

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.

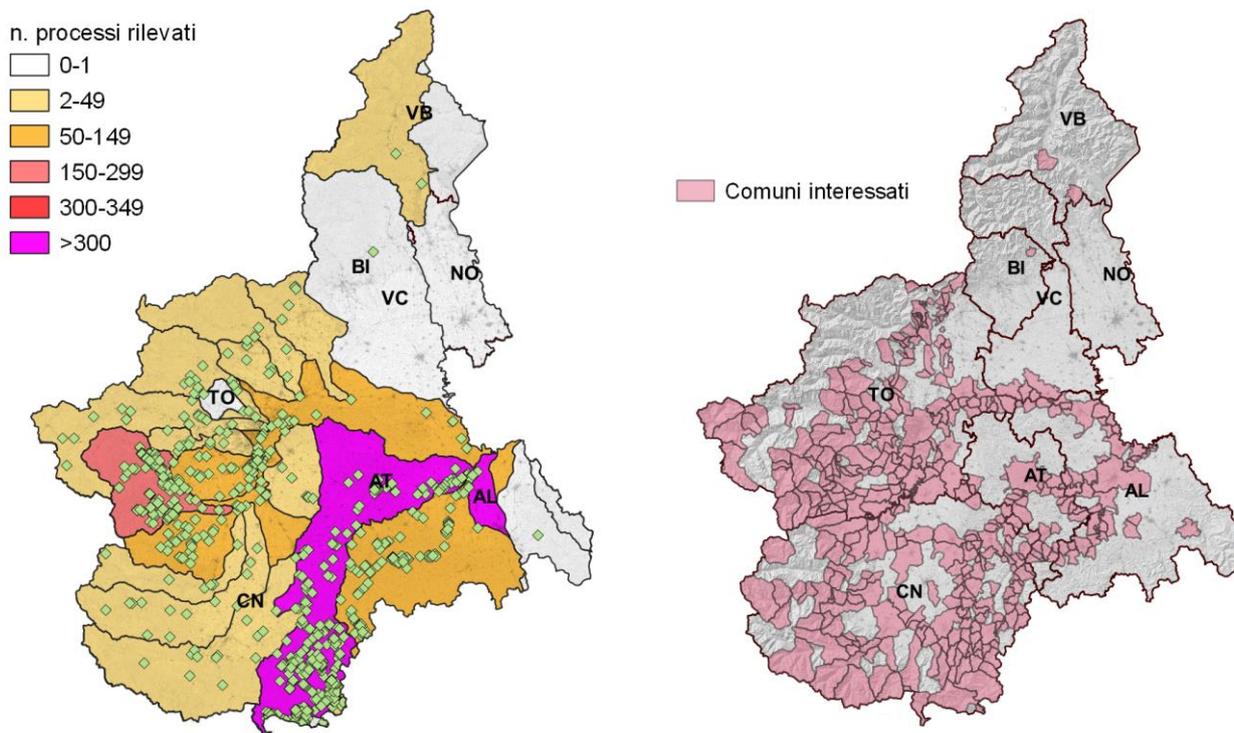


Figura 1. Ubicazione e distribuzione territoriale dei fenomeni più significativi, a sinistra suddivisione per bacino, a destra indicazioni dei comuni interessati

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.

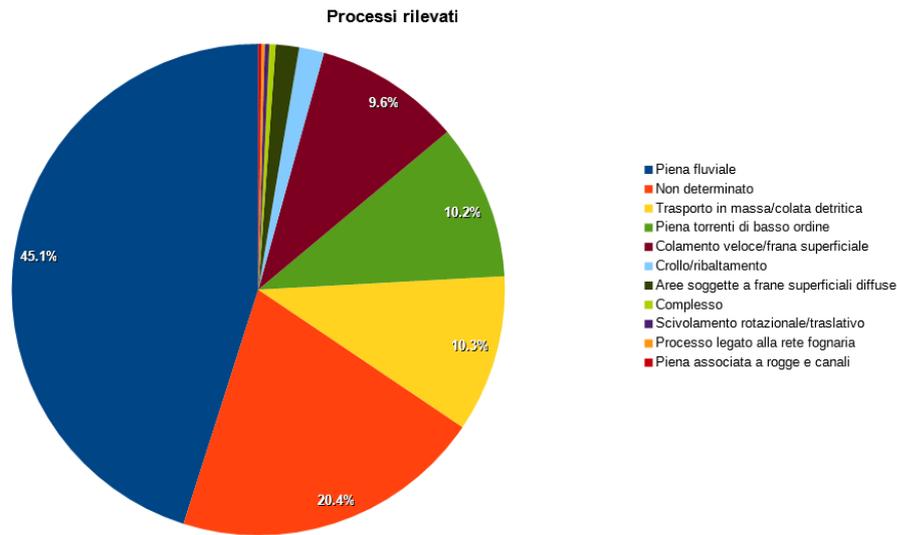


Figura 2. Distribuzione dei tipi di processo di dissesto rilevati

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.

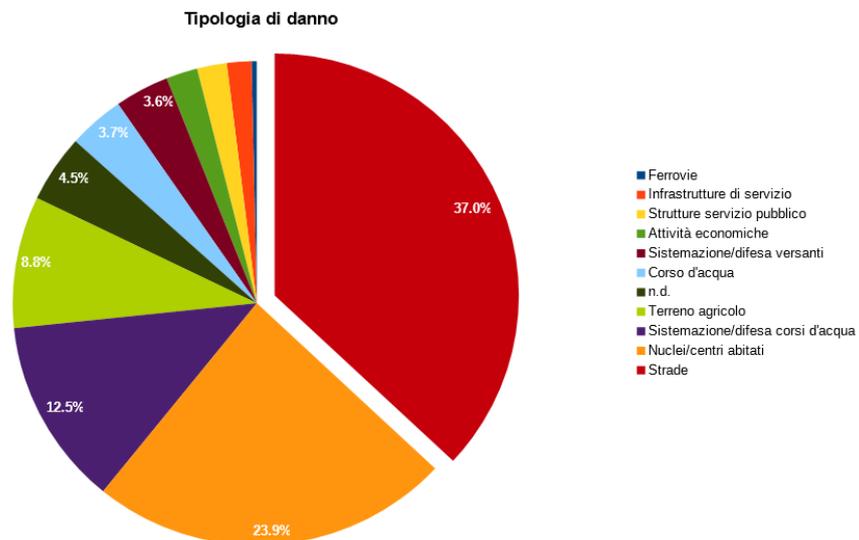


Figura 3. Tipologie di danni rilevati

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.

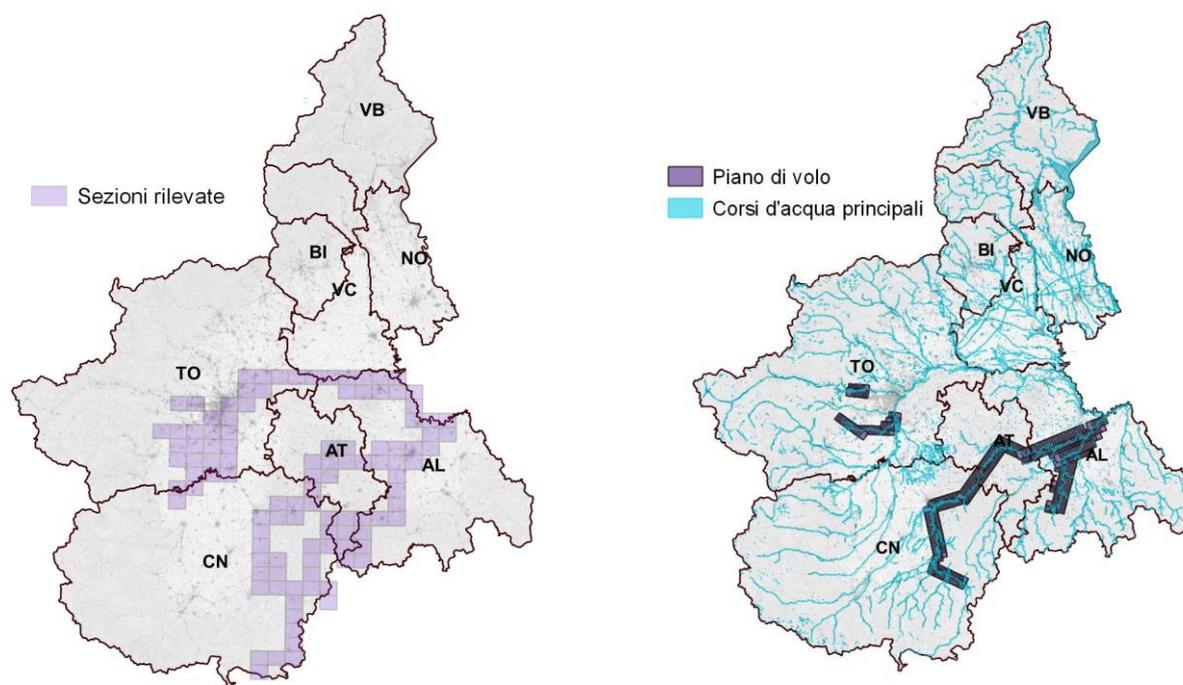


Figura 4. A sinistra, sezione al 10'000 su cui è stato effettuato il rilievo morfologico delle aree inondate; a destra, piano di volo delle riprese aeree effettuate da CGR per conto di Regione Piemonte su cui è stato possibile effettuare un rilievo maggiormente di dettaglio

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.

