	Inclinometrica – 5/12/2016
CN	Prunetto	Lisinotti - Campo Marzo - Rossini	Inclinometrica – 7/12/2016
TO	Caprie	Rocca Sella	Inclinometrica e topografica GPS – 29/11/2016
TO	Luserna San Giovanni	Magistorum	Inclinometrica – 13/12/2016
TO	Perrero	Serre - Concentrico	Inclinometrica – 7/12/2016
TO	Pinasca	Sagna	Inclinometrica – 13/12/2016
TO	Rorà	Siturà	Inclinometrica – 13/12/2016
TO	Salza di Pinerolo	Gardiola	Inclinometrica – 13/12/2016
TO	Usseaux	Gorgia	Inclinometrica – 13/12/2016

Provincia di Cuneo

Nel cuneese le misure straordinarie sono state effettuate tra il 29 novembre ed il 14 dicembre 2016.

I dati acquisiti hanno permesso di evidenziare significativi movimenti nei seguenti siti:

- Caprauna – Concentrico (inclinometri): incremento del movimento a carico di una verticale;
- Ceva – Costa Canile/Consolata (inclinometri): incremento del movimento a carico di due verticali;
- Ormea – Ponte dei Sospiri (basi distanziometriche): significativo allargamento delle fratture poste sotto osservazione, con variazioni comprese tra 9 e 15 cm rispetto alla misura precedente (agosto 2016); (Figura 1 e Figura 2)
- Ormea – Pornassino (capisaldi topografici GPS): significativo spostamento verso valle di quattro capisaldi; in particolare due di loro si sono spostati di 4.5 cm rispetto alla misura precedente (maggio 2016); (Figura 3 e Figura 4)

- Ostana – Ciampagna (basi distanziometriche): seppure di modesta entità, si sono registrate variazioni significative a carico di alcune discontinuità poste sotto osservazione, ubicate nella parte centrale e sommitale del movimento franoso;
- Paroldo – Concentrico (capisaldi topografici GPS): incremento del movimento a carico di un caposaldo;
- Priola – Casario (inclinometri): incremento del movimento a carico di una verticale;
- Prunetto – Campo Marzo (inclinometri): incremento del movimento a carico di una verticale, (Figura 5).

Non si sono invece registrati movimenti diversi dall'ordinario nei siti di Alto, Castino e Ormea – Viozene. In quest'ultimo caso va specificato che una delle due verticali inclinometriche è stata distrutta dalla riattivazione del fenomeno franoso, occorsa durante l'evento alluvionale, mentre quella sopravvissuta non ha mai segnalato movimenti a proprio carico.



Figura 1. Ormea (CN), loc. Ponte dei Sospiri - 02.12.2016. Evidenze morfologiche dei movimenti occorsi a seguito dell'evento

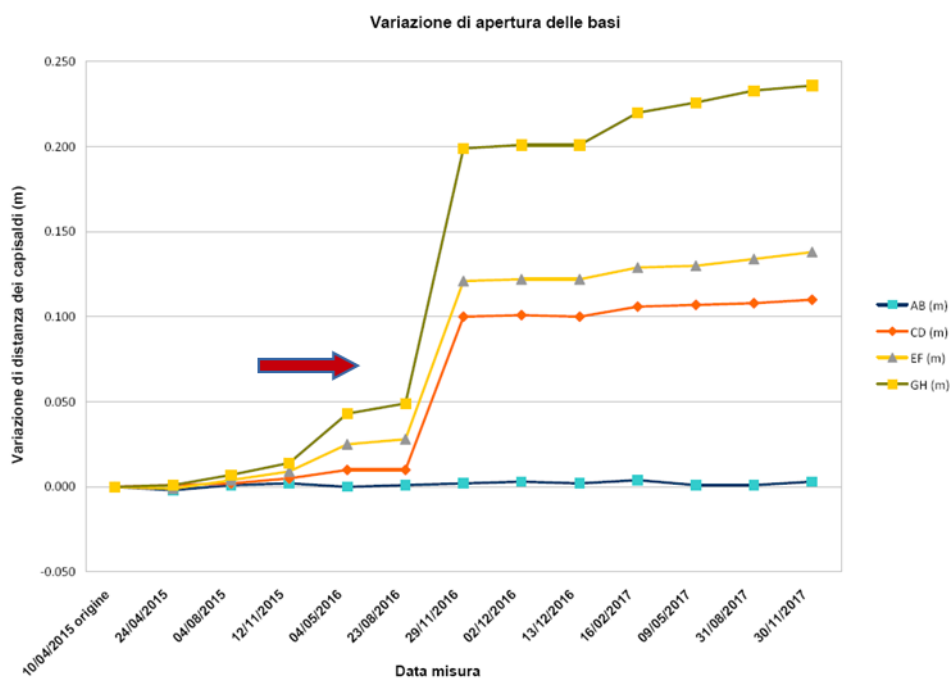


Figura 2. Ormea (CN), loc. Ponte dei Sospiri – Il grafico evidenzia l'incremento di apertura subito a seguito dell'evento da tre delle quattro basi distanziometriche, installate a controllo dell'evoluzione di altrettante fratture del substrato roccioso



Figura 3. Ormea (CN), loc. Pornassino - 14.12.2016. Evidenze morfologiche dei movimenti occorsi a seguito dell'evento

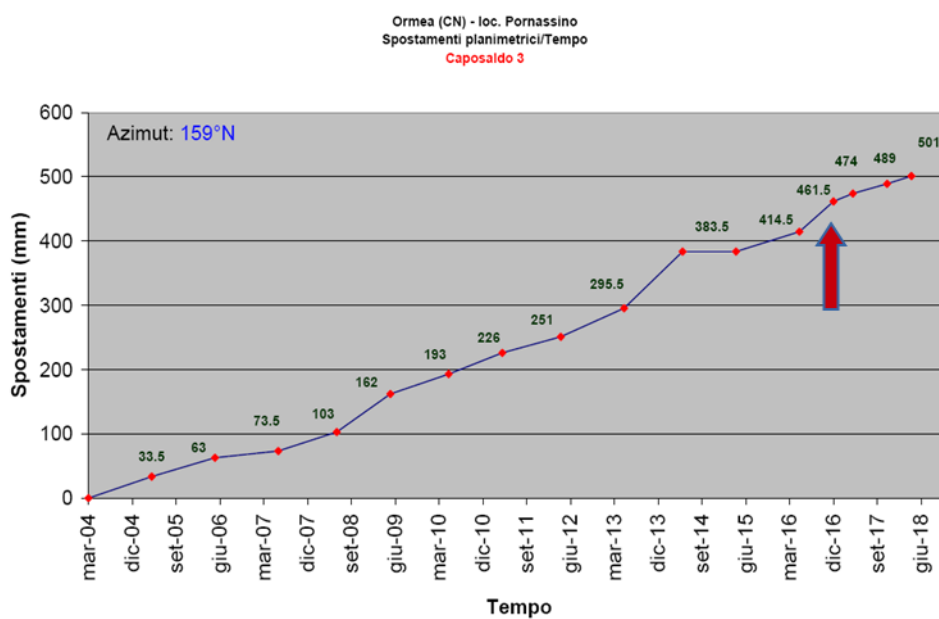


Figura 4. Ormea (CN), loc. Pornassino – Il grafico evidenzia il significativo spostamento (4.7 cm) occorso al caposaldo topografico G3, nell'intervallo di tempo maggio – dicembre 2016

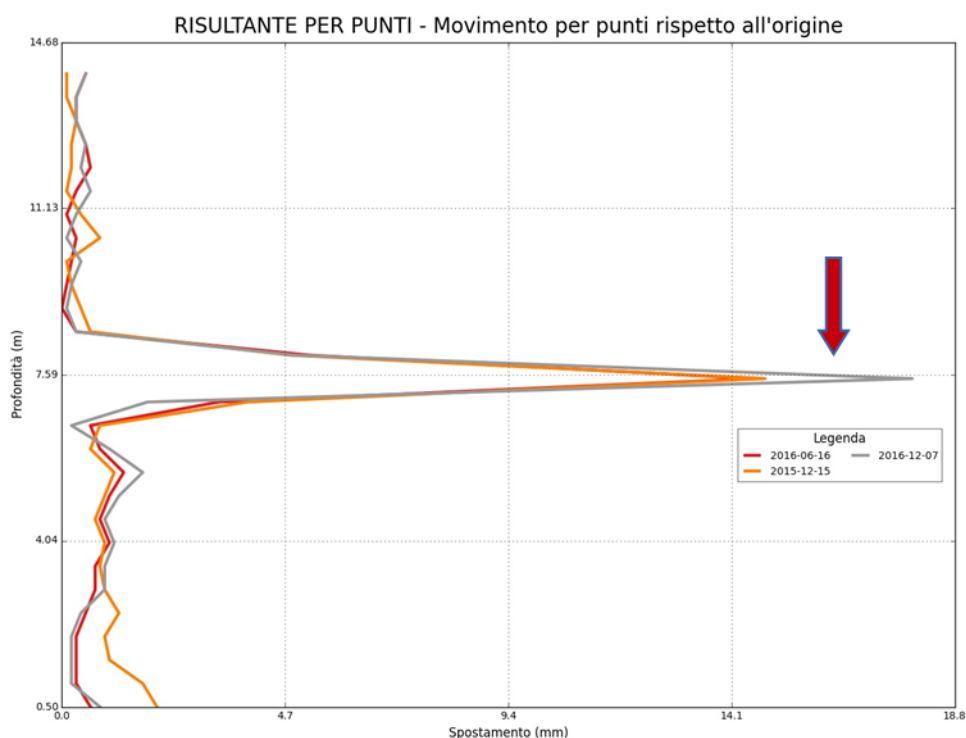


Figura 5. Prunetto (CN), loc. Campo Marzo – Il grafico evidenzia l'incremento della deformazione occorso nel periodo giugno – dicembre 2016, a carico della verticale inclinometrica S4N

Provincia di Torino

Nel torinese le misure straordinarie sono state effettuate tra il 29 novembre ed il 13 dicembre 2016.

I dati acquisiti hanno permesso di evidenziare significativi movimenti nei seguenti siti:

- Perrero – Concentrico (inclinometri): incremento del movimento a carico di tre verticali; (Figura 6)
- Pinasca - Sagna (inclinometri): incremento del movimento a carico di una verticale;
- Salza di Pinerolo – Gardiola (inclinometri): incremento del movimento a carico di una verticale.

Non si sono invece registrati movimenti diversi dall'ordinario nei siti di Caprie, Luserna San Giovanni, Perrero – Serre, Rorà e Usseaux.

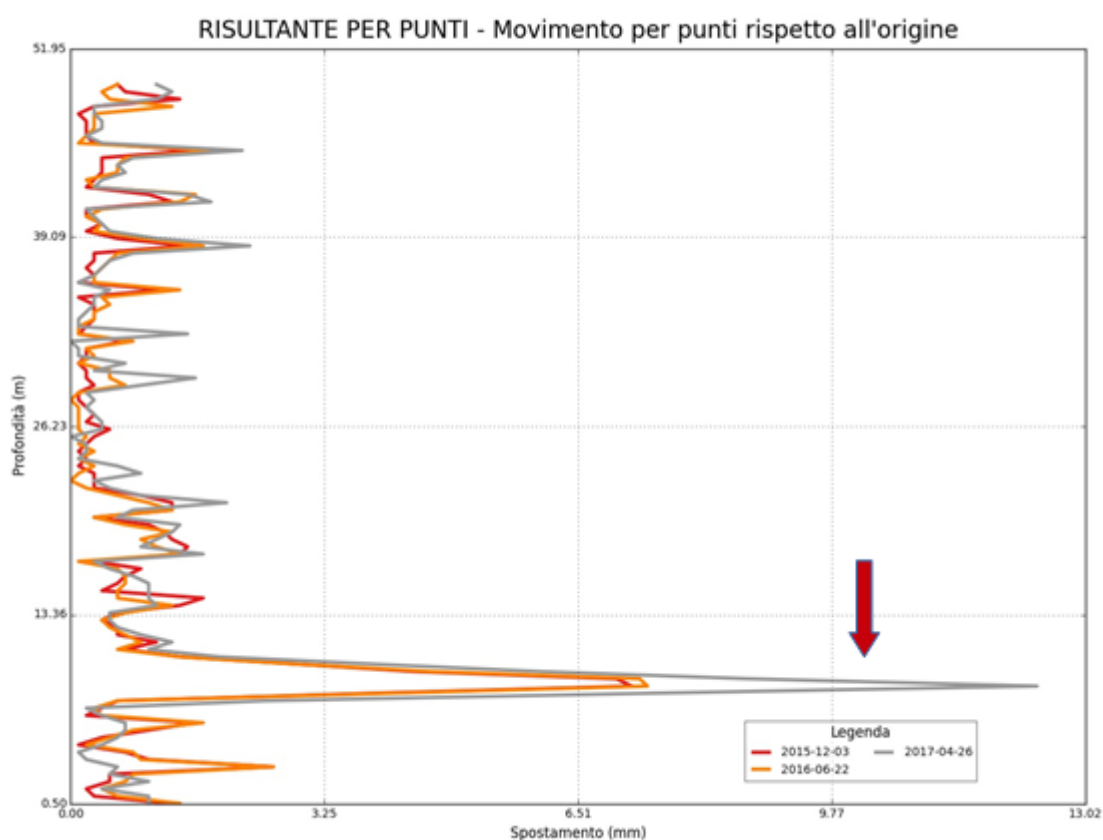


Figura 6. Perrero (TO), loc. Concentrico – Il grafico evidenzia l'incremento della deformazione occorso nel periodo giugno – dicembre 2016, a carico della verticale inclinometrica IA/11

Risultanze delle letture automatizzate

A cadenza mensile, Arpa effettua l'elaborazione e l'interpretazione dei dati remotizzati presso gli uffici dell'Agenzia dalle postazioni inclinometriche a sonde fisse appartenenti alla ReRCoMF (Rete Regionale di Controllo dei Movimenti Franosi); si tratta di strumenti posizionati in corrispondenza di tubi inclinometrici e costituiti da una o più sonde, collocate alle profondità di movimento e collegate a una unità automatica di acquisizione e trasmissione dei dati.

In situazione di moderata o elevata criticità per rischio idrogeologico o idraulico, è prevista l'intensificazione delle attività di controllo per le postazioni interessate dalla criticità.

A seguito dell'evento del 21-25 novembre 2016, in accordo con quanto stabilito dal Disciplinare di cui alla DGR 18-3690 del 16/04/2012, si è proceduto con la verifica dei dati trasmessi dalle postazioni (in quel momento ne erano attive 27, dislocate su 6 province) e l'emissione nella giornata di lunedì 28 novembre di un rapporto straordinario di elaborazione dati.

Provincia di Cuneo

Il 28 novembre Arpa ha segnalato, per il solo sito di Paroldo (Figura 7) e con le modalità previste dal Disciplinare sopra citato, un'accelerazione del movimento individuato a 6.5 m di profondità. L'incremento del valore di risultante è iniziato il 24/11 e si è esaurito nel corso del 26, dopo aver raggiunto 1.4 mm di entità in circa 48 ore (Figura 8); è stata inviata una segnalazione all'amministrazione comunale con l'indicazione di eseguire controlli visivi sul posto per verificare la presenza di evidenze di movimenti recenti.



Figura 7. Paroldo (CN): postazione in località Concentrico.

