PRECIPITAZIONI ESTREME E EFFETTI AL SUOLO SUL RETICOLO MINORE: IL CASO DEL 14 SETTEMBRE 2015

A cura di

F. Grazzini[1], S. Segadelli[2] e con la collaborazione di Anna Fornasiero[1]

[1]ServizioIdroMeteo Clima, Arpae Emilia-Romagna
[2]Servizio, Geologico, Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna

Bologna, Settembre 2016

Riassunto

Facendo seguito al report d'evento sull'alluvione che ha colpito la Val Trebbia e la Val Nure nel Settembre 2015, abbiamo svolto un ulteriore lavoro di approfondimento che ha lo scopo di illustrare nel dettaglio gli effetti che precipitazioni di elevatissima intensità, come quelle cadute durante quell'episodio, possono apportare sul territorio, modificandone in alcuni casi la morfologia a livello macroscopico. Il sistema temporalesco, stazionario per quasi 6 ore, ha scaricato circa 300 mm/in 6 ore con punte d'intensità oraria superiori ai 100mm/h registrate dalle stazioni meteorologiche della rete osservativa regionale RIRER. Aspetto innovativo di questo lavoro è la combinazione del dato puntuale delle stazioni con il dato radar e la sua comparazione degli effetti al suolo rilevati da ulteriori indagini. Emerge chiaramente una relazione monotòna e crescente fra intensità di pioggia e gli oltre trecento fenomeni di colate di detrito censiti nell'area di studio. Viene proposto uno schema evolutivo (o modello geologico) dei movimenti in massa, tipo colate di detrito, a carico del reticolo idrografico minore scatenati da piogge intense. Questa analisi conferma che le zone dell'Appennino Tosco-Emiliano, a forte acclività (sopra i 25°) e con adeguata copertura detritica, possono essere soggette a colate di detrito se sollecitate da precipitazione di forte intensità e di durata di alcune ore, quasi univocamente imputabili a sistemi convettivi organizzati.

In copertina:

Esempio di deposito da colata di detrito con sovra-alluvionamento della sede stradale sul fondovalle del torrente Aveto.

INDICE

1. DESCRIZIONE DEL FENOMENO METEOROLOGICO 4
1.1 Cenni sull'evoluzione meteorologica generale *4*
1.2 Principali caratteristiche del sistema convettivo *5*
1.3 Analisi pluviometrica di dettaglio dell'area di studio *7*
2. MAPPATURA DEGLI EFFETTI SUL TERRITORIO 10
2.1 Materiali e metodi *10*
2.2 Distribuzione spaziale dei dissesti in relazione alla precipitazione *11*
2.3 Descrizione delle colate osservate e schematizzazione della loro evoluzione *14*
3. ANALISI DEI RISULTATI E DISCUSSIONE 20
3.1 Correlazione fra intensità di precipitazione, densità di colate e acclività *20*
3.2 Discussione su probabili soglie d'innesco *23*
3.3 Il contributo dell'analisi storica *24*
3.4 Trend in atto sulla frequenza dei sistemi convettivi a mesoscala *25*
4. BIBLIOGRAFIA 27

1. DESCRIZIONE DEL FENOMENO METEOROLOGICO

1.1 Cenni sull'evoluzione meteorologica generale

La situazione meteorologica era caratterizzata dall'avvicinamento di un' onda depressionaria verso l'arco alpino, mentre sul resto del Mediterraneo persisteva un campo di alta pressione e una massa d'aria calda e umida. L'avanzamento verso est dell'onda in quota ha provocato una forte convergenza dei venti da sud nei bassi strati sul Golfo Ligure, ingrediente molto favorevole all'innesco di attività convettiva organizzata, anche di tipo autorigenerante. Uno di questi sistemi, classificabile come un Sistema Convettivo a Mesoscala (MCS in inglese, sigla che utilizzeremo d'ora in avanti) di tipo V-shape[1], si è infatti sviluppato sul levante ligure, a partire dalle ore 20 locali di domenica 13 settembre, ed è rimasto attivo fino alle 6 locali del giorno dopo.

Le immagini in Figura.1 evidenziano il fatto che il sistema convettivo si origina nella parte ascendente che precede l'onda, in concomitanza della presenza di una vasta zona di instabilità termodinamica, evidenziata da valori di CAPE maggiori si 2000 J/kg, presenti sul Tirreno. Da notare inoltre la presenza di un alto contenuto di vapor d'acqua nella massa d'aria, superiore ai 40 mm (non mostrato).