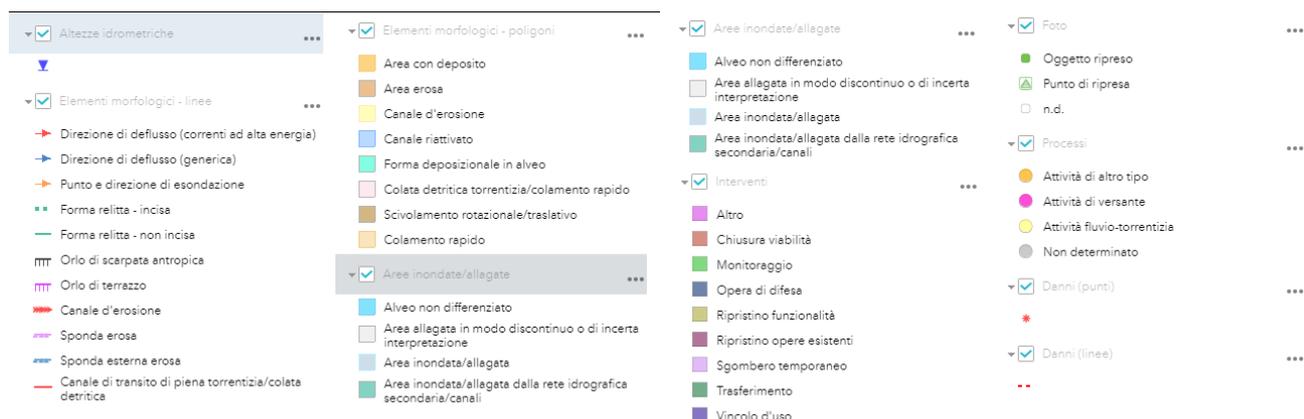


Figura 5. Legenda semplificata utilizzata per la pubblicazione sul geoportale di Arpa Piemonte

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).

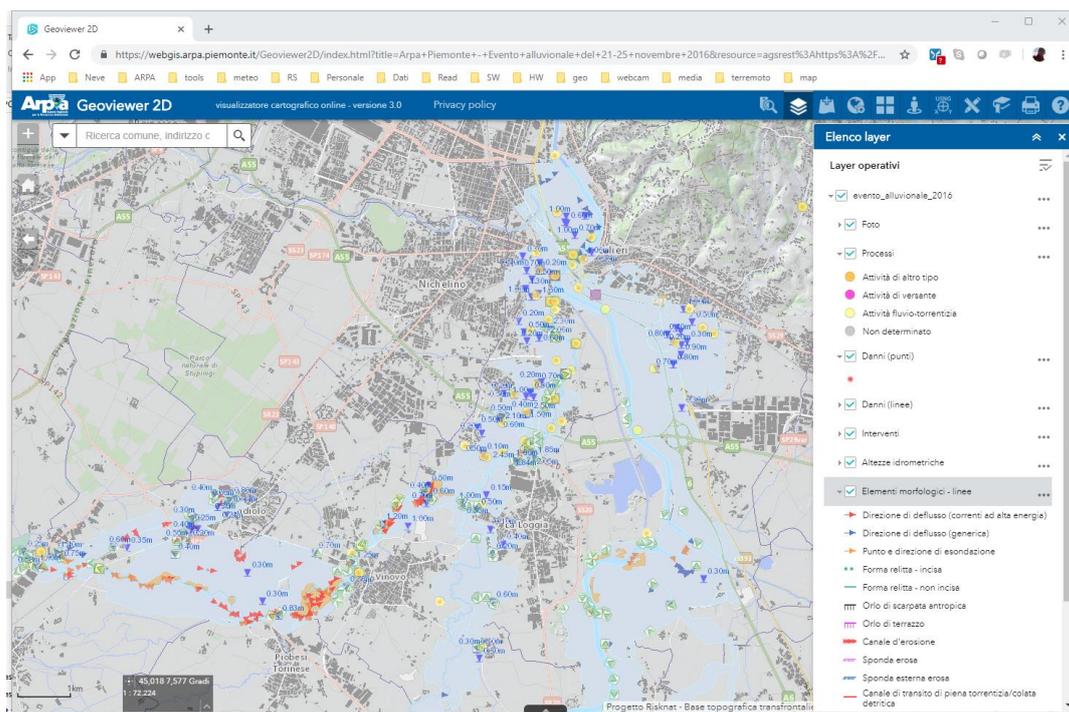


Figura 6. Cartografia WebGIS pubblicata sul Geoportale di Arpa Piemonte

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

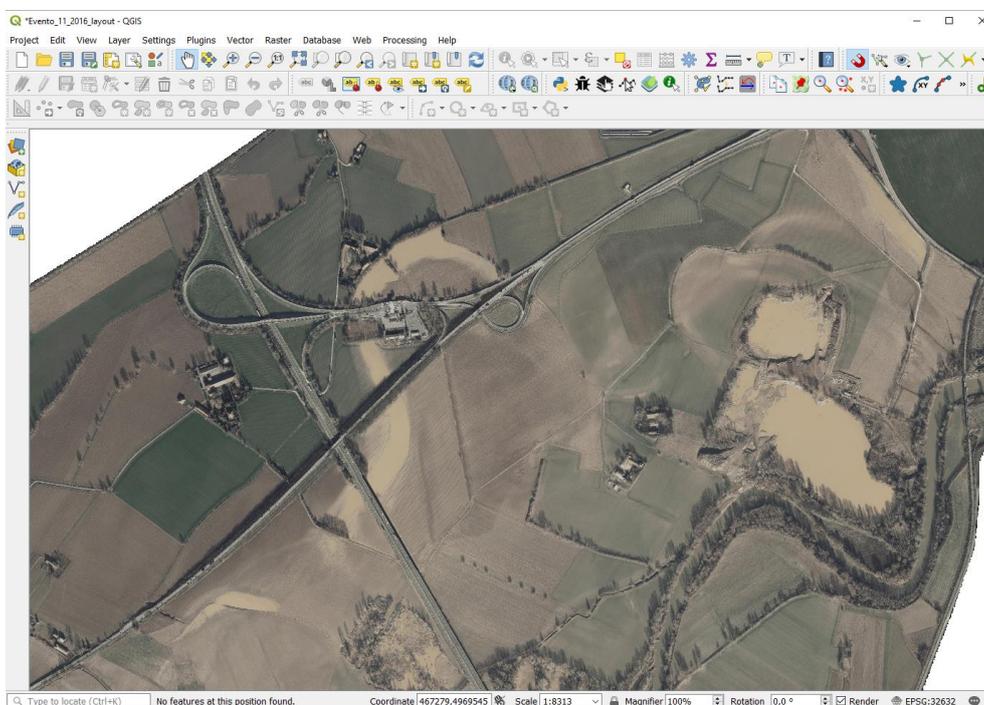


Figura 7. Tramite il servizio WMS raggiungibile dal Geoportale di Regione Piemonte è possibile consultare le ortofotografie ad alta risoluzione derivanti dal volo CGR del 5 dicembre 2016

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.