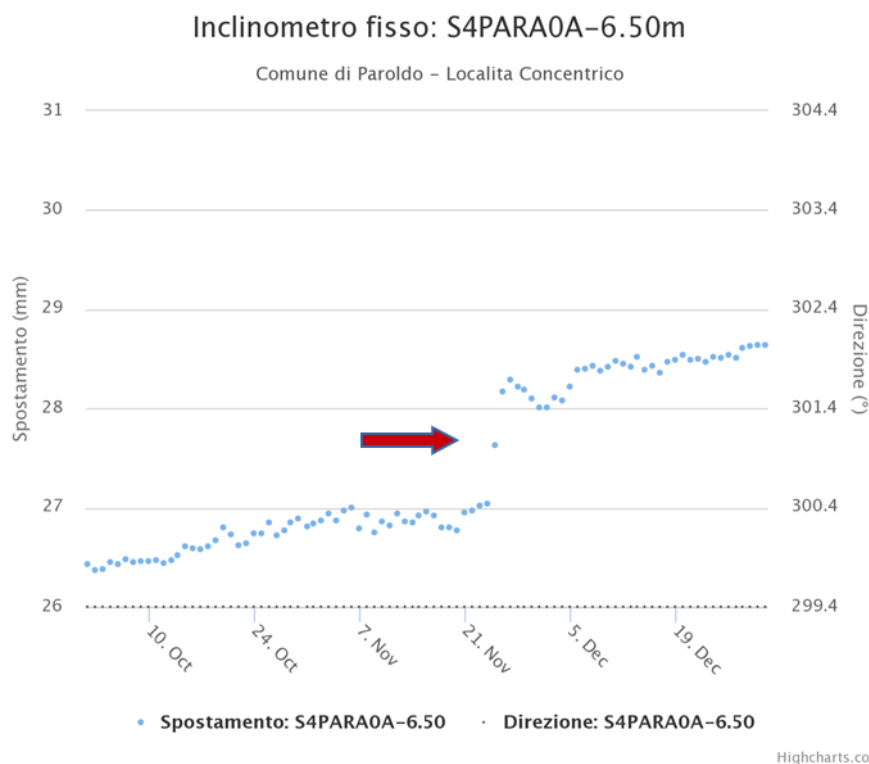


Figura 8. Paroldo (CN): località Concentrico, andamento della risultante dello spostamento a 6.5 m di profondità, periodo 01/10-31/12/2016; è indicato l'incremento del 24-26/11

Nei giorni seguenti i dati registrati dagli strumenti automatizzati sono stati periodicamente controllati senza riscontrare accelerazioni dei movimenti rispetto all'attività ordinaria dei fenomeni osservati.

Provincia di Torino

In occasione del successivo controllo mensile ordinario, il 12/12/2016, altre tre postazioni nell'area dell'Alta Va di Susa (TO) sono risultate in leggera accelerazione rispetto alle tendenze attese per il periodo; normalmente, infatti, i fenomeni di tipologia complessa ricadenti in quest'area e sottoposti a monitoraggio manifestano incrementi del movimento in occasione della primavera, quando si sommano gli effetti della fusione del manto nevoso e delle precipitazioni piovose caratteristiche del periodo.

L'anomalia più evidente è stata osservata dalla postazione di Champlas Seguin (comune di Cesana T.se – Figura 9), dove la riattivazione, iniziata in corso d'evento, è proseguita nelle settimane successive; complessivamente la sonda inclinometrica installata a 17.5 m di profondità ha misurato un avanzamento del fenomeno pari a 4 mm dal 25/11 al 31/12/2016 (Figura 10).



Figura 9. Cesana Torinese (TO): postazione in località Champlas Seguin

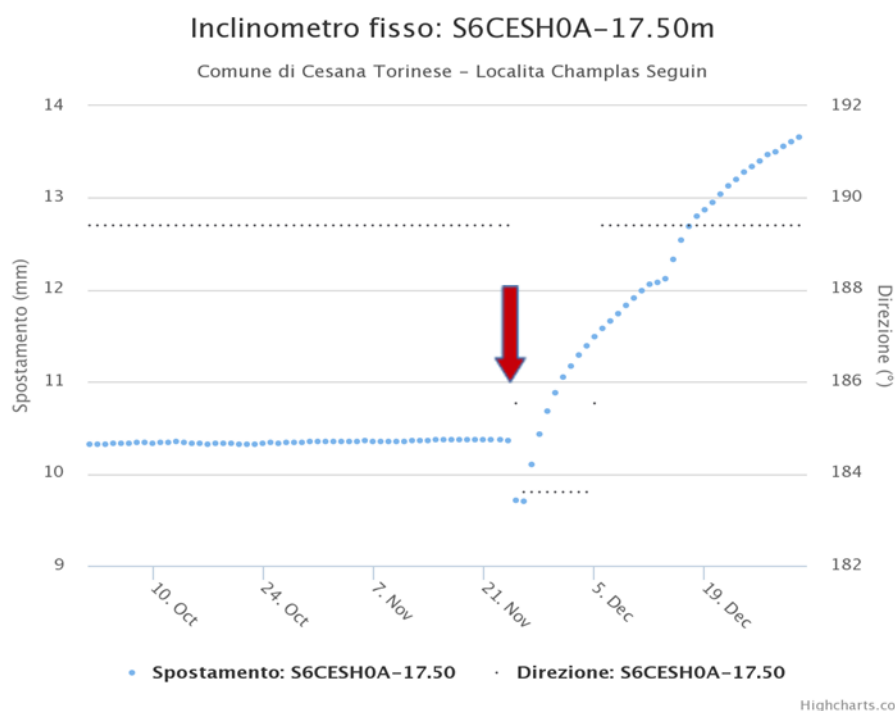


Figura 10 Cesana Torinese (TO) località Champlas Seguin: andamento della risultante di spostamento a 17.5 m di profondità dal 01/10/2016 al 31/12/2016; si nota l'accelerazione iniziata nell'ultima settimana di novembre

Anche le postazioni di SeStriere/Borgata (una sonda inclinometrica posizionata a 16.8 m di profondità) e Sestriere/Champlas du Col (due sonde inclinometriche a 18 e 31 m di profondità) hanno rilevato lievi incrementi di ordine sub-millimetrico.

Tutte le situazioni sono state tempestivamente segnalate ai comuni per consentire lo svolgimento di controlli visivi per l'individuazione di eventuali effetti in superficie.

ATTIVITÀ VALANGHIVA SPONTANEA

L'attività valanghiva significativa è iniziata dapprima sui settori settentrionali (Alpi Pennine di confine) dove gli accumuli di inizio settimana sono stati più significativi. Nella giornata di martedì, complice il rialzo delle temperature associato ancora a precipitazioni, si sono registrate valanghe di medie e localmente grandi dimensioni con quota di distacco generalmente superiore ai 3000 metri e che si sono arrestate prima di raggiungere la viabilità di fondovalle grazie all'assenza di neve nei canali di scorrimento.

Nella notte tra mercoledì 23 e giovedì 24, sui settori occidentali dalle Alpi Graie alle Alpi Cozie Nord, l'ingente apporto di neve fresca caratterizzato da un'elevata densità ha determinato una forte instabilità del manto nevoso con conseguente distacco di numerose valanghe di neve fresca di medie e in alcuni casi grosse dimensioni con le caratteristiche tipiche dei distacchi primaverili.

I primi distacchi spontanei significativi sono stati registrati nella mattina di giovedì dal Comitato Locale Valanghe dell'Unione Montana Alta Valle Susa/Unione Montana Comuni Olimpici Via Lattea: due valanghe di grandi dimensioni a monte dell'abitato di Salbertrand (TO) in corrispondenza del rio Chantaloube e del Rio Secco (Figura 1 a sinistra) arrestateasi a circa 1400 metri di quota.



Figura 1. A sn Accumulo della valanga del Rio Secco con caratteristiche tipicamente primaverili, a dx Zona di arresto delle valanghe di Pourrier

Sempre nella mattina di giovedì, i guardiaparco del Parco Alpi Cozie, hanno rilevato salendo lungo la Val Troncea il distacco di una valanga di medie dimensioni dal Monte Banchetta e lungo la Strada Regionale 23 del colle del Sestriere il distacco delle due valanghe ricorrenti che interessano il versante orografico destro all'altezza di Pourrieres (Comune di Usseaux – TO Figura 1 a destra).

In Val Chisone il Comitato Locale Valanghe e i guardiaparco nelle giornate di venerdì e sabato hanno segnalato ulteriori distacchi lungo i canali abituali che interessano la strada militare dell'Assietta sopra l'abitato di Balboute (Figura 2 a sinistra) e nella zona di pian dell'Alpe nel Comune di Usseaux (TO) che tuttavia risultava già chiusa al traffico (Figura 2 a destra).



Figura 2. A sn particolare di una valanga che ha interessato la Strada dell'Assietta, a dx zona di arresto della valanga di Pian Dell'Alpe – Usseaux (TO)

In Val Clarea, bassa Val di Susa, sono stati documentati alcuni distacchi di valanghe abituali di grandi dimensioni che hanno quasi raggiunto il fondovalle con accumuli a circa 1300-1400 metri di quota (Figura 3).



Figura 3. Zona di arresto delle valanghe della Val Clarea

Nelle Alpi Graie e nelle Alpi Marittime sono stati registrati numerosi distacchi di valanghe di medie e localmente grandi dimensioni lungo i canali abituali. Le valanghe di maggior rilievo sono cadute in testata della Valle Orco nei pressi del tratto di strada che da Ceresole Reale porta a Chiapili e nel vallone del Laitous sopra Entracque. Le valanghe di Ceresole, pur arrivando molto vicine alla strada, non l'hanno interessata, mentre la valanga scesa nel Comune di Entracque ha provocato un accumulo di neve tipicamente primaverile alto oltre due metri sulla strada comunale che sale al lago Rovina (Figura 4).



Figura 4. Accumulo della valanga sulla strada comunale di Entracque (CN)

Nelle Alpi Marittime Occidentali sono state registrate valanghe di medie dimensioni che sono arrivate a poca distanza dalla strada statale che collega l'Italia alla Francia, all'altezza del Colle della Maddalena.

CONTRIBUTI SPECIFICI

Il presente capitolo raccoglie alcuni contributi inquadrabili nel tema generale oggetto del volume, ma dedicati a taluni aspetti di indubbio interesse, la cui trattazione a parte ha permesso di sviluppare in modo specifico l'argomento trattato.

PROCESSI TORRENTIZI LUNGO IL RETICOLO IDROGRAFICO SECONDARIO DELLA MEDIA VALLE CHISONE

Si è posta particolare attenzione alla violenta attività torrentizia (del reticolo idrografico secondario) che ha colpito con particolare intensità e densità il tratto in sinistra idrografica della medio-bassa Val Chisone, più precisamente tra i comuni di Pinasca e Roure, all'interno di un ambito di forma semicircolare che circonda i tributari laterali di sinistra del T. Chisone.

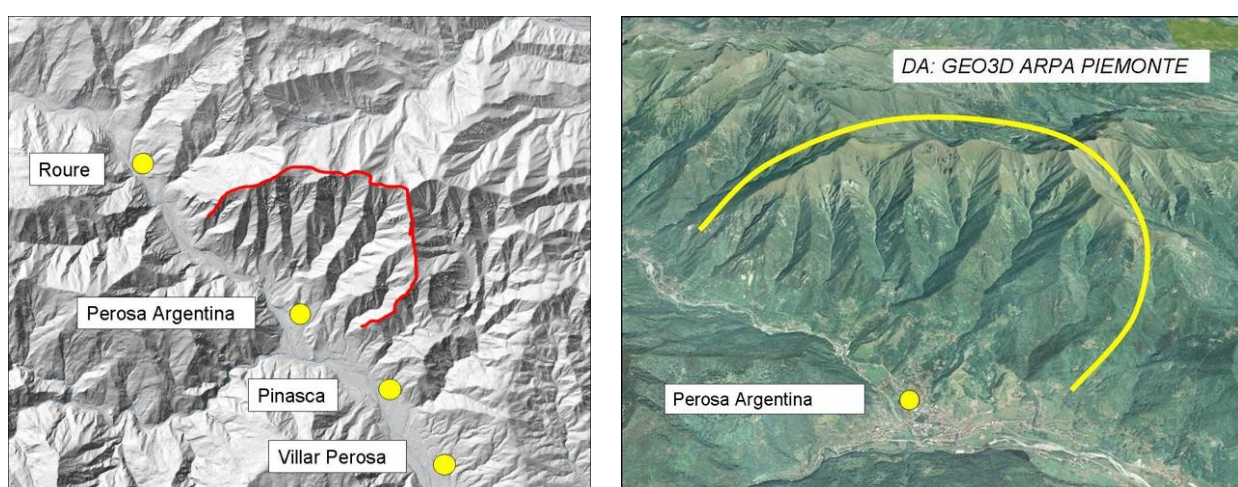


Figura 1. I bacini coinvolti dai processi torrentizi del novembre 2016, a sinistra DEM visualizzato con ombreggiatura e scala di grigio da DTM 10 metri di Arpa Piemonte, a destra sistema GIS 3D di Arpa Piemonte

I corsi d'acqua in questione, interferiscono con gli abitati sviluppati lungo il fondo valle (figura 1) e la strada regionale n. 23 e sono contraddistinti da andamenti sub-paralleli, modesto sviluppo longitudinale ed areale, con caratteristiche che possono essere così sintetizzate:

<u>Esposizione</u> SW	<u>Altitudine</u> 600m – 2000m	<u>Bacini</u> S= 1kmq – 7kmq
<u>Corsi d'acqua:</u> L= 2km – 5km i= 10°- 20	<u>Versanti</u> i= 35°	

Il tratto di valle in questione è geologicamente caratterizzato dalla presenza del basamento pretriassico dell'unità tettonometamorfica del Dora Maira. I litotipi prevalenti sono quelli relativi all'unità Ortogneiss tipo M.Freidour (metagraniti e gneiss occhiadini) con livelli del Complesso grafítico del Pinerolese (micascisti a granato e cloritoide e micascisti grafíticos) e filoni a composizione dioritica.

I processi accaduti sono ascrivibili alla tipologia denominata "colata detritica torrentizia" (nota anche con il nome di Debris Flow), intendendo con questo termine fenomeni gravitativi incanalati lungo aste torrentizie, diversificati quindi dai processi che si sviluppano lungo i versanti genericamente denominati "frane".

Tra i processi torrentizi, viene quindi effettuata una classificazione sulla base di alcuni parametri quali la litologia, la concentrazione di sedimento della colata, il peso dell'unità di volume, la resistenza al taglio i quali condizionano fortemente la reologia della colata. Ne consegue che tali processi, genericamente definiti "colate", sono caratterizzate da comportamenti specifici correlati alla tipologia di flusso che le caratterizzano (viscoso, frizionale o collisionale).

L'elevata concentrazione della componente solida, unitamente a valori elevati di peso specifico e resistenza al taglio definiscono un tipo di flusso viscoplastico o collisionale-frizionale tipico dei debris flow (Aulitzky, 1982; Pierson & Costa, 1987; Hungr et al, 1984, Cruden, D. M. & Varnes, D. J. 1996).

Nella mappa in figura 2 si sono distinti i bacini dove è avvenuta una colata detritica da quelli ove si è verificata una semplice piena torrentizia; la distinzione tra questi due processi è legata al contenuto solido preponderante delle colate detritiche nonché alla tipologia di regime, generalmente macro-viscosi nelle colate detritiche e turbolento nella piena torrentizia (Takashi, 1991).

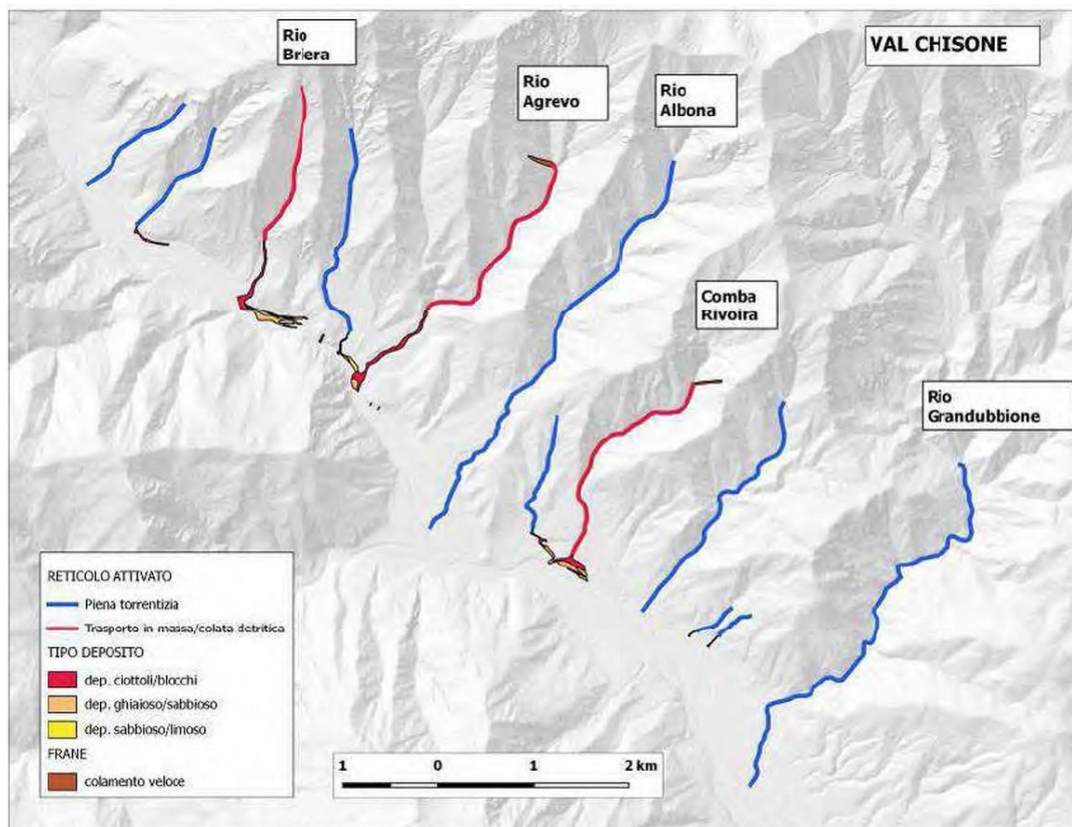


Figura 2. Attività torrentizia in media Val Chisone

Analizzando nell'insieme gli effetti, si riscontra che la maggior concentrazione dei fenomeni torrentizi e di colata detritica ha riguardato il Comune di Perosa Argentina (figura 3), che verrà analizzato nel dettaglio.