Per la descrizione completa dell'evoluzione meteorologica si rimanda allo specifico report scaricabile sulla home-page di Arpae-SIMC.

(http://www.arpae.it/cms3/documenti/simc/Relazioni_idrologiche/Report_evento_14_settembre_2015.pdf)

1 Per una descrizione e il riconoscimento di questi sistemi vedi anche la seguente nota: http://www.eumetrain.org/satmanu/CMs/Cb/navmenu.php?page=9.0.0

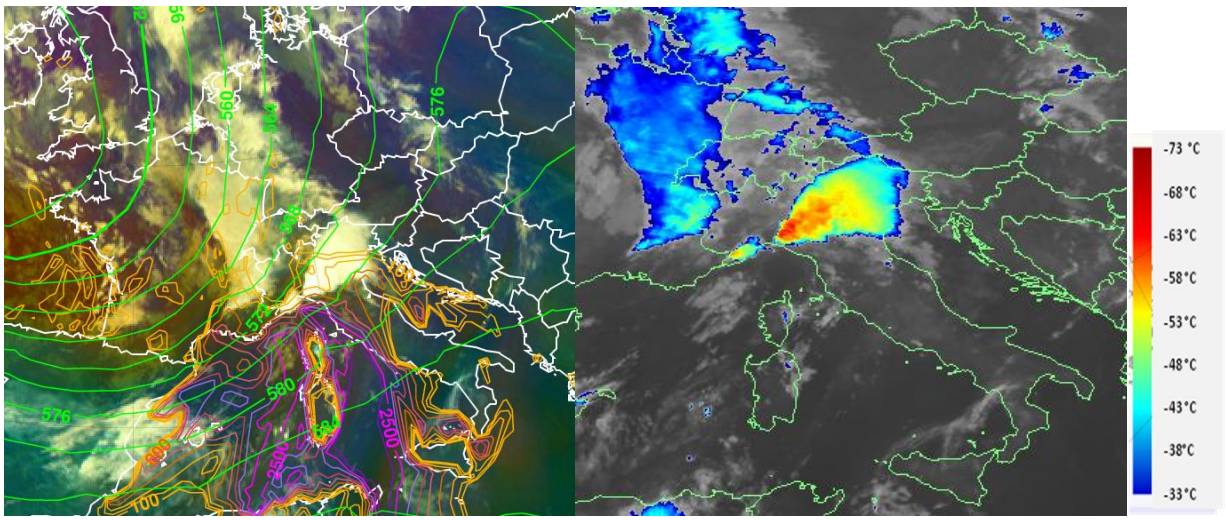

Figura 1: Il sistema convettivo ripreso alle 00 UTC del 14/09/2016 dal satellite MSG. Nell'immagine di sinistra viene visualizzato il composite RGB al quale è sovrapposto il campo di geopotenziale a 500 hPa (isolinee verdi) e il campo d'instabilità convettiva CAPE (isolinee arancioni e viola). Nell'immagine di destra il canale dell'infrarosso (IR10.8) che mostra la temperatura raggiunta dal top delle nubi. (fonte immagini MSG Eumetrain)

1.2 Principali caratteristiche del sistema convettivo

Il sistema convettivo che ha dato origine alle precipitazioni estreme mostra una traccia molto definita e riconoscibile nelle immagini da satellite, come ben visibile nella Figura 1. Per prima cosa si nota che è sostanzialmente isolato non essendo circondato da altra nuvolosità se non da alcune celle minori sopravvento che vanno continuamente ad alimentare sistema. E' quindi ben riconoscibile con la tipica forma a V nel cui vertice si sviluppano i moti verticali e le precipitazioni più intense. In Figura 2 viene schematizzato il modello concettuale che spiega come attraverso un equilibrio dinamico fra l'esaurimento e la generazione di nuove celle sopravvento sia possibile mantenere una stazionarietà apparente del sistema, con le nuove celle che sostituiscono le vecchie, ma di fatto mantenendo sulla stessa area geografica intensità elevate. Questo meccanismo permette al sistema temporalesco di acquisire una durata anche molto superiore a quella che avrebbe una singola cella pari a 30-40 minuti. I fattori che ne controllano l'intensità sono principalmente legati all'instabilità potenziale, alla capacità di sviluppo verticale del sistema, alla convergenza e al contenuto totale di vapor d'acqua. L'ambiente più favorevole a questi sistemi consiste in correnti in quota umide e instabili da sud-ovest e al suolo e nei bassi strati da sud e sud-est, ovvero in avvezione di aria calda. La massa di aria calda e umida che viene convogliata verso il sistema spesso è identificabile come una lingua di alti valori di temperatura equivalente potenziale (thetae) alla quota di 925 hPa, estesa dal Tirreno centrale verso il Golfo Ligure. Da una breve indagine svolta sui principali eventi estremi si nota che tutti gli eventi considerati si sono verificati con valori di thetae maggiori di 325K e quelli più intensi con valori intorno ai 340K a 925 hPa.