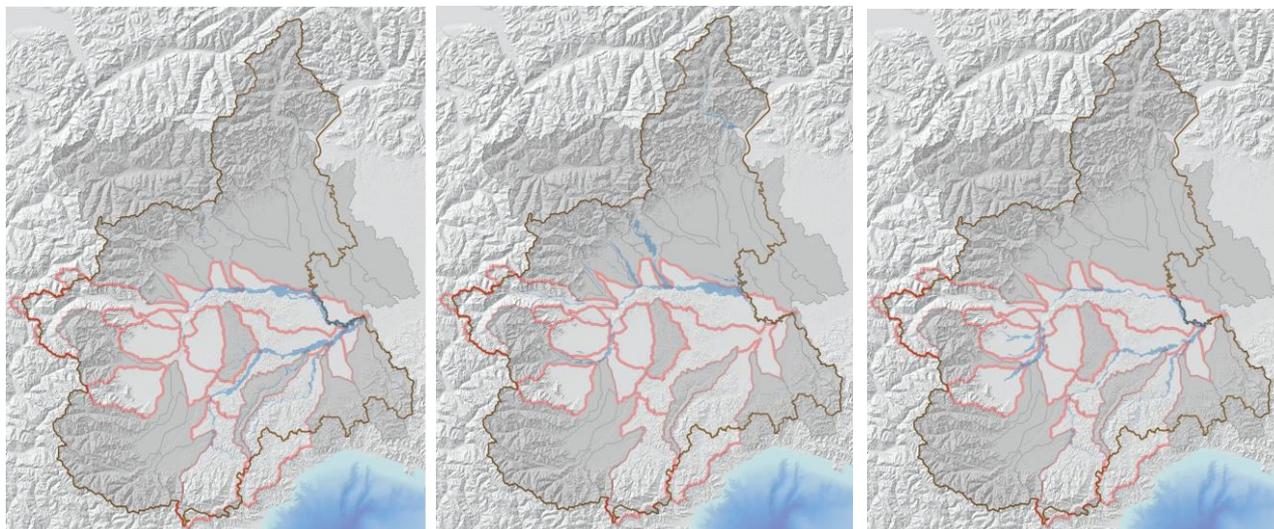


Figura 8. A sinistra aree interessate dall'evento alluvionale del 5-6 Novembre 1994; in centro aree interessate dall'evento alluvionale del 3-16 Ottobre 2000; a destra aree interessate dall'evento del 21-25 Novembre 2016. In rosso sono evidenziati i bacini su cui è stata effettuata l'analisi

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.

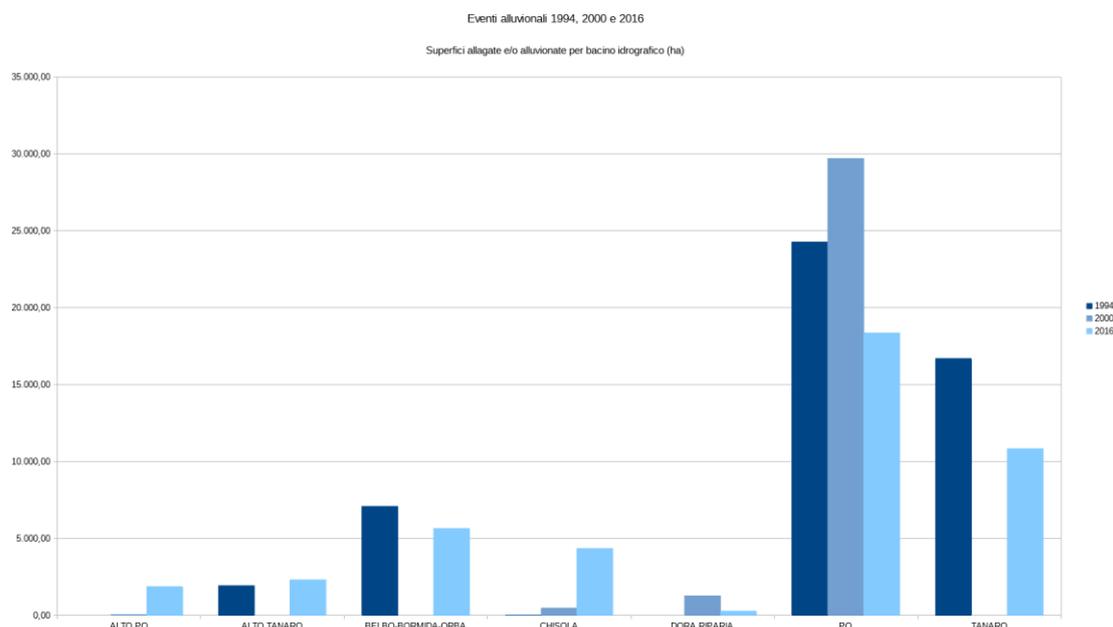


Figura 9. Confronto tra le superfici delle aree inondate/allagate in seguito ai principali eventi alluvionali di riferimento e l'evento del Novembre 2016, suddivise per bacino

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.

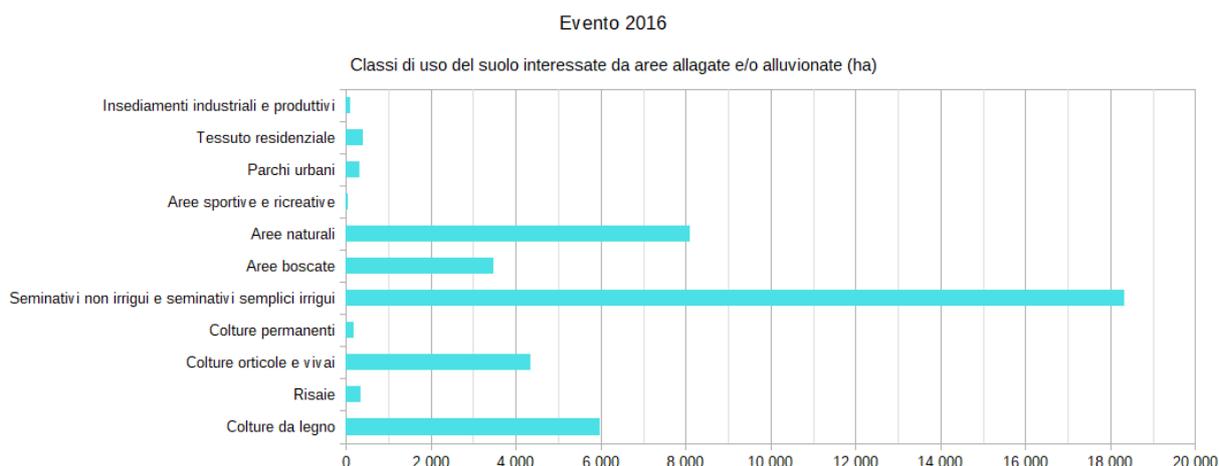


Figura 10. Analisi delle aree inondate/allagate in base all'uso del suolo (copertura Regione Piemonte 2010)

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

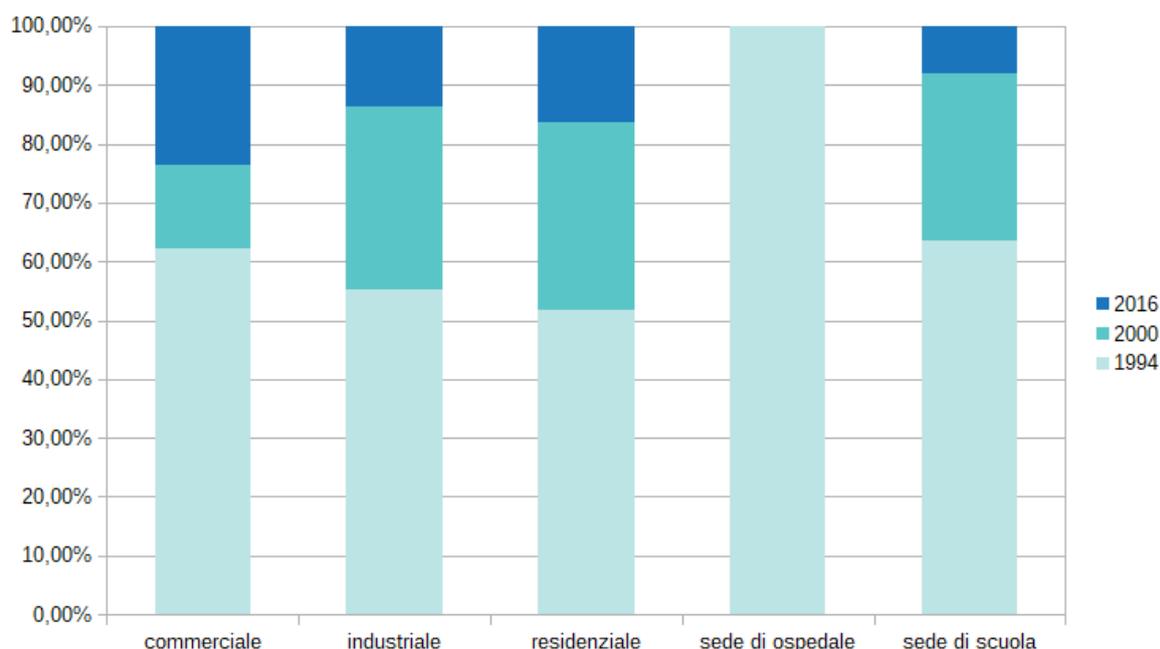


Figura 11. Contributo in percentuale dei differenti eventi per le principali tipologie di uso degli edifici coinvolti

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/>.