In base alle testimonianze raccolte, risulta che fasi più intense dei fenomeni torrentizi si sono manifestate generalmente nel corso delle prime ore della mattinata di venerdì 25 novembre, come confermato dalle informazioni raccolte sia per i corsi d'acqua del tratto inferiore (ore 7-7,30 per la Comba Rivoira, in Comune di Pinasca) sia per quelli del tratto superiore (ore 6,30 per il Rio di Brieria, in Comune di Perosa Argentina).

Distribuzione generale dei fenomeni rilevati

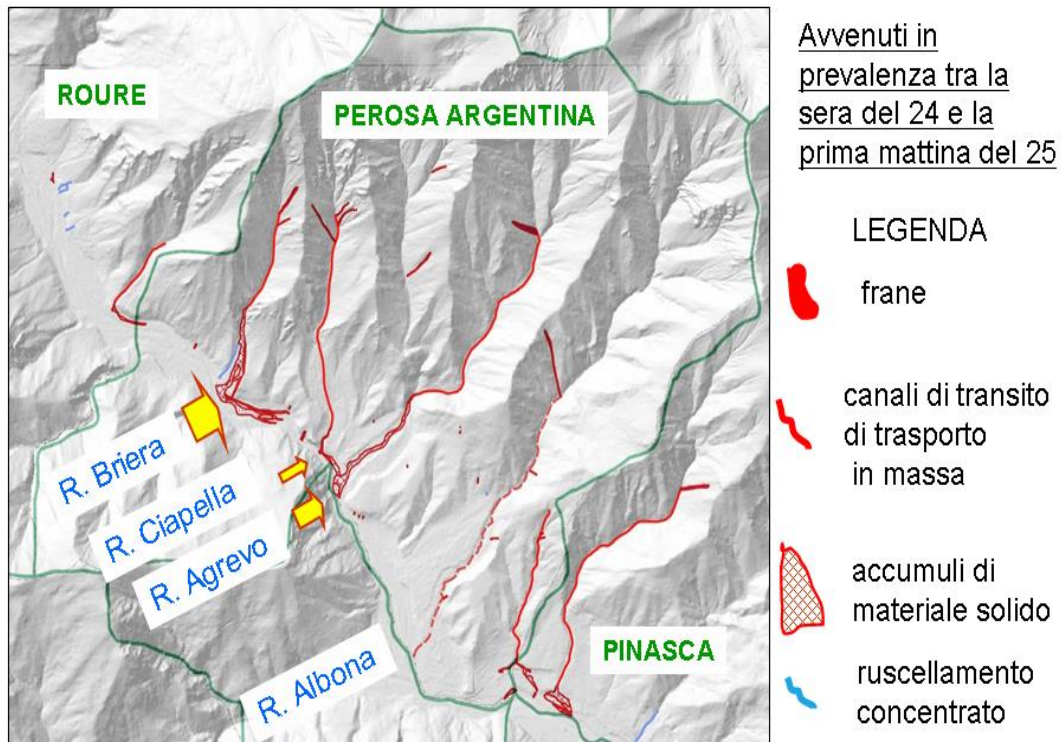


Figura 3. Distribuzione delle diverse tipologie di processi rilevati nel comune di Perosa Argentina

Lungo i tributari si sono attivati intensi fenomeni erosivi innescati da localizzati fenomeni di frana, per lo più originatisi in corrispondenza ad una fascia altimetrica media, generalmente compresa tra i 1200 e i 1500 m ed hanno interessato materiali detritico-colluviali di spessore dell'ordine di pochi metri estesi su superfici dell'ordine di 6000/10000 m² (figura 4).

I fenomeni sono evoluti, secondo ogni evidenza, come colamenti rapidi che hanno dato luogo ad una miscela ad elevata densità capace di mobilizzare e prendere in carico il materiale accumulato lungo il canale di deflusso e determinare depositi in conoide che hanno raggiunto in più casi volumi stimabili in diverse decine di migliaia di metri cubi (figura 5).

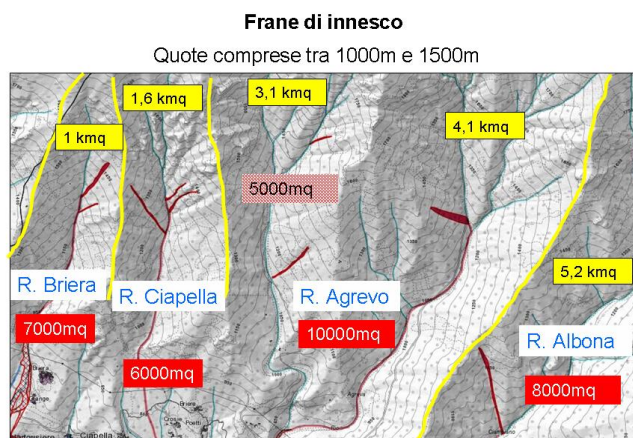


Figura 4. Frane di innesco nel settore mediano dei bacini (in rosso)

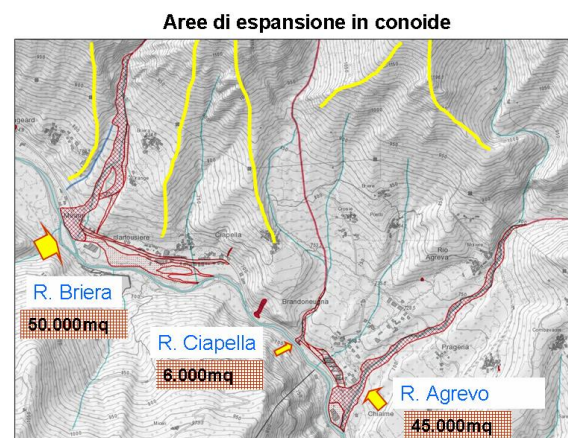


Figura 5. Aree di espansione delle colate detritiche in conoide (retinato rosso)

Caso studio della colata detritica del Rio Briera (comune di Perosa Argentina)

Al fine di un corretto studio dei bacini soggetti a fenomeni di colata detritica e delle conseguenti azioni di difesa della zona di conoide è importante effettuare un'attenta ed accurata raccolta di dati a seguito degli eventi parossistici.

L'indagine ha avuto come obiettivi l'individuazione dei fattori di innesco della colata detritica del Rio Briera e la quantificazione dei volumi di detrito mobilizzato nel bacino e poi depositato in conoide dalla colata del novembre 2016. I processi osservati nel bacino del Rio Briera sono un esempio rappresentativo dei numerosi fenomeni di trasporto in massa avvenuti nei bacini limitrofi della media val Chisone.

La stima dei volumi risulta necessaria per definire con un buon grado di attendibilità l'idrogramma solido-liquido necessario alla modellizzazione numerica della colata lungo l'alveo fino al conoide. Inoltre consente di effettuare una prima calibrazione dei modelli predittivi con la back-analysis di eventi reali nonché di effettuare un confronto con le stime della magnitudo, ovvero della quantità di materiale solido movimentabile nel bacino, effettuate applicando differenti metodologie empiriche. I rilievi di terreno hanno permesso di definire i diversi parametri per la stima della reologia delle colate detritiche, al fine di individuare le proprietà del fluido equivalente con cui viene schematizzata la colata. L'attività si inserisce nell'ambito delle funzioni di Arpa concernenti la raccolta di dati di evento da inserire nella Banca Dati Geologica e a supporto dell'attività di pianificazione operata da diversi soggetti coinvolti a partire dalla Regione Piemonte. Sono stati effettuati alcuni rilievi di terreno unitamente all'analisi di fotografie aeree, voli in elicottero e voli di droni (rispettivamente CNR-IRPI Torino, Regione Piemonte e Città Metropolitana di Torino).

Il bacino del Rio Briera (1,25 Km² circa) è ubicato sul versante in sinistra idrografica della media Val Chisone alle pendici del gruppo montuoso Curbasiri-Bocciarda (2214 m s.l.m), esposizione sud, dislivello complessivo di 1350 metri (2050-700 m).

Le principali aree di innesco di frane superficiali su versante (sorgenti di sedimento della colata), confluite direttamente sul canale principale, sono state individuate nel settore mediano dei bacini ad una quota compresa tra 1600 e 1100 m. s.l.m, aree con forte presenza di detrito disponibile rimobilizzabile (figura 6). La parte superiore del bacino non presenta aree di innesco, o tracce di passaggio di colate detritiche.



Figura 6. Aree di innesco sul bacino del Rio Agrevo, in primo piano nell'immagine a sinistra (Foto CNR-IRPI Torino)

Alcune frane rapide della coltre detritica superficiale (figura 7), oltre a contribuire all'apporto di materiale alla colata, hanno probabilmente causato ostruzioni temporanee al corso d'acqua principale, contribuendo al carattere impulsivo della colata stessa. Ciò ha di conseguenza originato diverse ondate di piena con portata molto significative, caratterizzate da una forte componente erosiva nei tratti a forte e media pendenza del canale (figura 8).



Figura 7. Frane superficiali che hanno alimentato le colate detritiche sui bacini della Comba della Rivoira (a sinistra) e del Rio Agrevo (a destra). Foto Regione Piemonte (V.Giraud)



Figura 8. Azione erosiva della colata in aree a forte disponibilità di detrito (Rio Briera)

Le analisi condotte hanno permesso di stabilire una prima stima dei volumi di materiale rimobilizzato delle aree sorgenti, suddividendo tra il contributo dai versanti (con l'ausilio della banca dati SIFRAP, Sistema Informativo Frane in Piemonte di Arpa) e quello lungo le aste torrentizie (correlato allo stato di ricarica del collettore), relativamente alla componente erosiva in alveo (figura 9).

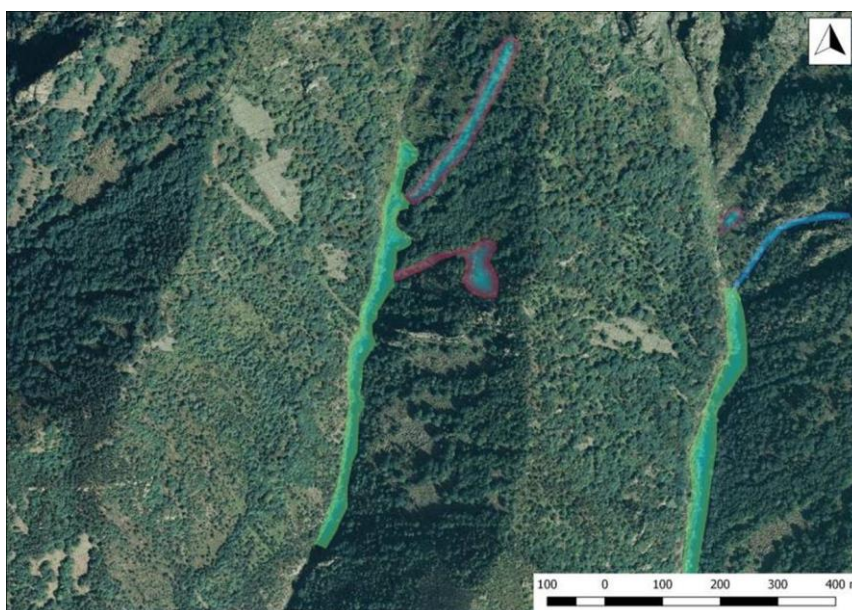


Figura 9. Stima dei volumi rimobilizzati nei bacini di alimentazione dove si sono innescate le colate detritiche. Distinzione tra il contributo generato dai versanti (in blu) e quello già disponibile in alveo (verde). Estratto di una parte del bacino del Rio Briera

Il rilievo ha preso in considerazione la larghezza dell'alveo, lo spessore stimato dei sedimenti, le pendenze e le caratteristiche geologiche, attraverso il quale si è suddivisa la rete idrografica del bacino in tratti aventi caratteristiche omogenee. Si è quindi determinato il volume con la sommatoria dei prodotti tra la lunghezza di ciascun tratto $L(i)$ per un valore medio di apporto di sedimento unitario $A(i)$ (Hungri et al., 1984).

$$Vaste = \sum L(i) \cdot A(i)$$

A questo volume è stato sommato il volume totale di materiale mobilizzato proveniente dalle aree sorgenti lungo il versante (V_{versante}). Il volume totale è determinato dalla somma dei due contributi. Il valore complessivo di materiale trasportato dalle zone sorgenti verso valle è stimato intorno ai 30.000 metri cubi, sebbene sia di difficile quantificazione il duplice effetto erosivo/deposizionale in alcuni tratti del canale, connesso al carattere impulsivo della colata.

L'approccio geomorfologico, ovvero la determinazione dei volumi delle colate detritiche basata su osservazioni dirette di campagna e integrate dall'interpretazione di foto aeree, presenta spesso maggiore affidabilità rispetto all'applicazione di formule empiriche e semi-empiriche.

In corrispondenza dell'area di conoide il torrente è esondato in tutta la sua estensione, dalla parte apicale fino alla confluenza con il Torrente Chisone, riattivando in parte diversi tratti di paleoalvei abbandonati e provocando una colata di detrito che ha investito diversi edifici e danneggiato infrastrutture e strade (figura 10 e 11).

Le colate detritiche hanno apportato ingentissime quantità di materiali litoidi con blocchi eterometrici anche di grandi dimensioni (fino a 8-10 metri cubi) in matrice prevalentemente sabbiosa. Tale materiale unitamente alla straordinaria energia del flusso della colata hanno determinato un forte impatto sulle strutture antropiche (diversi ponti e tratti di viabilità asportati) e sui boschi limitrofi. La sezione di deflusso del canale principale si è decisamente ampliata, con trasporto e deposizione sui fianchi di materiale grossolano, tronchi e quant'altro presente in alveo. Successivamente nella parte mediana del conoide, dove le pendenze si riducono e il paleoalveo tende ad aprirsi, la colata si è divisa in diversi rami secondari, pur concentrando la maggior parte della portata sul canale principale.



Figura 10. Rio Briera. Forte deposizione di detrito, in apice di conoide in corrispondenza della variazione di pendenza e lungo il tratto mediano (a destra foto estratta da volo Drone Città Metropolitana di Torino)

L'ingente accumulo di sedimento in corrispondenza del fondovalle ha ostruito completamente la SR23 con oltre 3 metri di spessore di deposito, con grave interruzione della viabilità della Val Chisone, gravi danni ad alcuni edifici (fig. 11) e operando una rilevante modifica della geomorfologia del fondovalle.



Figura 11. Rio Briera. Forte accumulo di detriti sul fondovalle con danni a infrastrutture e opere antropiche (Foto CNR-IRPI Torino, Regione Piemonte)

Un dettagliato rilievo geomorfologico di terreno ha permesso di stimare i volumi di materiale accumulati in conoide e in fondovalle.

Il rilievo ha preso in considerazione:

- la mappatura del canale di deflusso principale più ulteriori canali secondari riattivatisi in corso d'evento, che viste le caratteristiche di pendenza e di litologia del settore medio-superiore del conoide hanno avuto episodi alternati di erosione e deposito;
- l'analisi di diverse sezioni sul canale principale;
- la stima dello spessore dei depositi su una settantina di punti di indagine.

I valori di spessore sono stati quindi interpolati nello spazio con una semplice analisi spaziale (kriging) al fine di ottenere mappa di classi di spessore complessivo depositato dall'evento di colata, suddividendo per area di conoide e fondovalle (figura 12). Il volume totale di materiale stimato in conoide e fondovalle risulta compreso tra i 60.000 e 70.000 metri cubi, mentre limitatamente all'area di fondovalle, nel tratto terminale poco a monte della SP23 e fino al t. Chisone sono stati calcolati 27.500 metri cubi circa.