Il versante appenninico ligure-tirrenico, insieme al gruppo delle Alpi Apuane, rappresentano una delle aree più alta pluviometria e più elevato rischio idraulico della penisola. Questo è dovuto alla particolare conformazione topografica, che per effetto del sollevamento indotto dal rilievi rispetto ai flussi prevalenti (Ovest-SudOvest), può generare delle precipitazioni orografiche molto elevate, più frequenti durante la stagione tardo autunnale e invernale. In estate invece, l'effetto della topografia di questa area è molto importante per favorire zone di convergenza nei bassi strati che possono portare al sollevamento di masse d'aria umide e instabili che si formano sul Mediterraneo. Un altro evento ben documentato, e che funge da interessante caso di confronto con quello del Trebbia perché originato da un sistema convettivo del tutto simile a quello del settembre 2015, colpì le Alpi Apuane e la Garfagnana, vent'anni fa, nel giugno 1996. Si registrarono precipitazioni record a livello italiano e danni pesantissimi dovuti al forte deflusso e al trasporto in massa generato dallo scatenarsi di numerosissime colate detritiche (debris flows in inglrse) e scorrimenti detritici (debris slide in inglese), che dai versanti si sono riversati nei piccoli corsi d'acqua. Le intensità registrate durante quell'evento furono anche superiori a quelle del Trebbia. Un'accurata analisi pluviometrica svolta da Rapetti e Rapetti, 1997 riporta che la massima intensità istantanea fu registrata nella stazione di Pomezzana, con 30,8 mm/5 min (ore 07.30), corrispondente al valore ragguagliato di 369,6 mm/h; questa stazione registrò un massimo orario cumulato di 158 mm. Nelle altre stazioni gli afflussi sono stati inferiori, anche se sono degni di nota i 15,8 mm/ 5 min (189,6 mm/h) delle Cervaiole e i 13,2 mm/5 min (158,4 mm/h) di Retignano, Fornovolasco 152 mm in 1 ora. In 6 ore si sono registrati 387.4 a Fornovolasco e 390.8 mm a Pomezzana. Anche i dati pluviometrici complessivi della giornata del 19 giugno 1996, non lasciano incertezze sul grado di eccezionalità dell'evento verificatosi in Alta Versilia/Garfagnana. I totali di precipitazione dell'intero evento, durato 13 ore, hanno raggiunto i valori di 412.4 mm di pioggia al pluviometro di Fornovolasco (che peraltro alle 14.45 è stato danneggiato dalle intense precipitazioni ed ha terminato di registrare i dati) e di 478.2 mm a quello di Pomezzana; significativo è pure il dato di Retignano (400.6 mm). Una breve ricerca storica condotta dagli autori mostra come la zona sia stata colpita da eventi simili nel lontano passato (1885, 1902, 1952) ma da quando i dati strumentali sono disponibili questo risulta essere di gran lunga il più intenso.