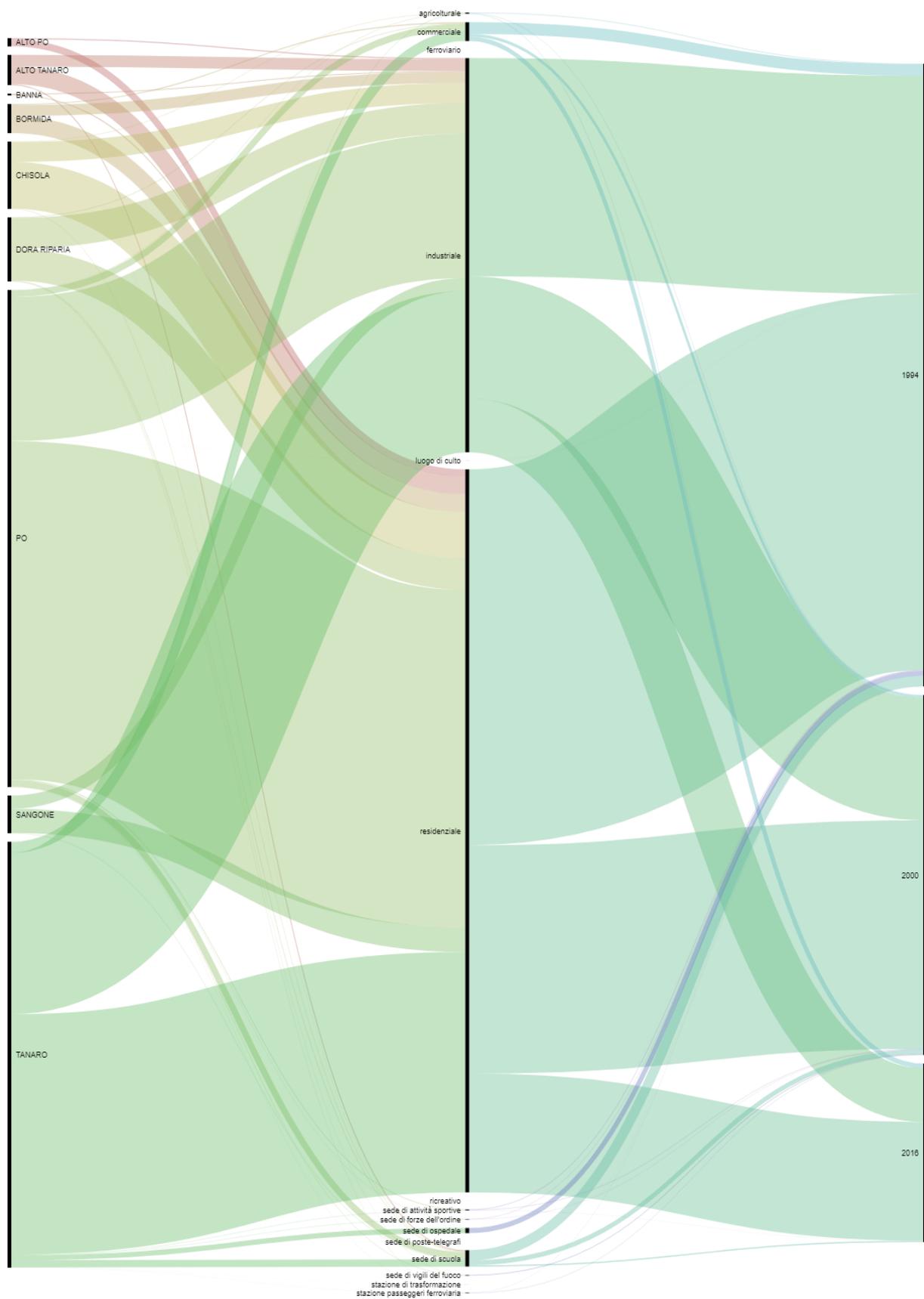


Figura 12. Superficie e uso degli edifici in relazione ai bacini idrografici e agli eventi

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.

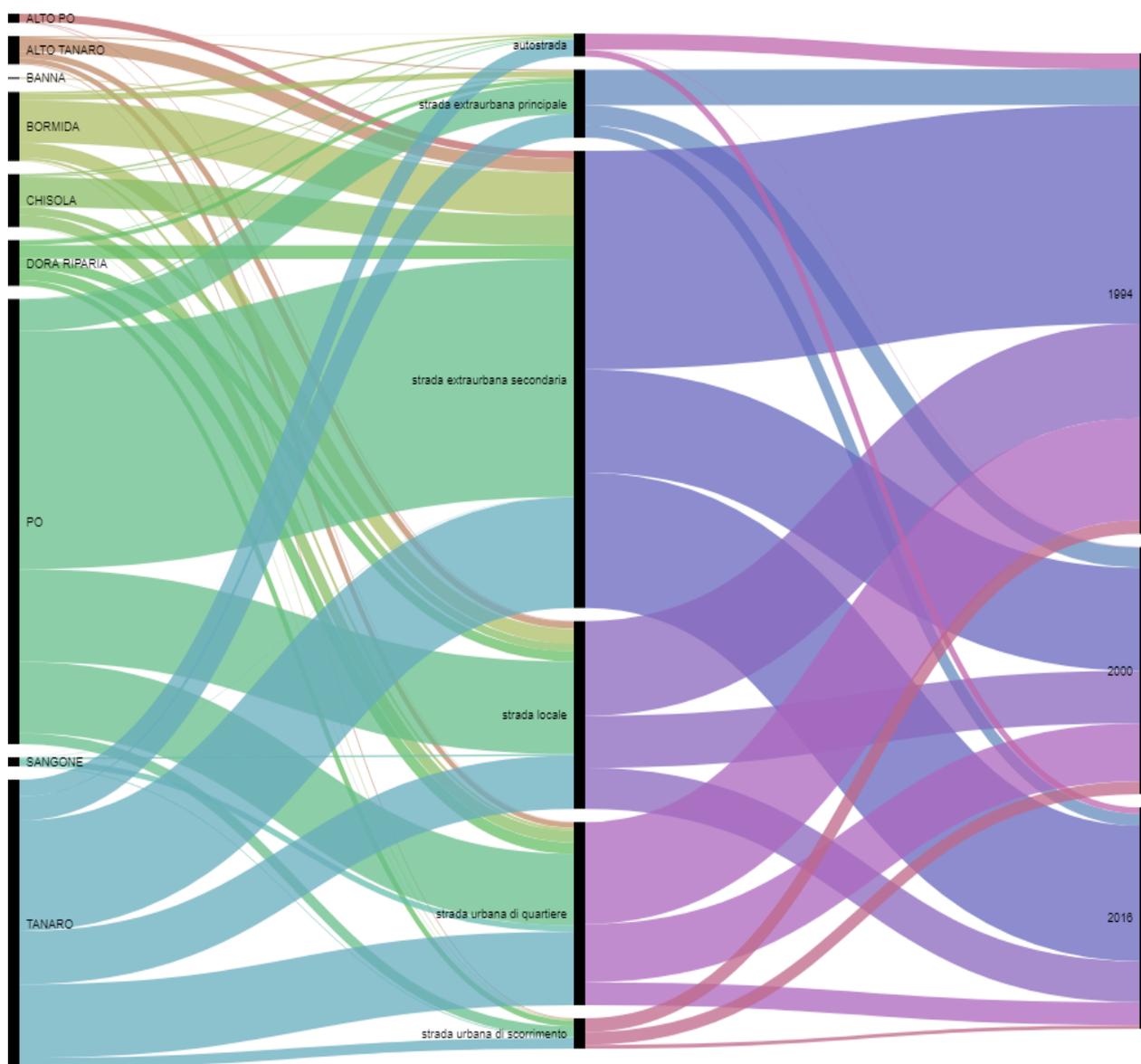


Figura 13. Lunghezza degli elementi della viabilità stradale in relazione ai bacini idrografici e agli eventi

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.