Figura 12. Stima del volume di detrito depositatosi sul fondovalle. Analisi e confronto con DTM LiDAR, risoluzione a terra 1 metro - Regione Piemonte (a) rilievi da terreno di canali riattivati di deflusso, sezioni e spessore dei depositi (b), mappa della stima dei volumi (c)

Dati storici sulle colate detritiche raccolti in diverse parti delle Alpi Italiane (Govi et al., 1992; Arattano et al., 1996) hanno fornito indicazioni sull'entità dei fenomeni e sulla loro frequenza. Tali dati non consentono in generale un'analisi quantitativa delle relazioni fra volumi depositati e frequenza dei fenomeni nei singoli torrenti.

Tuttavia appare evidente che la colata del Rio Briera ricada tra i fenomeni a bassa frequenza (a memoria d'uomo non si ricorda un evento simile) ed elevati volumi. Tali bacini necessitano di tempi relativamente lunghi perché avvenga una "ricarica" delle aree sorgenti di sedimento. La raccolta di dati storici rivela solitamente una scarsa frequenza degli eventi: ciò rende problematica o impossibile l'analisi probabilistica delle relazioni fra volumi e frequenze e le misure di difesa verranno concepite con riferimento ad un evento di elevata intensità ed associato ad una bassa frequenza, pur nell'impossibilità di definire più esattamente quest'ultima (Bianco et al., 1999). Per una maggiore comprensione dei processi osservati, l'analisi dei depositi della colata ha permesso di applicare, al bacino del Rio Briera, la classificazione sulla base della litologia prevalente del substrato (Tiranti et al., 2008).

Il bacino ricade nell'unità tettonometamorfica del Dora Maira, con litotipi prevalenti relativi all'unità Ortogneiss tipo M.Freidour (metagraniti e gneiss occhiadini). I depositi della colata hanno un aspetto caotico, sono caratterizzati da materiale eterogeneo, grossi blocchi poco alterati, dalla forma angolare o tabulare. La matrice è prevalentemente sabbiosa, con bassima percentuale limosa (figura 13). La tipologia di trasporto ha generato cordoni e argini inclinati. Si sono riscontrate più deposizioni successive nella medesima aree e in zone limitrofe, formando corpi sovrapposti e coalescenti.

Tale contesto evidenzia quindi una bassa percentuale di argilla/minerali argillosimili e quindi un comportamento non-coesivo del debris flow (reologia collisionale-frizionale). Il bacino del Rio Briera è quindi classificato nella classe Bad Clay Maker (BCM): l'assenza di fini argillosimili conferisce una viscosità del flusso nulla. Il materiale molto grossolano che si muove ad alta energia si deposita pochissimo lungo il canale (mediamente il 15%) (Tiranti et al., 2014). Per i valori soglia di precipitazione responsabile di questi fenomeni (valori maggiori o uguali a 52 mm/h) il tempo di ritorno stimato nel bacino considerato è pari a 100 anni (Atlante Piogge Intense in Piemonte – GUM, Geoportale Arpa Piemonte).



Figura 13. Tipologia dei depositi della colata del R. Briera, con blocchi tabulari e matrice sabbiosa, nei pressi della confluenza con il torrente Chisone

A riprova dei volumi stimati dai rilievi sul campo, è stata effettuata una valutazione dei volumi sulla base della portata di picco in seguito messa a confronto con la durata dell'evento, dedotta da alcune testimonianze dirette.

La stima della portata di picco, effettuata a posteriori su alcune sezioni immediatamente a monte del conoide in base all'analisi delle evidenze morfologiche e delle tracce del passaggio della colata (figura 14), è stata condotta attraverso l'applicazione di equazioni del moto specifiche per il tipo di processo torrentizio considerato. Si è fatto riferimento al rilievo topografico del sovrizzo che si verifica in presenza di una curva per effetto della forza centrifuga (Johnson & Rodine, 1984). Occorre, tuttavia, una certa cautela nel suo utilizzo e soprattutto nella scelta delle sezioni ove effettuare le misure (Arattano e Marchi, 2001), ragion per cui sono state selezionate diverse sezioni.

Δh = differenza elevazione sponda dx/sx

R = Raggio Curvatura della linea che individua il centro alveo

b = larghezza superficie del flusso

k = coefficiente di correzione (2,5 per calcolo velocità, 5 per progetto)

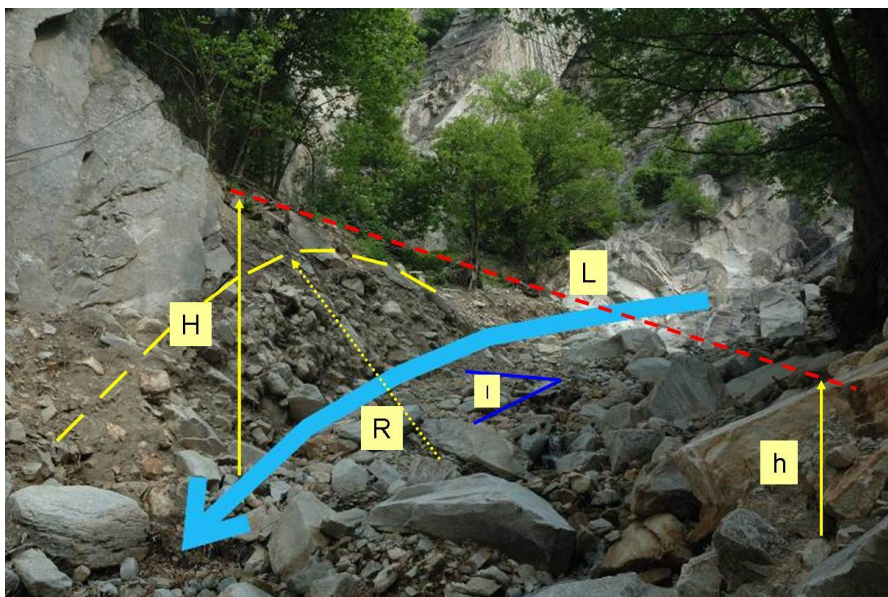


Figura 14. Esempio di sezione sulla quale è stata effettuata la stima della velocità della colata (la freccia blu indica direzione di passaggio della colata, secondo Hungr & Morgan (1984))

I valori di velocità calcolati, per le sezioni prese in considerazione, sono compresi tra i 4 e i 5,5 m/s, per una portata di picco complessiva compresa tra 240 e 330 m³/s.

La portata dedotta da osservazioni di campo è stata messa a confronto con quella ottenuta da alcune relazioni empiriche generalmente utilizzate in ambito pianificatorio, per questi contesti alpini (ovvero riferiti a "granular debris flow") quali Mizuyama et al., (1992) e Rickenmann (1997).

$$Q_{max} = 0.135 V^{0.78}$$

In base alla relazione di Mizuyama, ad un volume di 30.000 metri cubi corrisponderebbe un valore di Q_{max} di poco superiore ai 420 m³/s. Ancora a titolo di confronto, VanDine (1996) pubblica un grafico che stima la portata di picco di debris flow in funzione del volume: ad una colata intorno ai 30.000 metri cubi corrisponderebbe, in base a tale grafico, una $Q_c = 400$ m³/s. Valori quindi di poco superiori a quelli calcolati con la formula del sovrizzo.

Secondo VanDine (1985), in questi contesti litologici e in bacini di dimensioni ridotte, la portata solida può arrivare a 40 volte quella liquida e anche Mizuyama et al. (1992) indicano un elevato rapporto tra portate di picco delle colate detritiche e relative portate liquide: tale rapporto può a loro

avviso arrivare fino a circa 35 volte la portata liquida. Ciò a dimostrazione della forte prevalenza della componente solida rispetto a quella liquida, come anche riferito da diversi testimoni.

Per quanto riguarda la stima della durata della colata non si hanno informazioni certe eccetto alcune testimonianze da parte di locali i quali riferiscono di una ondata di piena costituita per lo più di materiale detritico rispetto alla componente liquida, preceduta da un forte boato e una durata stimabile in pochi minuti (di gran lunga inferiore alla durata dell'evento pluviometrico). Prendendo come riferimento quindi un tempo di 3-4 minuti per le portate precedentemente stimate si ottengono dei volumi comparabili, come ordine di grandezza, a quelli osservati dai rilievi di terreno.

Le ricadute in termini di pianificazione

Il confronto fra la schematizzazione degli effetti dell'evento alluvionale lungo il Rio Briera e le carte di idoneità all'utilizzazione urbanistica al momento vigenti sono esemplificative della frequente sottostima dei fenomeni che comprendono trasporto solido in conoide, per i quali la modellazione è spesso complessa, onerosa e con significativi margini d'incertezza.

Nello specifico caso appare evidente che le Classi di sintesi utilizzate localmente non risultano sufficientemente cautelative, e dovranno pertanto essere ridefinite, e che contestualmente dovranno essere aggiornati i crono-programmi degli interventi di riassetto territoriale previsti per gli ambiti edificati.

Più in generale, il caso analizzato dimostra l'importanza che a seguito di eventi alluvionali le Amministrazioni comunali provvedano alla verifica locale del dissesto al fine dell'eventuale adozione di misure cautelari o di procedimenti per la revisione dell'utilizzabilità urbanistica del territorio.

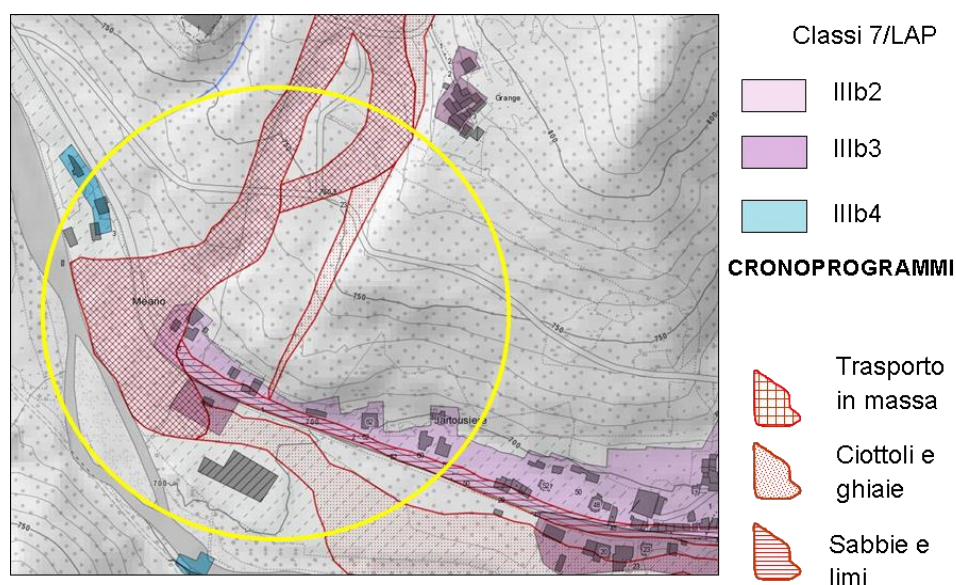


Figura 151. Confronto tra gli effetti dell'evento alluvionale del novembre 2016 sul conoide del Rio Briera e le carte di idoneità all'utilizzazione urbanistica

BIBLIOGRAFIA

ARATTANO M. & MARCHI L., (2001) – Relazione Finale Progetto INTERREG II 1994/1999 Italia – Confederazione Elvetica. Collegamento delle reti di rilevamento e condivisione delle esperienze e conoscenze per la gestione del rischio idrogeologico. Azione 4: condivisione di metodi e conoscenze sui processi di lave torrentizie per la difesa dei centri abitati.

ARATTANO M., CHIARLE M., FIORASO G., MARCHI L., MORTARA G., TURITTO O. & TETAMO G., (1996) – Analysis of recent and past debris flow events in the Italian Alpine Region. European Programme in the field of Environment 1990-94. CE Contract EV5V CT94 0453. Final Report: 31 pp.

AULITZKY H. (1982) – Preliminary two-fold classification of torrents. *Mitteil. Der Forst. Bundesversuchsanstalt, Wien, Heft 144*, pp. 243-256.

BIANCO G., RUBERTO G., BROCHOT S. & LAIGLE D. (1999) – Progetto Interreg II Italia-Francia 1994-1999; Azione 5: Condivisione di metodi e conoscenze sui processi di lave torrentizie per la difesa dei centri abitati.

CRUDEN, D. M. & VARNES, D. J. 1996 – Landslide types and processes. In: Special report 247: Landslides: Investigation and Mitigation (Eds: Turner, A. K. & Schuster, R. L.), 36- 75. Transportation and Road Research Board, Washington, D. C.: National Academy of Science.

GOVI M., MARCHI L., MORTARA G. & TURITTO O., (1992) – Ricerche sulle colate detritiche torrentizie (debris flow) in ambiente alpino. 405-420. GNDCl, Rapporto 1990/91 dell'U.O. 1.29.

PIERSON, T. C. & COSTA, J. E. 1987 – A rheological classification of subaerial sediment-water flows. In: Debris Flow/Avalanches: Process, Recognition and Mitigation (Eds: Costa, J. E. & Wieczorek, G. F.). Reviews in Engineering Geology Volume VII, 1-12. Boulder, CO: Geological Society of America.

HUNGR, O., MORGAN, G. C. & KELLERHALS, R. 1984 – Quantitative analysis of debris torrent hazards for design of remedial measures. *Canadian Geotechnical Journal*, 21, 663-676.

MIZUYAMA, T., S. KOBASHI, OU G. 1992 – Prediction of debris flow peak discharge, *Interpraevent 1992, Bern, vol. 4*, pp. 99–108.

MOSCARIELLO A., MARCHI L., MARAGA F., MORTARA G. (2002) – Alluvial fans in the Alps: sedimentary facies and processes. *Spec. Publs int. Ass. Sediment.* 32, 141-166.

T. TAKAHASHI, DEBRIS FLOW, IAHR MONOGRAPH, BALKEMA, 1991.

TIRANTI D., BONETTO S., MANDRONE G. (2008) – Quantitative basin characterization to refine debris-flow triggering criteria and processes: an example from the Italian Western Alps. *Landslides*, Volume 5, Number 1/February 2008 “Debris Flow Hazards”, Pages 45-57; Springer-Verlag. DOI: 10.1007/s10346-007-0101-4

TIRANTI D., CREMONINI R., MARCO F., GAETA A.R., BARBERO S. (2014) – The DEFENSE (Debris Flows triggered by storms – Nowcasting System): an early warning system for torrential processes by radar storm tracking using a Geographic Information System (GIS). *Computers & Geosciences* 70: 96-109; Elsevier. DOI: 10.1016/j.cageo.2014.05.004

VANDINE D.F., (1985) – Debris flow and debris torrents in the Southern Canadian Cordillera. *Canadian Geotechnical Journal* 22: 44-68.

VANDINE D.F., (1996) – Debris flows control structures for forest engineering: 68 pp. Res. Br., B.C. Min. For., Victoria, B.C. Work Paop. 22/1996.

FRANE E FENOMENI TORRENTIZI A PIAGGIA E A MONESI DI MENDATICA

La testata della valle Tanaro, posta a cavallo fra Liguria (Provincia di Imperia) e Piemonte (Provincia di Cuneo), è formata da due corsi d'acqua, il Negrone e il Tanarello; il primo caratterizza la frazione Viozene del comune di Ormea, mentre il secondo, dopo un tratto in territorio ligure a monte della confluenza con il Negrone da cui nasce il Tanaro, va a costituire, con l'affluente Bavera, il confine fra le due regioni e in particolare fra il comune di Briga Alta (CN), frazione Piaggia, e i comuni di Triora (IM), frazione Monesi di Triora, e di Mendatica (IM), frazione Monesi di Mendatica.



Figura 1. Inquadramento geografico (estratto da Google Earth)

Per il periodo 21-25 novembre, le stazioni della rete piemontese registrano, nel settore comprendente le testate delle valli Tanaro, Casotto, Bormida, cumulate da 450 a 650 mm; nella zona di testata della Valle Tanarello si registrano i massimi piemontesi dell'evento come testimoniato dal rilievo della stazione di Piaggia (CN) (oltre 650 mm di cumulata). Nel novembre 1994 erano stati registrati valori complessivi di circa 300 mm, conseguenti a piogge avvenute in gran parte nella sola giornata del 5 novembre.

Le piogge nel 2016 nell'alta valle Tanaro sono iniziate il 21 novembre, con apporti dell'ordine dei 100 mm/giorno per poi calare il giorno seguente intorno a 20-30 mm; il 23 si registrano piogge rilevanti con una media di circa 120-130 mm/g, ma è nella giornata del 24 novembre che si rileva il maggiore apporto di pioggia con valori medi intorno a 250-300 mm/giorno; segue la coda della precipitazione con in media un ulteriore apporto di 20-30 mm.

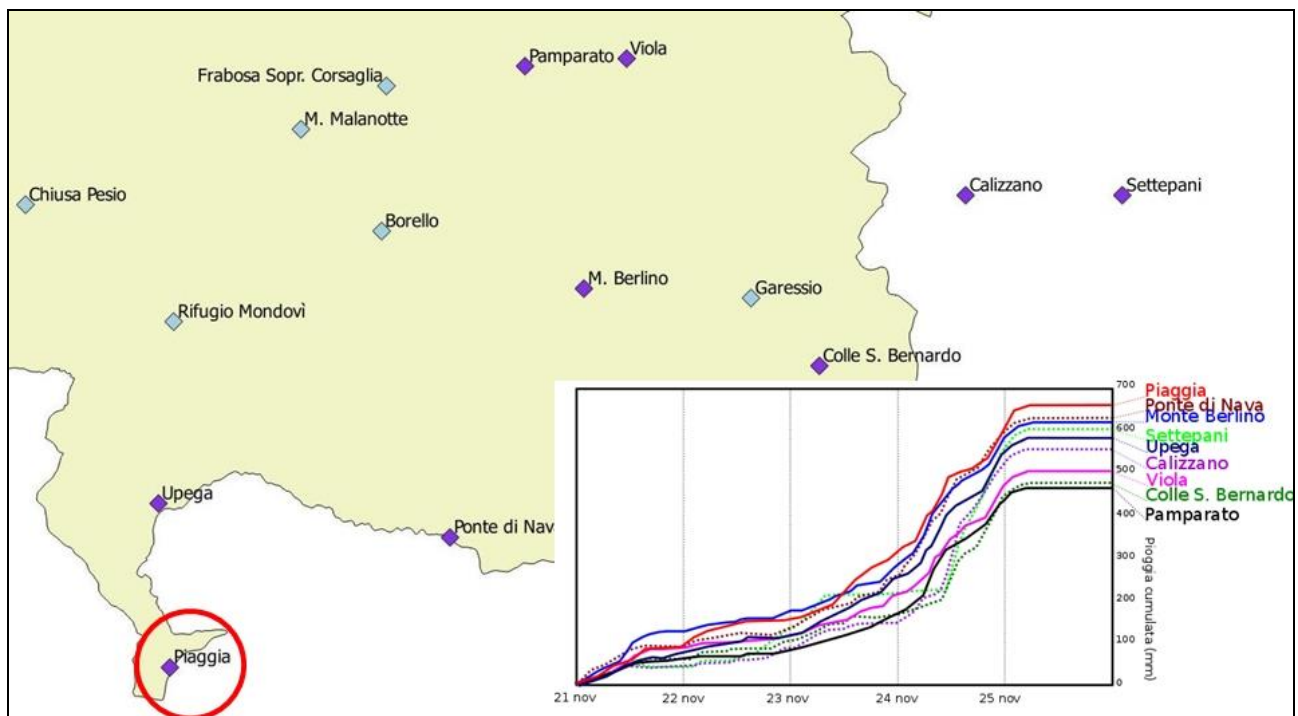


Figura 2. Precipitazioni dell'evento 2016 nel settore di interesse

Nella notte fra il 23 e il 24 novembre le ingenti piogge scatenano una violenta attività torrentizia lungo il corso del T. Tanarello e del suo affluente T. Bavera; gli effetti sono erosioni della base dei versanti, innesco di frane, ingente trasporto solido, formazione di colate detritiche e deposito di materiale alluvionale. L'attività violenta del corso d'acqua prosegue per tutta la giornata del 24, quando avviene il picco delle precipitazioni. I rii minori si ingrossano a dismisura e le acque ruscellanti corrono lungo i versanti fuori dal reticolo.

Si verificano le prime frane. Il versante destro della valle, in territorio ligure, appare più vulnerabile in quanto caratterizzato da preesistenti accumuli di frana di grandi dimensioni e da sfavorevoli condizioni strutturali (substrato a franapoggio fra i 20 e i 50°, costituito da Flysch ad Helmitoidi – calcari e arenarie fittamente stratificati). Una grande frana coinvolgente all'incirca una superficie di 6 ettari (con un volume stimabile in alcune decine di migliaia di m³) si stacca dal versante destro del Vallone Punta S. Maria (affluente del Bavera) intorno a 1600 m e crolla nel torrente, alimentando ondate di colate detritiche che si ripercuotono a valle nel Bavera e nel Tanarello che incide la valle fra le frazioni di Piaggia (CN) a nord e Monesi di Mendatica (IM) a sud. Sotto l'abitato di Monesi di M. nella notte fra il 23 e il 24 novembre, si innesca una prima frana che coinvolge una centrale idroelettrica che viene scalzata e trascinata verso il fondovalle del Tanarello; nei giorni seguenti l'edificio verrà ulteriormente spinto e finirà in alveo andando ad ostacolare il deflusso delle colate detritiche, costituendo una specie di briglia che tratterrà il trasporto solido dando luogo a monte ad una vasta piana di sedimentazione. Lungo il corso del Bavera prosegue la violenta attività torrentizia che distrugge nella giornata del 24 l'attraversamento stradale inferiore che collegava Liguria e Piemonte. Il ponte, alto circa 6 m, viene completamente ostruito dalle colate detritiche mentre il rilevato di sinistra viene sfondato e percorso dal nuovo alveo; cordoni detritici ai lati dell'alveo testimoniano depositi di altezza plurimetrica superiori al paramento di imposta di alcune briglie presenti fra la strada bassa e il viadotto superiore di collegamento fra Liguria e Piemonte. I depositi vengono smantellati ed erosi nei giorni seguenti, mentre a valle dell'attraversamento basso, a partire dalla confluenza Tanarello/Bavera, la valle appare totalmente sovralluvionata, perlomeno fino al rudere della centrale idroelettrica; in questo punto si stima un deposito di 5-7 m di ghiaie e ciottoli, che ha coperto un ponticello pedonale

(cosiddetto "Ponte romano") e i due edifici abbandonati del vecchio mulino di Piaggia. I depositi delle colate detritiche forniranno materiale per il trasporto solido del Tanaro a valle, con riattivazioni ad ogni impulso di piena che dureranno per un lungo periodo.



Figura 3. Frana in territorio ligure lungo il Rio Punta S. Maria affluente di destra del Torrente Bavera (estratto da Google Earth)

Sul versante piemontese l'abitato di Piaggia viene investito da colate fangose generate da frane rotazionali delle quali una coinvolge alcuni edifici e termina nel sagrato della chiesa.

Ma è a partire dal 25 novembre, quando le piogge iniziano a ridursi e i torrenti lentamente tornano alla normalità, che compaiono gli effetti più preoccupanti. A Piaggia una frattura, alta circa 50 cm, delimita un settore di versante vasto circa un ettaro a monte della frazione. Alcune case al piede appaiono danneggiate per la spinta del versante retrostante. In seguito la frana incipiente, ai cui estremi si sono verificate le due frane minori rotazionali con evoluzione in colata (quindi con probabile sfogo della sovrappressione idraulica innescata dalle piogge nel versante), non avrà ulteriori evoluzioni.



Figura 4. La principale colata che ha investito l'abitato di Piaggia

Nel corso del biennio 2017-2018 sono stati necessari interventi che hanno comportato la demolizione degli edifici alla base e la realizzazione di strutture di sostegno e drenaggio. Nel breve periodo il paese viene sgomberato e la sede comunale di Briga Alta, che è situata proprio a Piaggia, viene trasferita a Ormea.

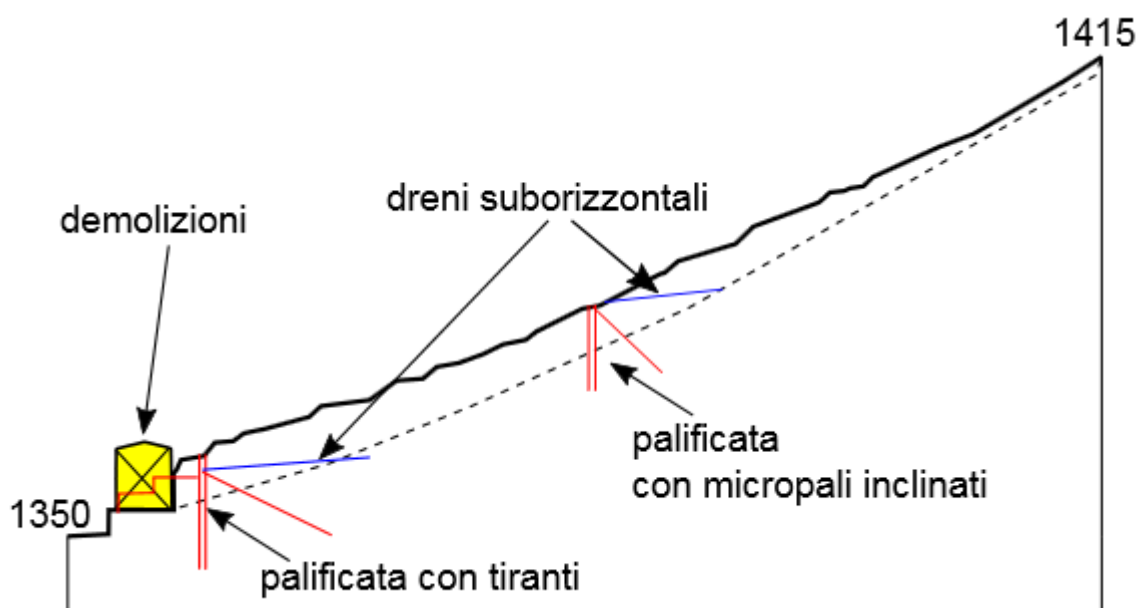


Figura 5. Schema degli interventi sul versante a monte dell'abitato di Piaggia

Sul versante ligure la frazione Monesi di Mendatica appare la più colpita: alcuni edifici e la strada provinciale (che porta alla frazione Monesi di Triora, stazione sciistica, e, attraversato il Bavera, in Piemonte) iniziano a deformarsi vistosamente. Nel giro di alcune ore, nella giornata del 25, la strada, già oggetto di lavori per precedenti cedimenti della carreggiata, si frattura, rigonfia e cede verso il fondovalle, all'incirca in direzione della sottostante frana che il giorno prima aveva colpito la centrale idroelettrica. A seguire, le opere di sistemazione del versante (palificate) a monte della strada, sotto ad alcuni edifici già vistosamente deformati, collassano completamente. Gli edifici sul ciglio della frana si inclinano e franeranno uno alla volta nel corso dell'inverno.



Figura 6. Il settore più colpito dell'abitato di Monesi di Mendatica

A valle la frana si amplia e ingloba la frana iniziale della centrale, spingendo l'edificio fino al fondovalle e sbarrando parzialmente la valle del Tanarello stessa. Ma non è soltanto questo il settore di abitato colpito: vistose fratture sono presenti nel piazzale ad est del paese, come anche in prossimità del bivio per Monesi di Triora / Piaggia. Nei giorni seguenti si potrà seguire la preoccupante frattura che contorna l'intero dissesto: una spaccatura con profondità di 1-2 m che delimita un'area di circa 40 ettari. Tutte le case di Monesi appaiono danneggiate, ad eccezione delle due agli estremi est e ovest dell'abitato, esterne al movimento franoso; anche se apparentemente integri, gli edifici presentano danni più o meno gravi alle fondazioni.

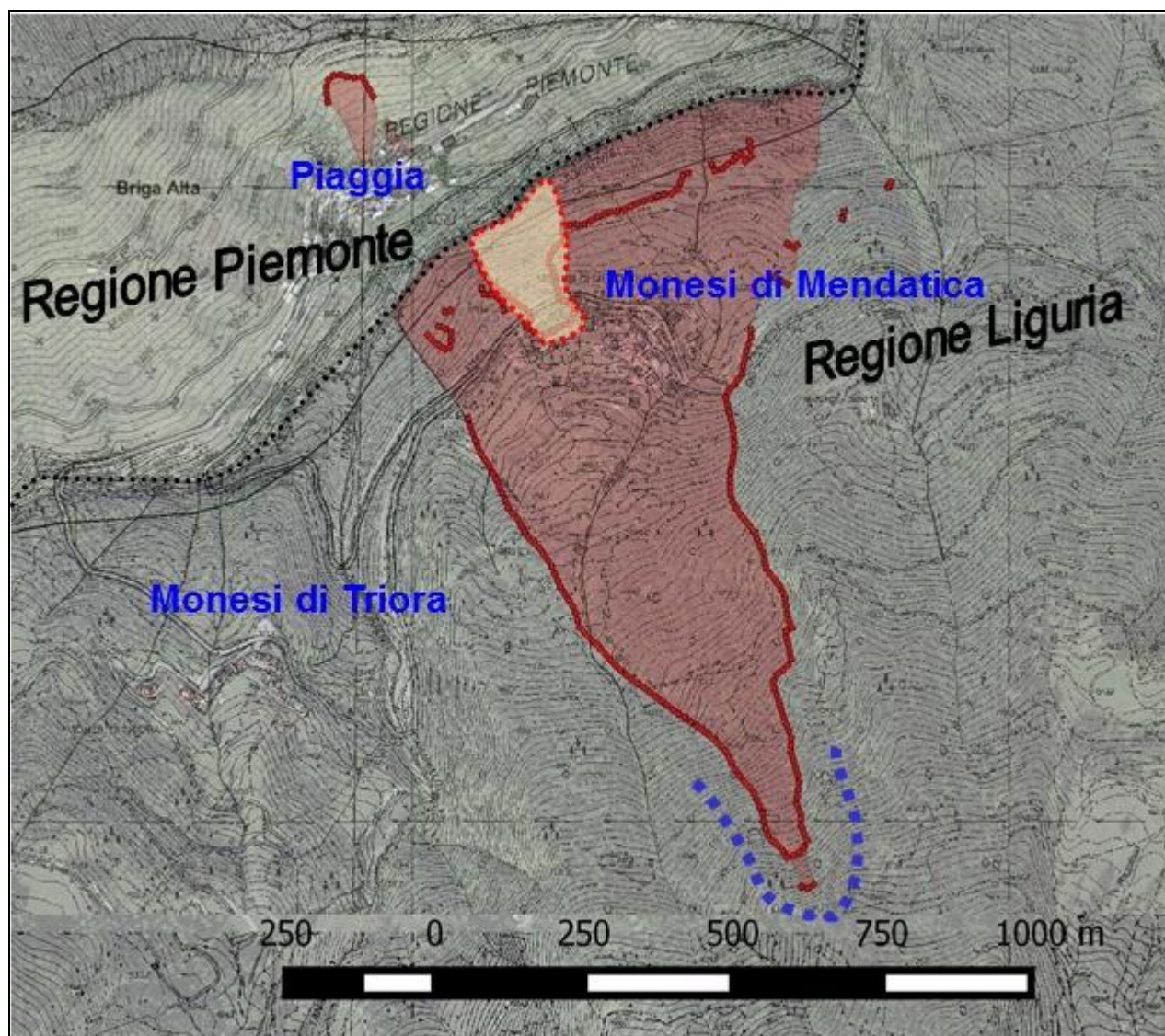


Figura 7. La grande frana di Monesi sul versante ligure e la frana frontale (retino giallo); perimetrazioni realizzate mediante GPS da Arpa Piemonte, Regione Piemonte e Studio Macciò di Albenga

Il paese viene evacuato; Monesi di Triora resta raggiungibile soltanto dal Piemonte ma nei mesi a seguire la stazione sciistica sarà completamente isolata per la chiusura anche della strada più alta, per problemi al viadotto dovuti a movimenti del versante sul lato ligure, progressi e aggravati dall'evento alluvionale.

La frana di Monesi di Mendatica ricalca l'andamento di un preesistente antico dissesto franoso (probabile scivolamento in roccia) e le sue dimensioni sono dell'ordine dei $12-15 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (stima basata su sondaggi eseguiti posteriormente all'evento: oltre 50 m di deposito in corrispondenza dell'abitato).