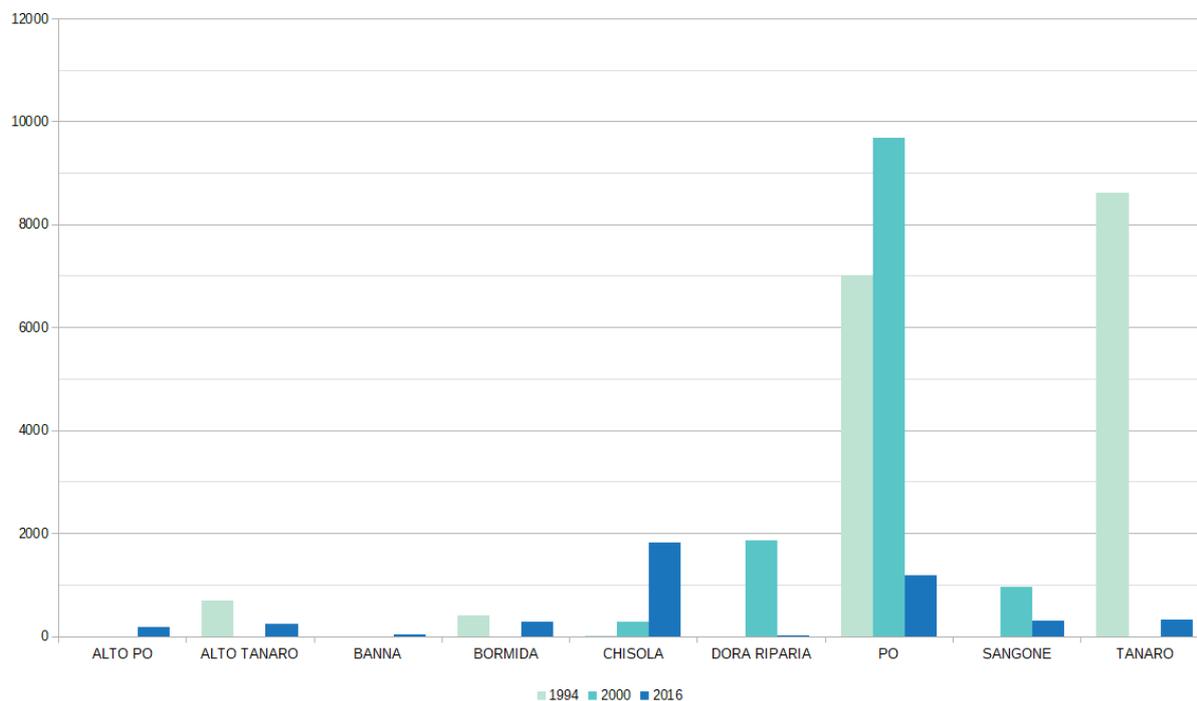


Figura 14. Popolazione potenzialmente interessata negli scenari d'evento per bacino idrografico

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.

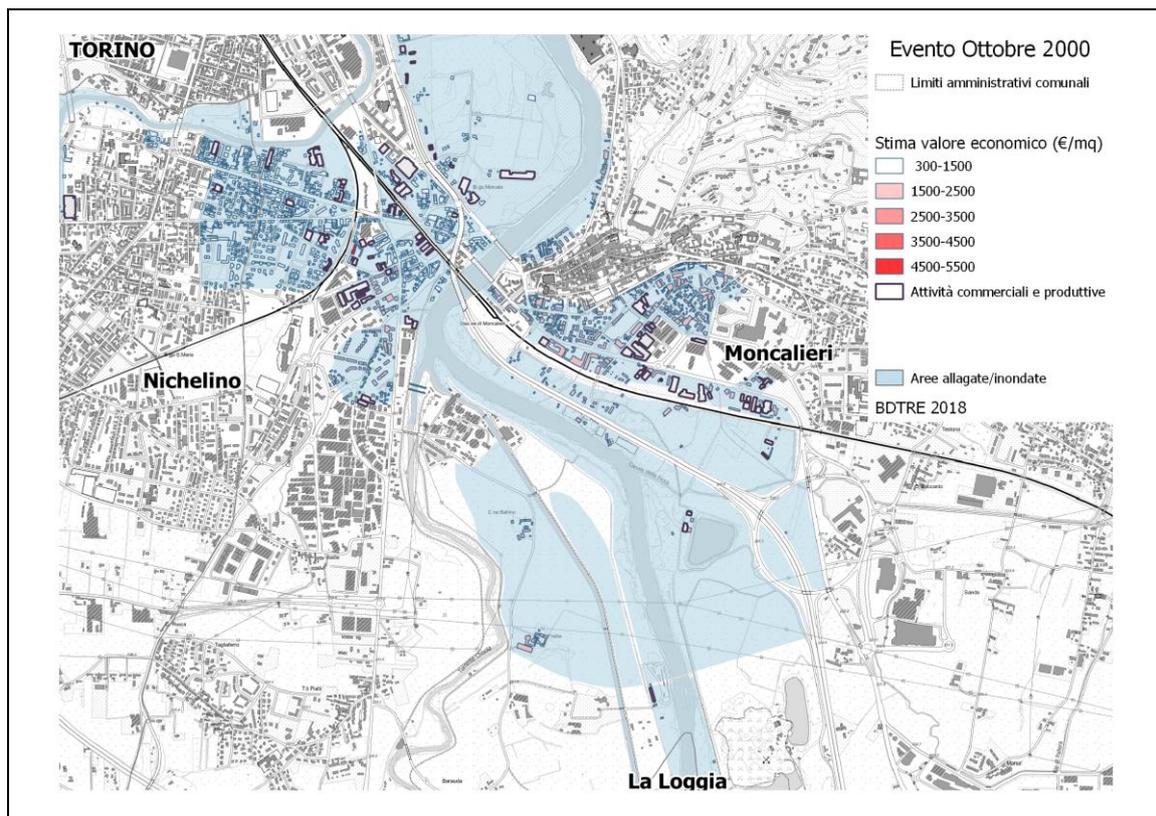


Figura 15. Distribuzione geografica della stima del valore economico nella zona di confluenza tra Po-Chisola per l'evento alluvionale dell'Ottobre 2000

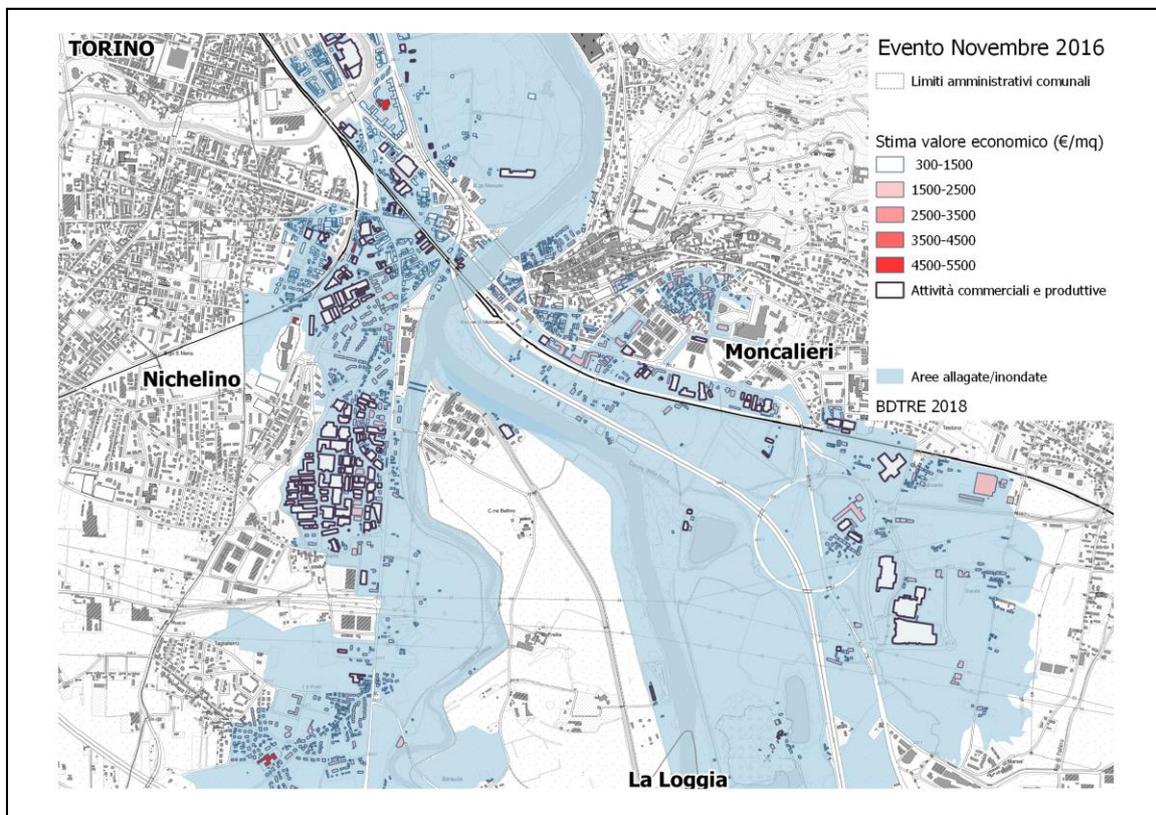


Figura 16. Distribuzione geografica della stima del valore economico nella zona di confluenza tra Po-Chisola per l'evento alluvionale del Novembre 2016