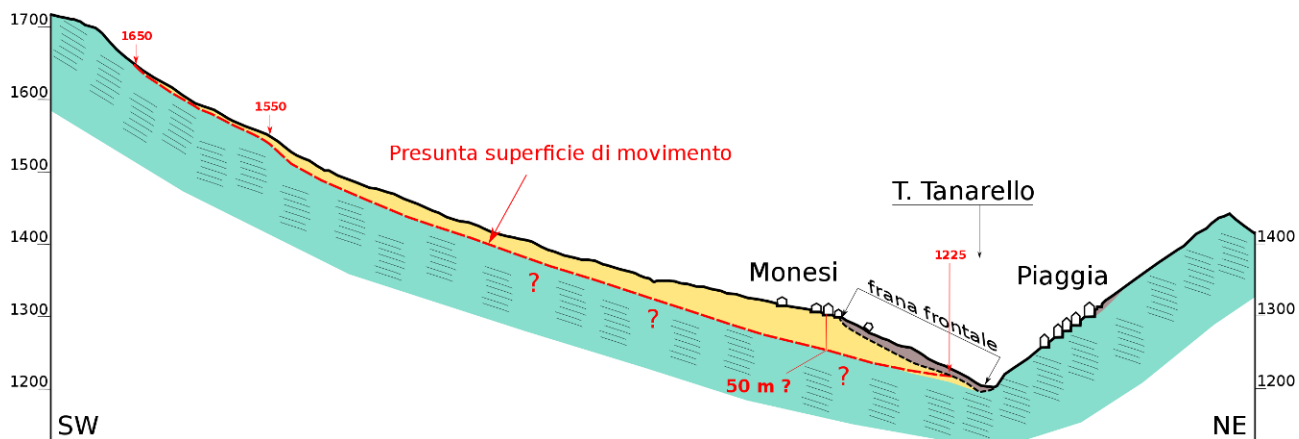


Figura 8. Sezione longitudinale della frana di Monesi

L'evoluzione della frana preoccupa anche il territorio piemontese per le probabili conseguenze relative al suo collasso, sia direttamente per l'abitato di Piaggia, che è situato sul versante opposto, sia per il bacino del Tanaro e i paesi a valle. Nei mesi successivi all'evento la frana è stata monitorata per un breve periodo tramite stazione radar GB-SAR dal CNR Irpi (Geohazard Monitoring Group di Torino). I monitoraggi hanno rilevato spostamenti discreti (cm/giorno) all'interno dell'area di frana frontale (ammasso della frana che ha colpito gli edifici e la SP) mentre al contorno gli spostamenti rimangono dell'ordine del mm, coerenti con il monitoraggio topografico effettuato dal comune di Mendatica sugli edifici.

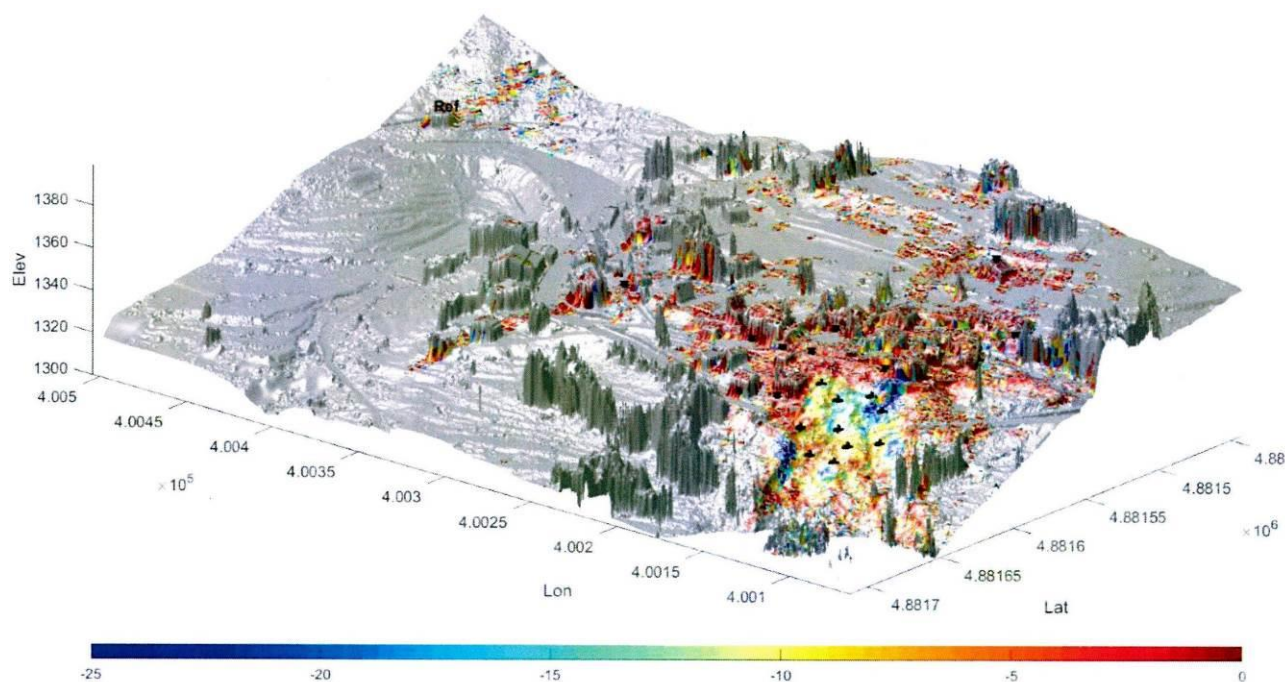


Figura 9. Dal report CNR Irpi di marzo 2017. Misure con GB-SAR che rilevano spostamenti fino a 15 cm nella frana frontale, in particolare nei giorni piovosi, e solo millimetrici negli edifici retrostanti

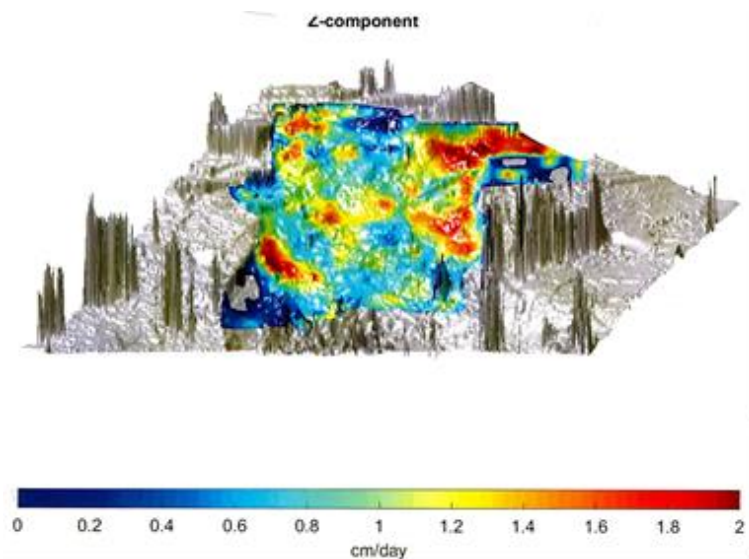


Figura 10. Report CNR Irpi di aprile 2017. Misure VBMS (Vision-Based Monitoring System) su frana frontale mettono in evidenza spostamenti nei settori più ripidi con velocità V_z giornaliera fino a 2 cm\giorno; spostamenti dell'ordine dell'errore strumentale in altri settori

A partire dal mese di giugno 2017 Arpa Piemonte ha messo in atto un sistema di monitoraggio topografico GPS costituito da 15 capisaldi distribuiti geograficamente nel modo seguente: 3 in territorio comunale di Briga Alta (CN), a monte della borgata Piaggia, quali capisaldi di controllo (capisaldi A, B e C), 10 in territorio comunale di Mendatica (IM), sul fenomeno franoso di Monesi (capisaldi 3÷12), 2 in territorio comunale di Triora (IM), sulla spalla destra del ponte sul T. Tanarello (capisaldi 1 e 2).

I risultati delle misure a distanza di circa 1 anno rispetto alla misura di origine hanno rilevato movimenti compresi tra circa 1,5 e 5 centimetri per i capisaldi 1, 2, 4, 5, 6 e 7.



Figura 11. Ubicazione dei capisaldi GPS installati da Arpa Piemonte



Figura 12. Violenta attività torrentizia lungo il Bavera al confine ligure-piemontese; fotografia scattata da Piersandro Airone il 24 novembre 2016



Figura 13. Violenta attività torrentizia lungo il Bavera al confine ligure-piemontese; fotografia scattata da Piersandro Airone il 24 novembre 2016



Figura 14. Versante destro del Torrente Tanarello, frana avvenuta nella notte tra il 23 e il 24 novembre coinvolgente la centrale idroelettrica di Monesi; fotografia scattata da Piersandro Airone il 24 novembre 2016



Figura 15. Settore di coronamento della grande frana di Monesi; fotografia scattata il 9 dicembre 2016



Figura 16. Primi effetti sull'abitato di Monesi; fotografia scattata da Piersandro Airone il 25 novembre 2016



Figura 17. Settore frontale della frana di Monesi con evidenza della distruzione della strada e delle opere di sostegno al versante; fotografia scattata il 29 novembre 2016



Figura 18. Perdita totale della verticalità degli edifici posti al coronamento della frana frontale di Monesi; fotografia scattata il 9 dicembre 2016



Figura 19. Ulteriore evoluzione della frana frontale di Monesi con avvenuto crollo degli edifici più colpiti; fotografia scattata il 3 marzo 2017



Figura 20. Edificio pesantemente deformato dalla spinta a tergo della frana di Piaggia; fotografia scattata il 29 novembre 2016



Figura 21. Effetti della principale colata all'interno dell'abitato di Piaggia; fotografia scattata il 9 dicembre 2016

L'AZIONE REGIONALE DI PROTEZIONE CIVILE

Viene descritta l'azione regionale di protezione civile durante l'evento del novembre 2016 a fronte di un inquadramento generale sul modello di intervento con il quale si affrontano, con un approccio ripetibile ed uniforme, le emergenze alluvionali.

Innanzitutto è necessario precisare che la Protezione Civile è una funzione pubblica alla quale concorrono molti soggetti delle Amministrazioni¹ e delle Strutture Operative². In corso d'evento questi soggetti attivano i Centri Operativi e le Sale Operative per seguire l'evoluzione della situazione, indirizzare gli interventi e stabilire le priorità. Sono una ventina le funzioni necessarie per affrontare una emergenza di protezione civile in maniera compiuta: ciascun soggetto esercita una o più funzioni e ciascuna funzione è esercitata da uno o più soggetti. Il concorso multifunzionale di una grande pluralità di soggetti ciascuno con il proprio compito ed il proprio ambito d'intervento, richiede coordinamento, flessibilità e mutua collaborazione. Quest'ultimo aspetto richiama l'importante principio della sussidiarietà, per il quale, qualora un soggetto non riesca ad affrontare efficacemente le criticità che ha di fronte perché non dispone di risorse sufficienti ed adeguate, le chiede ai soggetti sovra-ordinati, che le rendono disponibili per aumentare, localmente, la capacità di risposta del sistema.

Tra i soggetti del sistema di Protezione Civile c'è la Regione Piemonte, che si avvale di una Sala Operativa, di cinque Presidi territoriali regionali distribuiti sul territorio con materiali mezzi ed attrezzature prontamente impiegabili in corso d'evento (ad integrazione delle risorse delle amministrazioni locali) e di un sistema di telecomunicazioni d'emergenza rappresentato principalmente dalla rete radio EMERCOMNET; il livello regionale può contare inoltre sul fondamentale apporto del Volontariato di Protezione Civile³.

La Sala Operativa di Protezione Civile, struttura costituita da locali, servizi, apparecchiature tecniche e personale specializzato, è organizzata secondo il Modello Augustus che prevede una gestione delle attività per funzioni di supporto. La Regione Piemonte esercita 6 delle 20 funzioni previste in sede nazionale per la gestione delle emergenze: Funzione Tecnico-scientifica (F1), Funzione Volontariato (F4), Funzione Materiali e mezzi (F5), Funzione Telecomunicazioni (F7) e Funzione Comunicazione (F3), con il coordinamento della Funzione F0.

In eventi prevedibili con evoluzione graduale, il sistema di Protezione civile si attiva per fasi successive che prevedono un crescente impegno operativo, denominate "Attenzione", "Preallarme", "Allarme", "Emergenza" e "post-Emergenza". A ciascuna fase competono determinate tipologie di azioni che, in linea generale trovano la seguente corrispondenza: in "Attenzione" la verifica della prontezza operativa, in "Preallarme" l'attivazione dei Centri Operativi e della sorveglianza territoriale continuativa, in "Allarme" l'adozione di misure preventive di salvaguardia della popolazione, in "Emergenza" lo svolgimento di attività di soccorso e nel "post-Emergenza" quelle di ripristino di condizioni ordinarie.

È all'interno del contesto appena tracciato che il Settore Protezione Civile della Regione Piemonte ha fornito il proprio contributo durante l'evento alluvionale del novembre 2016.

A partire dalla previsione di condizioni meteorologiche avverse formulata dal Centro Funzionale martedì 22, con Bollettino di Allerta che prefigurava un livello di criticità 2 (allerta arancione) su buona parte del territorio regionale, aumentato nei giorni seguenti al livello 3 (allerta rossa), sono state allertate tutte le componenti del sistema, sono stati attivati i Presidi territoriali regionali ed è stata aperta la Sala Operativa regionale a partire dalle ore 07.00 del giorno seguente (mercoledì 23).

¹ Ministeri, Regioni, Province, Comuni, Enti pubblici e, in aggiunta, Istituti e Gruppi di ricerca scientifica Istituzioni e Organizzazioni anche private, Ordini e Collegi Professionali.

² Vigili del Fuoco, Forze Armate, Forze dell'Ordine, Corpo Forestale, Soccorso Alpino, Croce Rossa, Servizio sanitario nazionale, Associazioni di Volontariato civile

³ La Regione Piemonte ha costituito da alcuni anni il Coordinamento Regionale del volontariato, articolato in otto livelli provinciali che possono complessivamente contare su 15000 volontari di associazioni e gruppi comunali convenzionati.

Sino a sabato 26 è stata mantenuta una turnazione del personale “h24” su 3 turni, al fine di garantire una costante presenza di 5 persone per turno, per poi passare ad un “h12” nel “post-Emergenza” (sino a mercoledì 7 dicembre), con 3 persone per turno su 2 turni e servizio di reperibilità notturna e festiva.

L'evento ha pesantemente coinvolto la parte meridionale ed occidentale della regione, interessando dapprima, nelle giornate del 22 e 23 novembre il basso cuneese, l'alessandrino e l'astigiano e poi, a partire dal giorno 24, il settore alpino occidentale tra le valli di Lanzo e Po ed il cuneese sud-occidentale, determinando generalizzate interruzioni della viabilità e dei servizi essenziali alla popolazione (fornitura di corrente elettrica, acqua potabile, gas domestico), l'evacuazione cautelativa di 1477⁴ persone nel corso dell'intero evento e, purtroppo, anche la morte di una persona nel comune di Perosa Argentina (TO). Il carattere particolarmente critico dell'evento si comprende anche dal dato riferibile al 28 novembre, quando, a sei giorni di distanza dalla fase iniziale, ancora 340 persone risultavano evacuate e 343 isolate.

Numerose segnalazioni di dissesti e di allagamenti sono pervenute alla Sala Operativa regionale a partire dalla mattinata di mercoledì 23, sia con richieste preventive tese, perlopiù, a garantire il monitoraggio visivo di punti critici del territorio e attività di presidio di punti sottoposti a misure cautelari di inibizione al transito, sia con richieste di soccorso per concorrere ad attività di evacuazione della popolazione e per lo svolgimento di attività di pompaggio di acque di inondazione. Nel descrivere l'azioni regionale di protezione civile in corso d'evento, verranno descritti quattro casi rilevanti che hanno determinato il coinvolgimento del livello regionale. Si tratta dell'alto Tanaro a monte di Ceva, di Perosa Argentina, di Moncalieri e del Tanaro ad Alessandria.

Le maggiori criticità nella provincia di Cuneo si sono verificate principalmente lungo l'asta del Tanaro con numerosi allagamenti e fenomeni erosivi nei comuni di fondovalle e frane lungo la viabilità secondaria e primaria, che hanno avuto come effetto principale l'isolamento di alcuni centri abitati, anche in conseguenza della chiusura cautelativa dei ponti sul Tanaro. Tale situazione ha reso necessarie, dapprima, attività di sorveglianza del territorio soprattutto sui corsi d'acqua per verificare le condizioni di sicurezza dei ponti in corso d'evento e poi, azioni preventive di salvaguardia della popolazione e, ad emergenza conclamata, di soccorso tecnico urgente nonché di ripristino della viabilità e dei servizi essenziali. In alcuni casi le forze del volontariato hanno operato al fianco delle forze dell'ordine per attività di evacuazione di edifici considerati a rischio d'inondazione o di frane. Da sabato 26, in corrispondenza della coda dell'evento, le attività hanno riguardato principalmente la rimozione detriti, il lavaggio di capannoni industriali ed agricoli ed il ripristino della viabilità.