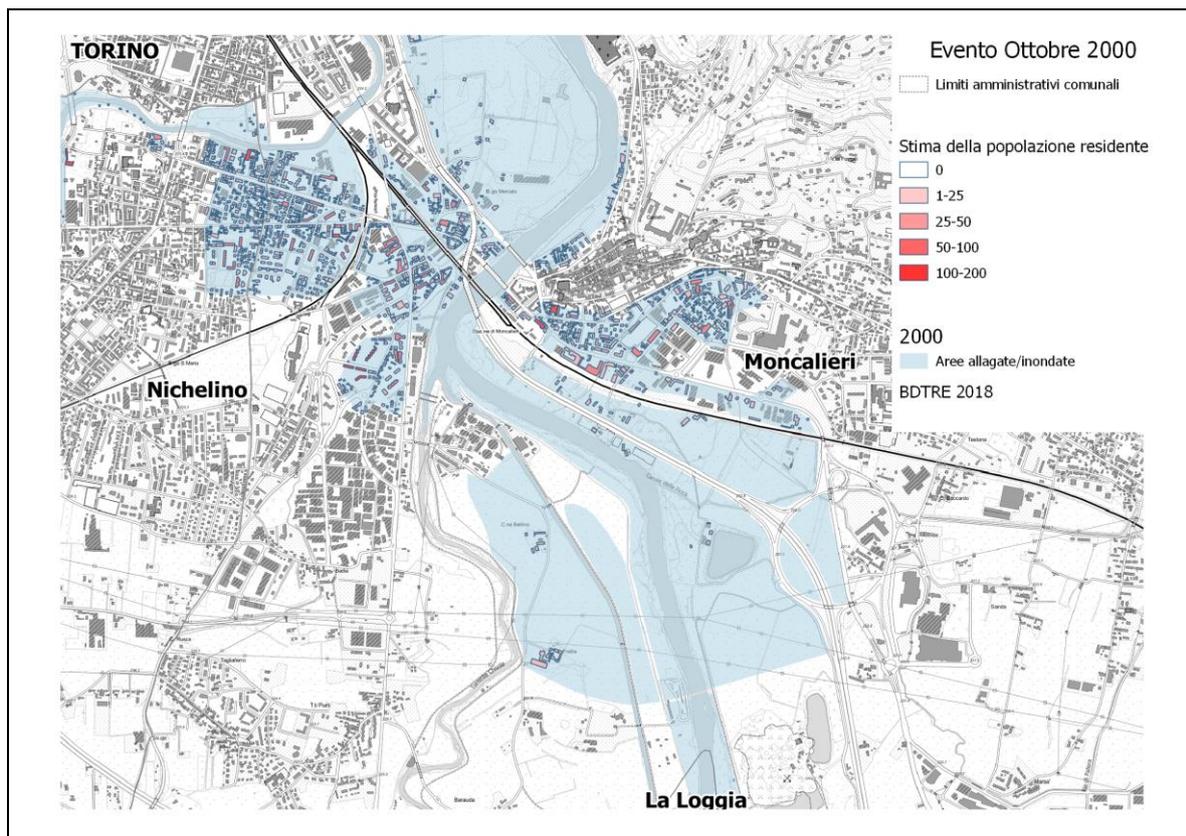


Figura 17. Stima della popolazione nella zona di confluenza tra Po-Chisola evento 2000

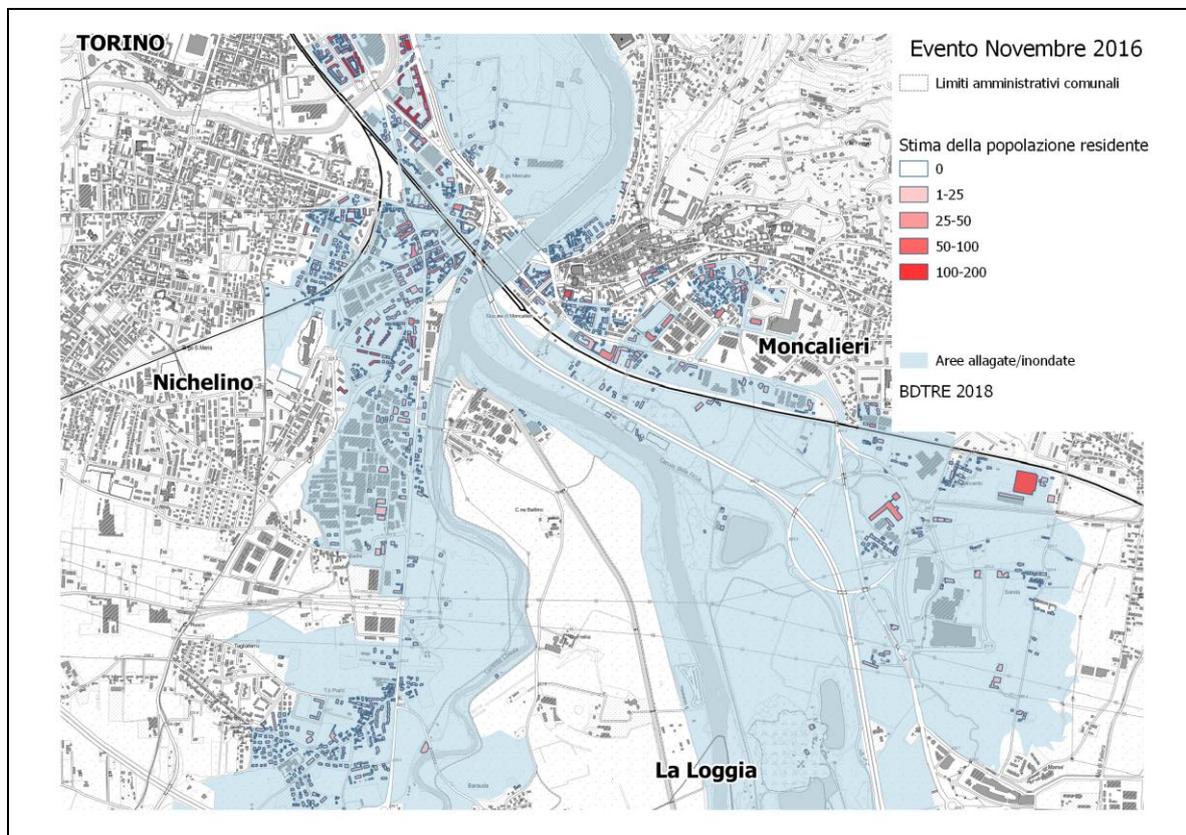


Figura 18. Stima della popolazione nella zona di confluenza tra Po-Chisola evento 2016

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).

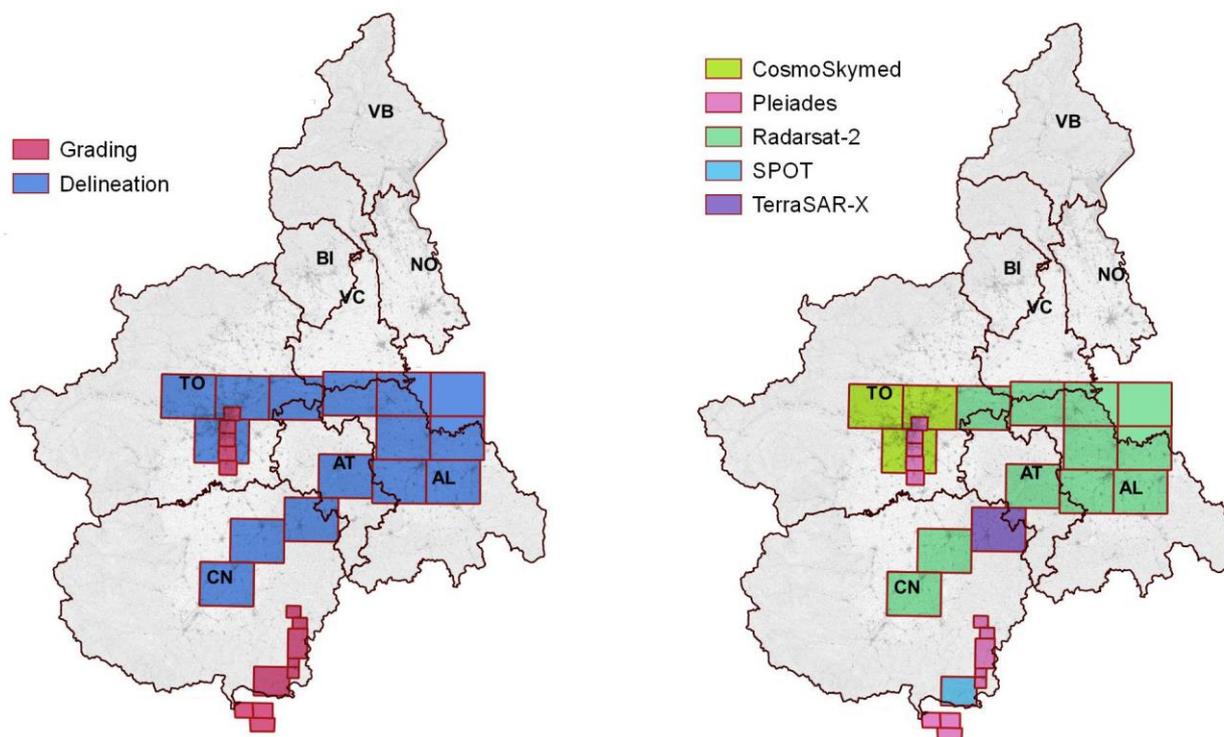


Figura 19. Territorio coperto dalle elaborazioni EMS del servizio Copernicus; a sinistra, tipo di analisi effettuata; a destra tipo di satellite utilizzato

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 website. 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

 The page also features a sidebar with navigation options like "Service Overview", "Who can use the service", and "List of Activations". At the bottom, there is a section for "Downloadable items" with a "Filter by product" list including locations like Alba, Alessandria, Asti, Bagnasco, Bra, Carignano, Casale Monferrato, Caselleto, Ceva North, Ceva South, Chivasso, Fossano, Garesio North, Garesio South, Gerrone, Guardamiglio, La Loggia, Lomello, Moncalieri, Monesi, Ormea, Piacenza East, Piacenza West, Pommasio, Rezzo, Sale, San Salvatore Monferrato, Torino, Torino Centre, Torino Lingotto, Torino South, Tortona, and Trino.

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).

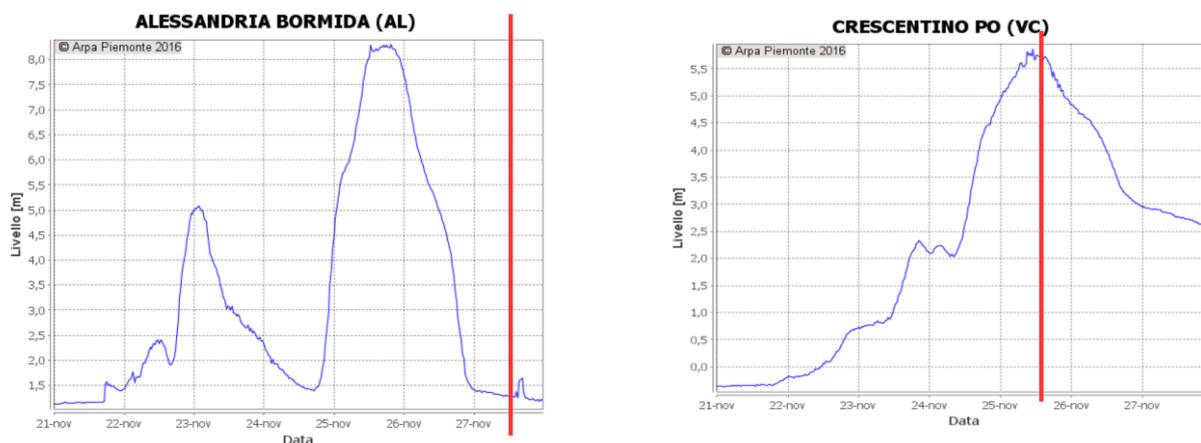


Figura 21. Confronto tra gli ideogrammi di Piena e le date di acquisizione delle immagini satellitari RADARSAT, a sinistra il T. Bormida nella zona di Alessandria, a destra il Fiume Po nella zona di Crescentino (VC). La linea rossa indica l'ora di acquisizione delle immagini satellitari utilizzate per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

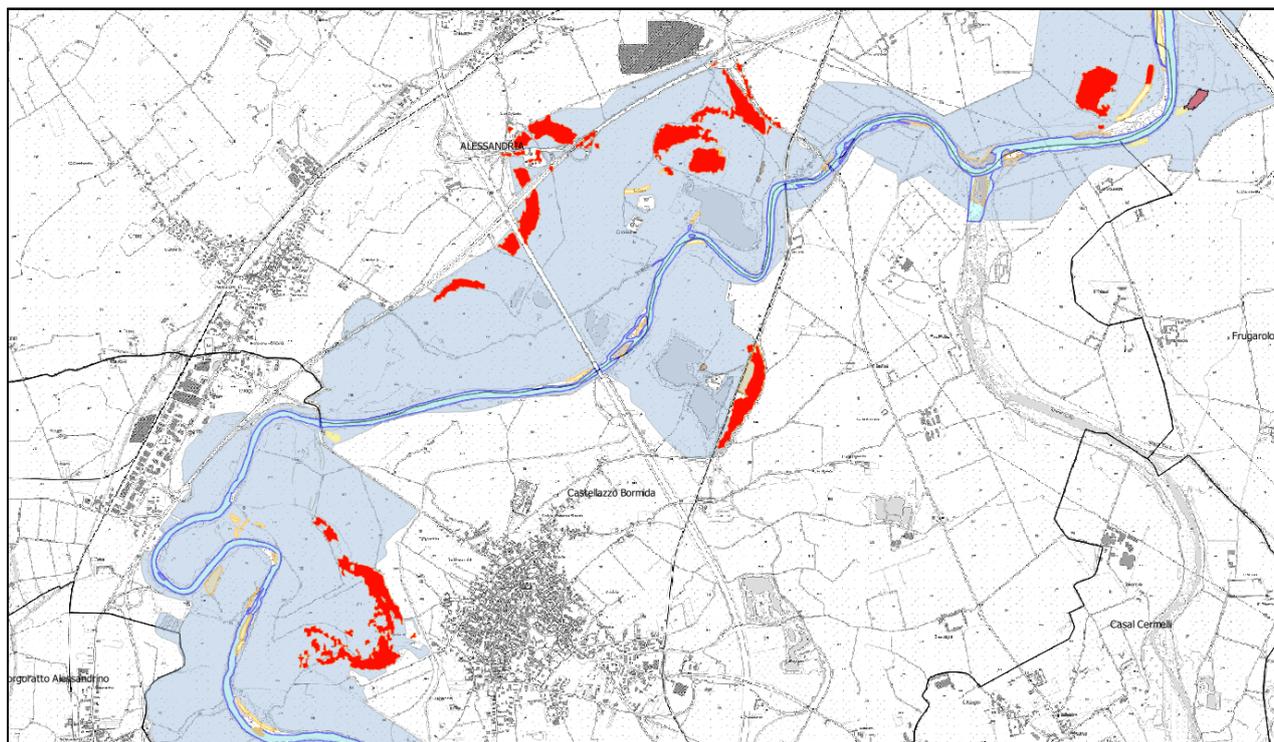


Figura 22. Confronto tra le aree allagate identificate dal servizio Copernicus EMS sulla base dei dati satellitari Radarsat-2 e i rilievi di dettaglio nella zona di Castellazzo Bormida



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).