Analoghe attività di protezione civile si sono rese necessarie nella parte montana tra Cuneese e Torinese, nei bacini del Po, Pellice e Chisone, interessati da gravi fenomeni di versante ed attività torrentizia. In particolare, nel Comune di Perosa Argentina, da domenica 27, a fronte dell'evento, il COM di Pinerolo è stato supportato da squadre di volontariato del coordinamento Regionale provenienti da Vercelli, attrezzate con macchine movimento terra e trasporto per la rimozione di detriti e vegetazione (esempio, questo, di azioni intraprese in regime di sussidiarietà che hanno visto collaborare squadre di volontariato provenienti da altri punti del territorio regionale).

Nella giornata del 25 novembre il progressivo innalzamento dei livelli di piena dei corsi d'acqua dell'area di pianura a sud di Torino, ha determinato numerose situazioni di criticità rendendo necessaria in alcuni casi l'evacuazione preventiva della popolazione. In particolare, nel comune di Moncalieri, presso la confluenza del torrente Chisola nel Fiume Po, si sono allagate le frazioni Tetti Piatti, Tagliaferro e parte della frazione Barauda, rendendo necessaria l'evacuazione, con l'impiego di mezzi anfibi e di elicottero dei Vigili del Fuoco, di circa 200 persone, di cui 40 ospitate dal Comune in strutture d'accoglienza: nella serata di sabato 26 sono stati forniti al Comune di

⁴ Il dato, così come gli altri citati nell'articolo, si riferisce a quanto segnalato alla Sala Operativa regionale in corso d'evento dalle altre amministrazioni, enti e strutture operative. Sono risultate complessivamente 400 circa le segnalazioni pervenute, riferibili a circa 140 comuni del territorio regionale.

Moncalieri 100 letti per accogliere i cittadini evacuati dalle borgate allagate. La situazione determinatasi ha richiesto anche lo svolgimento di attività di pompaggio e rimozione di fango e detriti dalle abitazioni, la ripulitura di strade e cortili, il ripristino dell'agibilità di tre complessi scolastici e della transitabilità di un sottopasso, anche in questo caso, con coinvolgimento in regime di sussidiarietà di squadre di volontariato esterne all'area di intervento.

A monte del ponte Meier sul Tanaro ad Alessandria, in corrispondenza di una discontinuità del muro spondale in destra orografica, si è messa in opera una barriera anti-inondazione temporanea la sera di giovedì 24, prima del transito dell'onda di piena, che ha consentito di contenere il deflusso del corso d'acqua durante l'evento. È questo il caso in cui di fronte ad una potenziale criticità legata alla presenza di un'opera in via di completamento, l'azione di protezione civile è da intendersi come misura "strutturale temporanea". Altrettanto evidente risulta la relazione di dipendenza tra l'opera strutturale e l'azione di salvaguardia in quanto là dove l'opera non può rispondere efficacemente, è necessario, in via cautelativa, proteggere la popolazione con azioni preventive da prevedere nella pianificazione locale.

Il picco dell'onda di piena del Tanaro ad Alessandria è transitato nella notte tra venerdì 25 e sabato 26, lambendo la sommità del muro spondale in destra orografica e determinando condizioni di pericolo che hanno richiesto l'adozione di misure preventive di messa in sicurezza della popolazione nei quartieri Orti e Piscina, con invito direttamente rivolto alla popolazione di allontanare i veicoli parcheggiati in aree a rischio e di non occupare i piani bassi delle abitazioni. L'ondata di piena è stata comunque contenuta nelle arginature e non si sono verificati danni particolarmente rilevanti nell'area urbana, ma le azioni di salvaguardia sono scattate ugualmente perché l'esposizione al rischio risultava comunque troppo alta. Si stima siano state messe in sicurezza, perlopiù con evacuazioni "di tipo verticale", 7000 persone circa. In questo caso appare evidente l'importanza della previsione idraulica nell'adozione di misure preventive di salvaguardia della popolazione e, conseguentemente, l'importanza di una accurata pianificazione di misure preventive in contesti cittadini caratterizzati dalla presenza di alte densità di popolazione.

LA STRUTTURA ORGANIZZATIVA DELLA REGIONE PIEMONTE PER I RIPRISTINI CONSEGUENTI A CALAMITÀ NATURALE

Dichiarazione di stato di emergenza

Dal punto di vista amministrativo, gli eventi alluvionali sono classificati ai sensi dell'art. 2 della Legge n. 225 del 24 febbraio 1992 "Istituzione del Servizio Nazionale della Protezione Civile" in tre diverse tipologie secondo il livello di gravità ed estensione:

- a) eventi naturali o connessi con l'attività dell'uomo che possono essere fronteggiati mediante interventi attuabili dai singoli enti e amministrazioni competenti in via ordinaria;
- b) eventi naturali o connessi con l'attività dell'uomo che per loro natura ed estensione comportano l'intervento coordinato di più enti o amministrazioni competenti in via ordinaria;
- c) calamità naturali o connesse con l'attività dell'uomo che in ragione della loro intensità ed estensione debbono, con immediatezza d'intervento, essere fronteggiate con mezzi e poteri straordinari da impiegare durante limitati e predefiniti periodi di tempo.

Per esempio, eventi temporaleschi intensi e localizzati, nevicate straordinarie, trombe d'aria che coinvolgono poche decine di Comuni non comportano la richiesta di stato di emergenza. In questi casi le attività di protezione civile vengono svolte a livello locale partendo dagli Amministratori comunali e provinciali (evento di tipo A) oppure, se l'evento coinvolge il territorio di una o più province, dalla Regione Piemonte (evento di tipo B). L'evento alluvionale del novembre 2016, preannunciato con allerta dal Settore Regionale Protezione Civile, si è invece prefigurato fin da subito, per estensione e per intensità, come evento di tipo C determinando la richiesta di stato di emergenza che è stata avanzata dal Presidente della Regione Piemonte al Dipartimento della Protezione Civile Nazionale (DPCN) il 25 novembre 2016.

La Regione Piemonte, per far fronte alle emergenze collegate agli eventi alluvionali, impegna la *Direzione Opere pubbliche, Difesa del suolo, Montagna, Foreste, Protezione Civile Trasporti e Logistica* che ripartisce tra i suoi Settori le attività di cui all'articolo 3 della L. n. 225/92 e s.m.i. (d'ora in poi Legge). Le attività collegate con tali emergenze sono:

- il soccorso, che consiste nell'attuazione di interventi, integrati e coordinati, diretti ad assicurare alle popolazioni colpite ogni forma di prima assistenza;
- il superamento dell'emergenza, realizzazione di interventi di somma urgenza e urgenti coordinati dalla Regione Piemonte per la rimozione di ostacoli alla ripresa delle normali condizioni di vita.

La gestione di un evento alluvionale, comporta dapprima l'attivazione del Settore Protezione Civile che, in condizioni normali, si occupa delle attività di previsione e di prevenzione di cui ai commi 2, 3 dell'articolo 3 della Legge 225/92, mentre durante un evento eccezionale si attiva per espletare in modo coordinato con le Prefetture, i COM e i COC l'attività di soccorso alla popolazione di cui al comma 4 dell'articolo 3. Tali attività vengono dettagliate anche dalla L.R. 14/4/2003, n. 7 "Disposizioni in materia di protezione civile".

Durante questa fase di prima emergenza viene attivata la Sala Unità di Crisi dal Settore Protezione Civile per coordinare le azioni tra Enti sovraordinati, Enti territoriali e altri soggetti e per ricevere informazioni. In Sala Unità di Crisi sono invitati a partecipare e a coadiuvare le azioni del Settore Protezione Civile anche i Settori Geologico e Infrastrutture e Pronto Intervento, che raccolgono le prime informazioni per la stesura del *Rapporto di Evento*. Contemporaneamente gli uffici Tecnici regionali dislocati sui territori interessati dall'evento partecipano alle riunioni delle prefetture e dei COM e contribuiscono con le loro conoscenze a supportare le decisioni a livello comunale. I sindaci dei Comuni, quali autorità di protezione civile, decidono in questa fase eventuali evacuazioni di persone in pericolo e assicurano loro vitto e alloggio confortevoli.

Viene quindi redatto il *Rapporto di Evento* in adempimento della Direttiva del P.C.M. del 26/10/2012, a cura dei Settori Geologico e Infrastrutture e Pronto Intervento con i contributi dei Settori Tecnici regionali coinvolti dall'evento, di Arpa Piemonte, dell'Agenzia Interregionale per il

Fiume Po, delle Province, delle Autorità d'Ambito territoriali e, in modo flessibile, di altri Enti o soggetti, secondo le situazioni che si prospettano. Tutti i rapporti di evento redatti in passato sono disponibili sul [sito della Regione Piemonte](#). Il *Rapporto di Evento* costituisce il documento cardine per ottenere la dichiarazione di stato di emergenza da parte del Consiglio dei Ministri e descrive le caratteristiche dell'evento ed i relativi effetti al suolo con l'obiettivo di circoscrivere l'evento tra le fattispecie previste nella lettera c), comma 1 dell'articolo 2 della L. n. 225/92. Solo in questo caso, infatti, l'evento potrà essere riconosciuto come stato di emergenza nazionale. Il procedimento amministrativo vuole che il DPCN, attraverso il sopralluogo di propri funzionari, verifichi l'effettiva consistenza dei danni anche con riferimento al *Rapporto di Evento*.

Per l'evento di novembre 2016, la dichiarazione di stato di emergenza è stata emessa il 16/12/2016 limitatamente agli eventi meteorologici verificatesi nei giorni 23 e 24/11/2016 nei territori della provincia di Cuneo e della Città Metropolitana di Torino. Con tale dichiarazione sono stati stanziati € 51.000.000,00 del fondo per le emergenze nazionali. Nonostante la dichiarazione fosse limitata ai territori di Cuneo e Torino, il successivo quadro dei rilievi e dei danni indicava come anche i comuni rivieraschi dei fiumi Bormida e Tanaro delle province di Alessandria e Asti fossero da includere nello stato di emergenza, soprattutto per le numerose aziende agricole e produttive coinvolte dagli allagamenti. Il nuovo *iter* procedimentale si è concluso con delibera del Consiglio dei Ministri del 20/01/2017, che ha esteso l'evento novembre 2016 anche ai territori di alcuni Comuni di Alessandria e Asti localizzati lungo le aste fluviali del Tanaro e del Bormida e stanziato ulteriori € 5.000.000,00.

Piano degli interventi e quadro del fabbisogno

I primi giorni a ridosso dell'evento, nella fase di prima emergenza, i Settori Tecnici regionali si sono recati sulle aree colpite e hanno svolto un ruolo di supporto tecnico alle decisioni dei Sindaci e dei tecnici comunali per la definizione razionale ed omogenea degli interventi di somma urgenza e primo censimento degli interventi urgenti. I danni ai privati e alle attività produttive sono stati gestiti direttamente dal Settore Infrastrutture e Pronto Intervento. Quest'ultimo si occupa anche della conduzione dei rapporti con gli altri soggetti coinvolti dall'evento come le Autorità di Ambito Territoriale, l'Agenzia Interregionale per il Fiume Po, le Province che conducono direttamente la ricognizione di propria competenza e forniscono il proprio quadro dei danni e le relazioni descrittive del caso.

Per il censimento dei danni, i Settori Tecnici regionali svolgono i sopralluoghi sulla base delle richieste dei Comuni colpiti dall'evento. Il censimento viene svolto indipendentemente dalla dichiarazione di stato di emergenza in virtù della L.R. 38 del 29/6/1978 "*Disciplina e organizzazione degli interventi in dipendenza di calamità naturali*", che viene utilizzata, come specificato all'articolo 1, per promuovere interventi e realizzare opere di soccorso e ripristino a seguito di calamità naturali. I funzionari regionali definiscono, in contraddittorio con i tecnici comunali, le opere più idonee per fronteggiare il danno, sia economicamente che in termini di efficacia ed efficienza nel tempo.

I sopralluoghi per i danni occorsi su beni non di competenza comunale vengono condotti dagli Enti o soggetti competenti; i danni sulle strade provinciali sono quindi censiti dai tecnici delle Province e della Città Metropolitana di Torino; i danni sui corsi d'acqua di competenza dell'Agenzia Interregionale per il fiume Po (AIPO) sono censiti dai tecnici dell'Agenzia stessa; per le Autorità d'Ambito territoriale sono i tecnici dei gestori dei servizi idrici integrati a svolgere i sopralluoghi.

Il censimento degli interventi per il ripristino dei danni confluisce al Settore Infrastrutture e Pronto Intervento che si occupa di redigere il quadro del fabbisogno che contiene tutti gli interventi censiti e di predisporre i programmi di intervento con le risorse a disposizione.

Il prospetto riassuntivo del Quadro del Fabbisogno dell'evento novembre 2016 per la provincia di Cuneo e la Città Metropolitana di Torino è il seguente (importi in €):

	quadro del fabbisogno							
	spese per soccorso ed assistenza alla popolazione (lett. a)	interventi di somma urgenza: ripristino funzionalità servizi pubblici e delle infrastrutture di reti strategiche (lett. b)	interventi di riduzione del rischio residuo strettamente connesso all'evento; costo previsto (lett. c)	ripristino delle strutture e delle infrastrutture pubbliche danneggiate - stima dei fabbisogni (lett. d)	Danni ai privati in provincia di cuneo	Danni ai privati in città metropolitana di Torino	Danni alle attività produttive in provincia di Cuneo	Danni alle attività produttive in città metropolitana di Torino
Autonoma sistemazione	615.990,21	0,00	0,00	0,00				
Danni alle infrastrutture comunali in provincia di Cuneo	0,00	8.938.706,47	55.693.901,40	27.395.698,40				
Danni alle infrastrutture comunali in provincia di Torino	2.440,00	8.487.697,07	52.106.282,50	15.747.000,00				
Danni alle infrastrutture provinciali in provincia di Cuneo	0,00	6.532.255,00	71.025.000,00	179.300.000,00				
Danni alle infrastrutture provinciali in provincia di Torino	0,00	3.717.535,19	27.488.622,00	42.793.000,00				
Danni agli acquedotti, fognature e depuratori in provincia di Cuneo (ATO)	0,00	8.293.350,00	11.160.000,00	0,00				
Danni agli acquedotti, fognature e depuratori in provincia di Torino (ATO)	0,00	2.404.000,00	0,00	0,00				
Danni alle arginature di competenza AIPo in provincia di Cuneo	0,00	140.000,00	3.080.000,00	70.450.000,00				
Danni alle arginature di competenza AIPo in provincia di Torino	0,00	366.948,38	20.560.000,00	3.120.000,00				
provincia di Imperia	0,00	0,00	30.500,00	0,00				
privati	0,00	0,00	0,00	0,00	12.588.013,66	28.480.508,20		
attività produttive	0,00	0,00	0,00	0,00			16.836.705,50	59.874.460,41
Totali parziali	618.430,21	38.880.492,11	241.144.305,90	338.805.698,40	12.588.013,66	28.480.508,20	16.836.705,50	59.874.460,41
Totali parziali		280.643.228,22		338.805.698,40		41.068.521,86		76.711.165,91
Totali parziali		619.448.926,62				117.779.687,77		
Totale				737.228.614,39				

Il Quadro del Fabbisogno per i territori lambiti dai fiumi Tanaro e Bormida nelle province di Alessandria e Asti è il seguente (importi in €):

	spese per soccorso ed assistenza alla popolazione (lett. a)	interventi di somma urgenza: ripristino funzionalità servizi pubblici e delle infrastrutture ed reti strategiche (lett. b)	interventi di riduzione del rischio residuo strettamente connesso all'evento (lett. c)
Comuni in provincia di Alessandria	100.000,00	364.076,52	827.853,25
Comuni in provinciadi Asti		141.968,75	2.301.243,86
Provincia di Alessandria		169.145,50	2.581.000,00
Provincia di Asti		143.615,05	2.035.000,00
AIPo		1.016.000,00	54.403.600,00
ATO-AT		606.500,00	1.270.000,00
ATO-AL		992.000,00	0,00
Totale	100.000,00	3.433.305,82	63.418.697,11
		66.952.002,93	

L'O.C.D.P.C. n. 430 del 10/1/2017 nomina il Presidente della Regione Piemonte quale Commissario Delegato per l'attuazione degli interventi e detta un insieme di regole. Per l'evento novembre 2016 sono stati approvati i seguenti programmi di interventi:

- D.D. n° 3867 del 23/12/2016 di importo complessivo di € 10.000.000,00 a valere su fondi regionali ex L.R. n° 38/78;
- Ordinanza commissariale (O.C.) n° 3/A18.000/430 del 22/03/2017 di approvazione del piano degli interventi nel territorio della provincia di Cuneo e della Città Metropolitana di Torino di importo di € 47.528.311,19;

- O.C. n° 4/A18.000/430 del 06/04/2017 di approvazione dei contributi per l'autonoma sistemazione in provincia di Cuneo e nella Città Metropolitana di Torino di importo di € 322.575,38;
- O.C. n° 5/A18.000/430 del 27/06/2017 modificata con ordinanza commissariale n° 7/A18.000/430 del 12/07/2017 di integrazione del Piano degli interventi di Cuneo e Torino di importo di € 3.122.984,08;
- O.C. n° 6/A18.000/430 del 27/06/2017 di approvazione del piano degli interventi nel territorio delle province di Alessandria e Asti di importo di € 4.816.725,75.