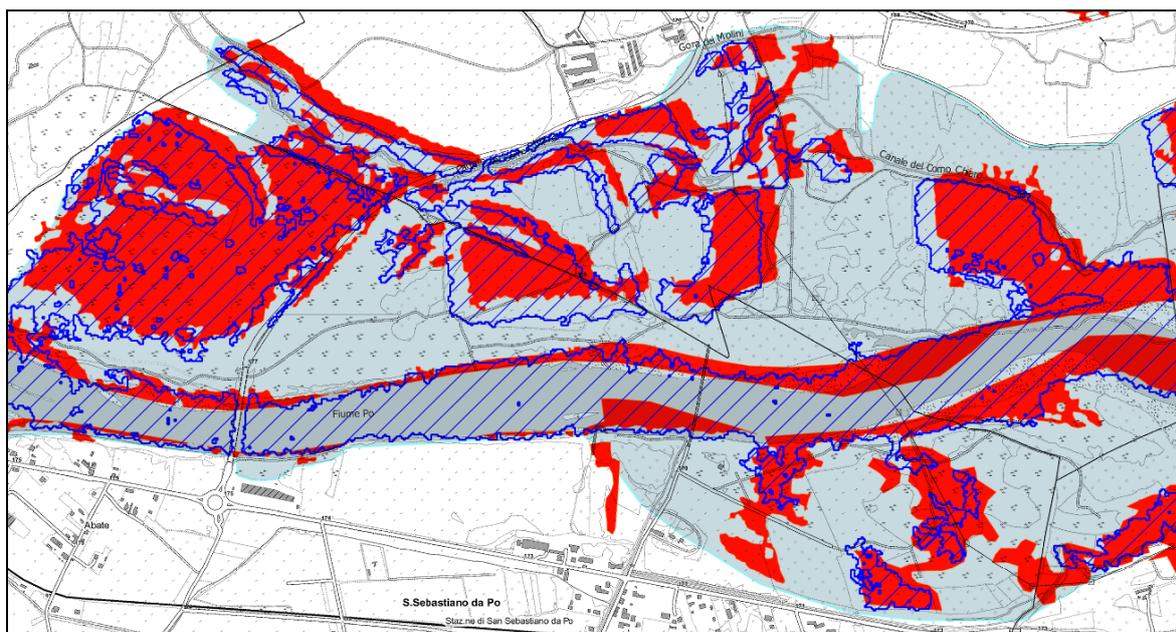


Figura 24. Confronto tra le aree perimetrate dal servizio Copernicus EMS (aree in rosso), dal CIMA (aree con il bordo blu) e quelle perimetrate da foto interpretazione e rilievi di terreno (in azzurro). Si noti la maggior sovrapposizione rispetto al caso del T. Bormida

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).

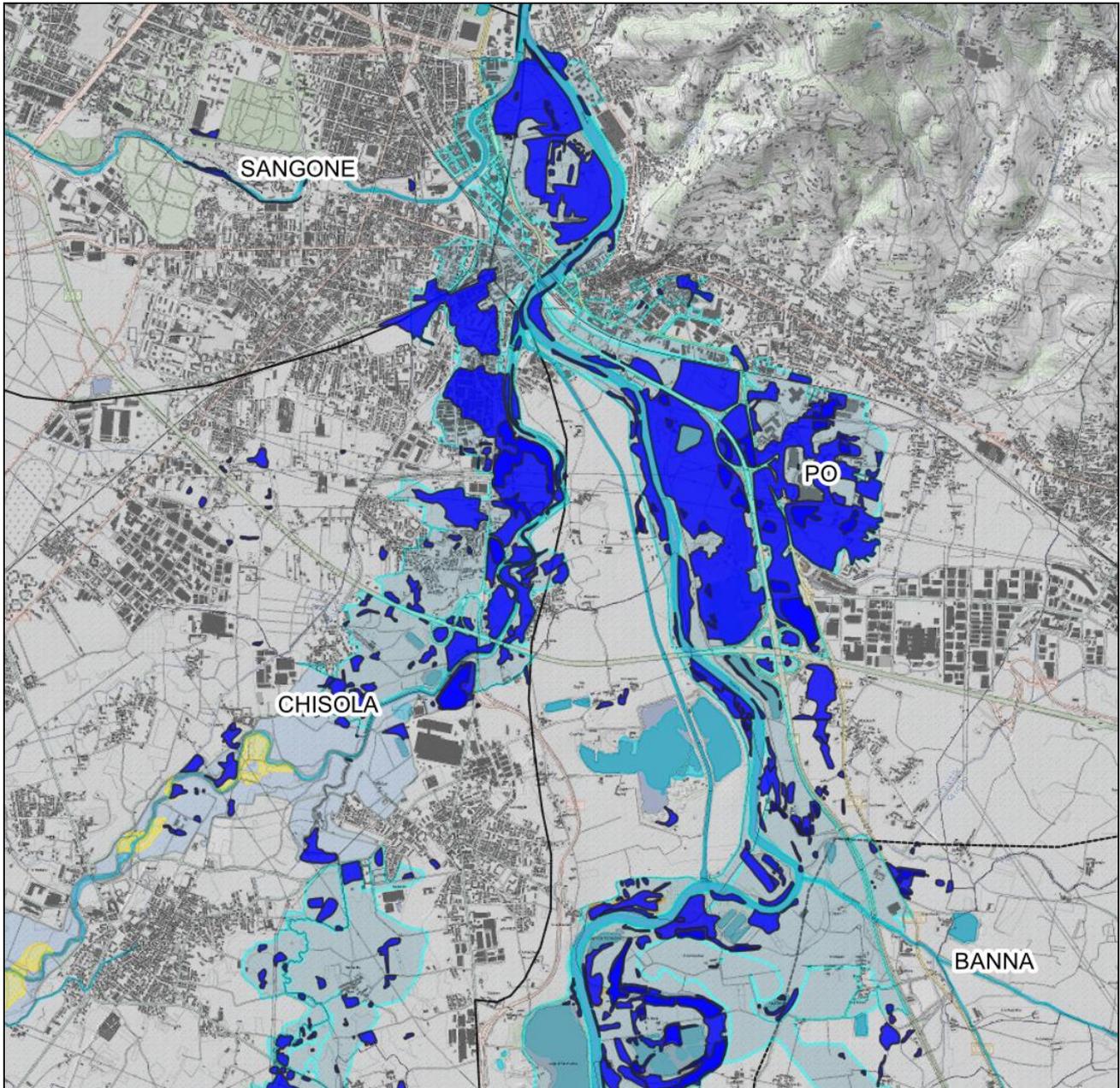
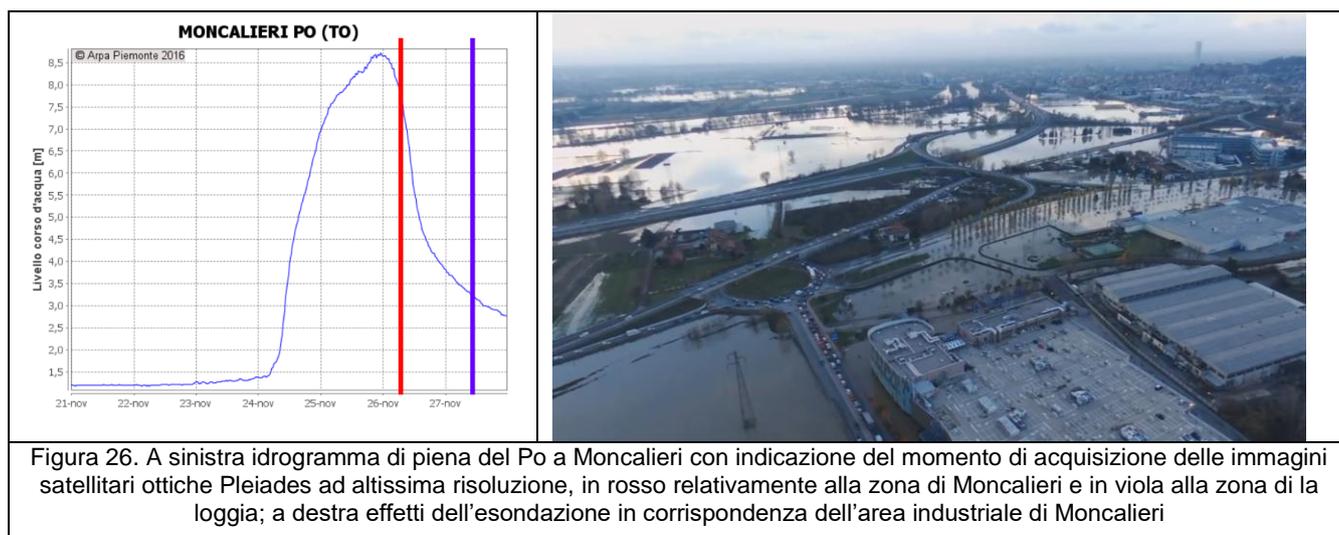


Figura 25. Confronto delle stime delle aree allagate derivate dall'analisi EMS Copernicus (in blu) e quelle derivanti da rilievo di terreno effettuate nell'ambito del presente lavoro (in azzurro). Zona di Moncalieri (porzione a nord) e di La Loggia (porzione a sud)



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/>