Le risorse sono state distribuite secondo il seguente prospetto (importi in €):

	D.D. n. 3867 del 23.12.2016	O.C. n. 3/A18.000/430 del 22/03/2017	O.C. n. 4/A18.000/430 del 06/04/2017	O.C. n. 5/A18.000/430 del 27/06/2017	O.C. n. 6/A18.000/430 del 27/06/2017
Comuni in provincia di Alessandria	649.668,42				435.979,00
Comuni in provinciadi Asti	364.480,00				1.202.743,86
Comuni in provincia di Cuneo	4.077.964,44	15.820.743,20	47.896,37	557.921,20	
Comune in provincia di Imperia		30.500,00			
Comuni in Città Metropolitana di Torino	3.789.522,06	12.095.186,91	274.679,01	221.062,88	
Provincia di Alessandria	135.000,00				450.000,00
Provincia di Asti	133.814,79				288.302,89
Provincia di Cuneo		6.312.255,00		220.000,00	
Città Metropolitana di Torino		4.315.395,79			
AIPO Alessandria					900.000,00
AIPO Asti					300.000,00
AIPO Cuneo		700.000,00			
AIPO Torino		910.000,00			
ATO-AL					697.500,00
ATO-AT					542.200,00
ATO-CN		5.402.100,00		1.404.000,00	
ATO-TO		1.323.700,00		720.000,00	
Altre province	849.550,29				
Totale	10.000.000,00	46.909.880,90	322.575,38	3.122.984,08	4.816.725,75
			65.172.166,11		

Il censimento dei danni comunali - EMETER

I Settori Tecnici regionali trasmettono il risultato del sopralluogo per il censimento dei danni tramite una procedura informatizzata denominata EMETER (*Emergenza Territorio*), attiva dal 2006, ove i dati possono essere assemblati, elaborati e visualizzati secondo le necessità. L'inserimento del dato presuppone la conoscenza della localizzazione geografica del danno, della relativa descrizione e dell'individuazione sommaria di un'opera che permetta la quantificazione economica. Gli interventi sono valutati economicamente in modo speditivo ma adeguato alla complessità e all'urgenza dei lavori, rimandando la quantificazione definitiva alla progettazione delle opere da parte di professionisti a cui i soggetti attuatori (comuni, province, AIPO, ATO ecc.) daranno l'incarico. La valutazione tiene conto dell'importo presunto dei lavori e degli oneri accessori in forma forfettaria (spese tecniche, spese generali, oneri fiscali).

La procedura EMETER prevede, in funzione dell'entità e dell'estensione dell'evento, due metodi di inserimento dei danni:

- 1) inserimento di danni/interventi collegati a eventi puntuali come per esempio scatenati da temporali localizzati, trombe d'aria per singolo Comune;
- 2) inserimento di danni/interventi di un evento areale che coinvolge più Comuni che presuppone la dichiarazione di stato di emergenza.

Nel caso 1) l'inserimento del singolo danno/intervento su EMETER richiede la creazione dell'evento puntuale a cui segue la descrizione e il computo dell'intervento ad esso collegato. I dati riportati consistono nella georeferenziazione dell'intervento, relazione descrittiva del danno e dell'intervento, foto, quadro economico, indicazione se l'intervento è di somma urgenza, urgente o definitivo e valutazione del rischio. Quest'ultimo è suddiviso in basso, medio, alto e molto alto secondo la formula matematica che lega la pericolosità, la vulnerabilità e il valore esposto.

Nel caso 2) è il Settore Infrastrutture e Pronto Intervento, che una volta individuate le aree più colpite dall'evento calamitoso, definisce gli *eventi areali*, uno per ogni provincia interessata. I funzionari dei Settori Tecnici decentrati sul territorio inseriscono i dati relativi agli interventi/danni collegandoli con l'areale creato e fornendo informazioni circa la localizzazione geografica, l'oggetto, breve descrizione del danno e dell'intervento, quantificazione economica dell'intervento, indicazione se i lavori sono di somma urgenza, urgenti o definitivi. I criteri che vengono adottati per il censimento dei danni sono riportati nella circolare esplicativa n° 3279 del 25.07.1978 della legge regionale n° 38/78 e nella D.G.R. 78-22992 del 3.11.1997.

La Figura 1 riporta la distribuzione delle segnalazioni EMETER compilate a seguito dell'evento alluvionale dell'autunno 2016.

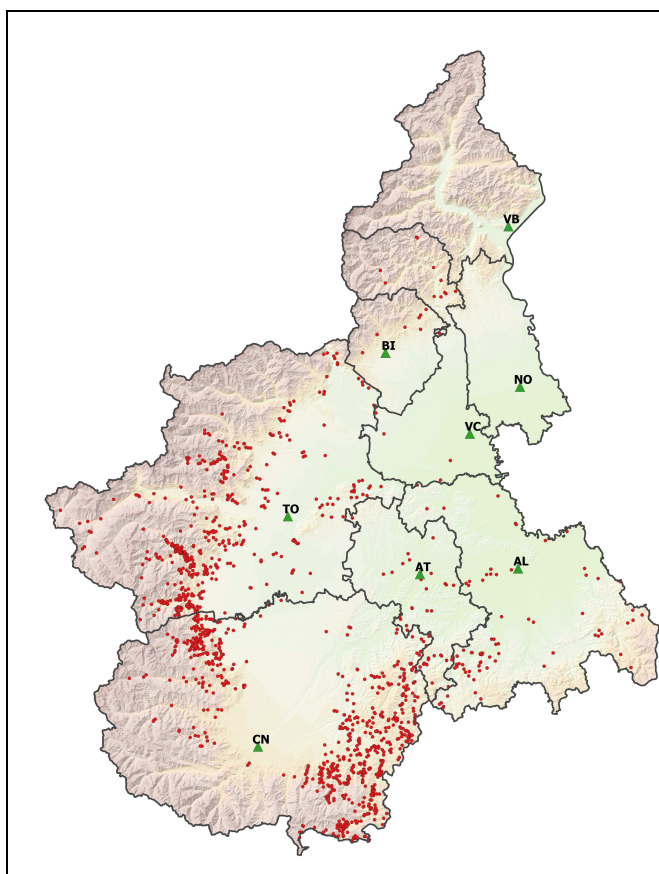


Figura 1. Segnalazioni EMETER relative all'evento dell'autunno 2016

Altre misure per il superamento delle emergenze

Oltre al censimento dei danni sul territorio, gli eventi alluvionali comportano anche svariati altri problemi da affrontare con razionalità fin dall'inizio.

Si verificano problemi igienici collegati con il danneggiamento di impianti di depurazione e di fognatura, nonché di industrie chimiche e farmaceutiche che richiedono interventi dell'ARPA per il pericolo di inquinamento.

Si hanno problemi collegati con l'assenza prolungata di elettricità per interruzioni di linee elettriche che vengono affrontati dalla TERNA.

Particolare attenzione viene posta al problema della raccolta e stoccaggio dei rifiuti, spesso ingombranti, come auto, attrezzature, elettrodomestici che vanno separati dai materiali legnosi e dai fanghi depositati lungo le strade dagli allagamenti. A questi si sommano i rifiuti delle ditte interessate dagli allagamenti. In questo caso vengono previste aree di stoccaggio separate per tipologia di rifiuto in attesa del conferimento in discarica. Spesso le aziende che si occupano della raccolta e del conferimento dei rifiuti debbono sostenere costi straordinari che, ove richiesto, vengono inseriti nel piano degli interventi. Sono stati presi accordi con la Direzione Regionale Ambiente per coordinare le azioni sul territorio in materia di rifiuti.

Il sovralluvionamento di materiale litoide dagli alvei e dai terreni allagati privati è stato affrontato con l'Ordinanza commissariale n. 2/A18.000/430 del 22/03/2017. In tale ordinanza si prevede che i Comuni interessati possano richiedere all'Autorità idraulica competente la possibilità di asportare il materiale in eccesso in deroga alla Direttiva dell'Autorità di Bacino del Po n. 9/2006 per la programmazione degli interventi di gestione dei sedimenti degli alvei dei corsi d'acqua per ripristinare l'officiosità dei corsi d'acqua e per realizzare interventi pubblici.

È anche possibile realizzare lungo gli alvei dei corsi d'acqua dei lavori a compenso di sistemazione delle sponde pari all'importo del materiale estratto valutato in base ai canoni demaniali vigenti.

Inoltre, il materiale legnoso depositato su terreni privati resta a disposizione dei proprietari medesimi, i quali possono anche effettuare interventi di taglio selettivo, di piante schiantate o irreparabilmente danneggiate.

I danni ai privati e alle attività produttive riportati nell'O.C.D.P.C. n. 430 del 10/1/2017 vengono censiti secondo dei modelli predisposti dal Dipartimento della Protezione civile. I privati cittadini e i titolari delle ditte compilano tali modelli e li consegnano ai Comuni, i quali compilano dei prospetti che rappresentano il quadro generale comunale dei danni ai privati e alle attività produttive. Il Settore Infrastrutture e pronto intervento raccoglie tutte le informazioni e le trasmette al Dipartimento Nazionale il quale decide le risorse da stanziare.

I danni all'agricoltura seguono le procedure dettate dal fondo di solidarietà nazionale di cui al decreto legislativo 29/3/2004, n° 102 ed il Settore regionale di riferimento è Infrastrutture, territorio rurale e calamità naturali in agricoltura della Direzione Agricoltura.

Per quanto riguarda i danni al patrimonio scolastico i dati pervenuti dai comuni e dalle province sono stati confrontati con quelli del Settore regionale Programmazione e monitoraggio strutture scolastiche della Direzione Coesione sociale.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La storia insegna come ciclicamente avvengano pesanti interferenze tra eventi naturali e attività antropiche. Le esperienze, recenti e meno recenti, indicano chiaramente come sia più logico nonché economico investire risorse per evitare situazioni di conflitto tra il territorio e le necessarie attività antropiche, piuttosto che intervenire sugli effetti delle catastrofi.

I danni derivanti dagli eventi alluvionali nella Regione Piemonte sono ingenti e spesso associati a scelte territoriali non compatibili. In prospettiva, rischiano di crescere fortemente, provocando una continua e ripetuta distruzione di ricchezza, solo in parte rinnovabile, a fronte di costi e sforzi superiori a quelli che sarebbero necessari per intraprendere la strada della prevenzione e del riassetto.

L'incremento dell'ammontare dei danni osservato negli ultimi anni e la rapida circolazione delle immagini dei devastanti eventi alluvionali che frequentemente colpiscono molti paesi hanno progressivamente aumentato l'interesse sociale per il problema della gestione del rischio idrogeologico.

L'esistenza di lacune conoscitive in merito a una precisa individuazione delle aree esposte a pericolo di evoluzione di processi calamitosi di natura geologica e geomorfologica non solo costituisce motivo di incertezza nella scelta degli interventi di sistemazione e difesa da attuare con priorità, ma risulta altresì condizionante negli studi di pianificazione territoriale dedicati ad espansioni urbanistiche e a nuove proposte localizzative.

Ogni azione di prevenzione dei rischi naturali presuppone infatti una approfondita conoscenza del territorio e parte da una capillare raccolta di notizie e dati inerenti i diversi processi di modellamento dell'ambiente naturale. Il riconoscimento della tipologia di tali processi, dei loro meccanismi evolutivi, della frequenza con cui questi si attivano, nonché della loro distribuzione temporale permettono di individuare i settori più fragili del territorio.

I processi e i danni associati ad alcuni eventi alluvionali, quale quello dell'autunno 2016, evidenziano inoltre alcune carenze nei quadri conoscitivi e pianificatori pregressi. La sistematica raccolta dei dati relativi a ogni evento alluvionale è quindi requisito essenziale per integrare/modificare il quadro conoscitivo esistente e per guidare le scelte successive

La presente pubblicazione persegue, appunto, tali finalità e si propone di documentare l'evento alluvionale dell'autunno 2016 in Piemonte al fine di evitare la dispersione delle informazioni e di rendere le stesse disponibili per le attività di prevenzione e pianificazione.

Si ritiene infine importante sottolineare come il documento rappresenti il sinergico prodotto dei lavori condotti, ciascuno per gli aspetti di propria competenza, dagli uffici tecnici della Regione Piemonte, da Arpa Piemonte e dal CNR-Irpi.

COORDINAMENTO

Arpa Piemonte

Testo redatto con i contributi di:

Arpa Piemonte

Dipartimento Rischi Naturali ed Ambientali

Secondo Barbero, Renzo Bechini, Daniele Bormioli, Roberto Cremonini, Mattia Faletto, Claudia Giampani, Chiara Girelli, Mariella Graziadei, Luca Lanteri, Pierluigi Lanza, Nicola Loglisci, Margherita Machiorlatti, Salvatore Martorina, Giuseppina Moletta, Renata Pelosini, Elena Pensi, Rocco Pispico, Giacomo Re Fiorentin, Alessio Salandin, Erika Solero, Mauro Tararbra, Davide Tiranti, Davide Viglietti, Milena Zaccagnino

Regione Piemonte

Direzione Opere pubbliche, Difesa suolo, Montagna, Foreste, Protezione civile. Trasporti e Logistica

Gianfranca Bellardone, Giorgio Gaido, Marcello Goldini, Davide Guazzotti, Vittorio Giraud, Sabrina Mantovani, Luca Mensio, Carlo Piccini, Chiara Silvestro, Paolo Tonanzi, Carlo Troisi, Marina Zerbato

Si ringraziano:

Fabio Luino, Laura Turconi del CNR-IRPI per la partecipazione alle attività di rilevamento dei processi e per la messa in condivisione delle informazioni e dei dati, Domenico Tropeano per i rilievi sul Po.

e per il materiale fornito:

Comune di Perosa Argentina, ufficio tecnico comunale Enrico Casorzo, **Comune di Moretta** Studio ProGea Marco Novo - aree allagate e danni subiti; **Comune di Casalgrasso** ufficio tecnico comunale Mauro Mastroianni - foto dell'evento; **Comune di Pancalieri** Protezione civile comunale - aree allagate nel concentrico; **Comune di Villafranca Piemonte** ufficio tecnico Ivo Allasia; **Comune di Lombriasco** Sindaco Marco Andreoli - foto evento; **Comune di Carmagnola** - protezione civile Emilio Fumero, Mario Cordero - mappa evento; **Comune di La Loggia** - Daniela Fabbri, Stefano Massaro; **Associazione i Falchi di Daffi** per foto aeree e video; **Comune di Carignano** - Tiziano Argentero - foto; **Aldo Acquarone** per le immagini e le informazioni fornite sui processi che hanno coinvolto l'alta Valle Tanaro; **Giuseppe Galliano** per il contributo sulla dinamica del Fiume Tanaro nell'abitato di Ceva; **Vittorio Vezzo** e **Roberto Macciò** per il materiale e i contributi forniti riguardo le frane di Piaggia e Monesi; **Mauro Olivotti** per aver reso disponibili le riprese aeree effettuate in occasione dell'evento, supporto preziosissimo per la realizzazione delle cartografie e per la comprensione delle dinamiche di piena del Fiume Bormida.

Immagine di copertina: **Aldo Acquarone**

Torino, novembre 2018