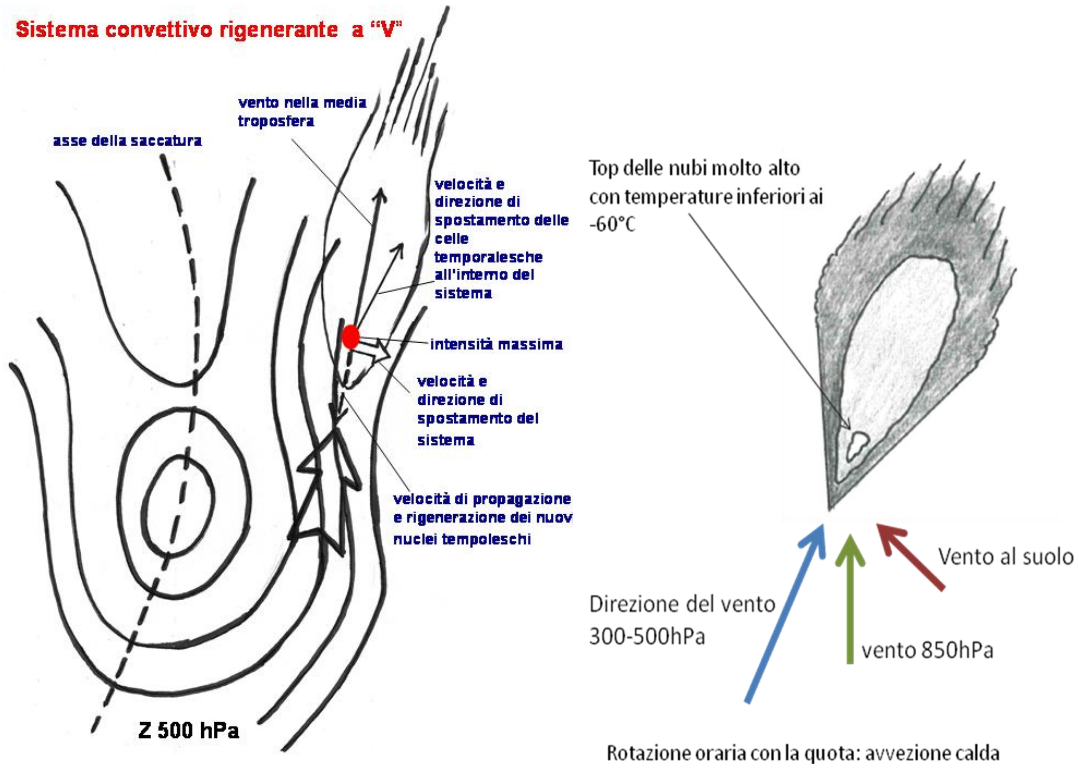

Figura 2: Schematizzazione della genesi e mantenimento dei sistemi convettivi autorigeneranti rispetto alle correnti in quota a grande scala (pannello di sinistra). Nel pannello di destra viene mostrato uno schema che illustra la variazione dei venti con la quota e la l'aspetto visivo che può essere dedotto con l'immagine all'infrarosso dove spiccano valori molto bassi di temperatura del top delle nubi. Entrambe le figure sono state adattate da "Les épisodes orageaux à précipitations extremes sur les regions mediterranéennes de la France" di MeteoFrance.

1.3 Analisi pluviometrica di dettaglio dell'area di studio

Nella Figura 3 è possibile osservare la mappa di precipitazione a scala regionale, ottenuta con i soli pluviometri, nelle 6 ore centrali dell'evento dalle ore 23:00 di domenica 13 alle ore 5:00 di lunedì 14 settembre. Appare evidente come i quantitativi maggiori abbiano interessato i bacini di Trebbia e Nure, con cumulate dovunque superiori ai 100 mm (colore arancio), e superiori ai 150 mm sulla totalità dei bacini montani (colore giallo). Un nucleo di pioggia cumulata superiore ai 200 mm in 6 ore (colore rosso) si è invece registrato sull'alto bacino del Trebbia, in territorio ligure, e sul crinale tra il bacino dell'Aveto e il bacino montano del Nure. Dai grafici della pioggia oraria e cumulata più significativi, si osserva come in tutti i pluviometri le intensità maggiori si siano registrate in realtà in un arco di tempo molto ristretto, di circa 1-3 ore, dalle 23 alle 2 del mattino dopo.

Le piogge registrate dai pluviometri dell'alto Trebbia e Aveto, (illustrate a pagina 10 nel precedente report citato), sono state le più intense dell'evento, con la stazione di Alpe Gorreto che ha fatto registrare 108,4 mm in 1 e 229,6 mm in 3 ore, e quella di Barbagelata con 113 mm in 1 ora e 173 mm in 3 ore**.** Le curve di probabilità pluviometrica, calcolate per tutte le stazioni del bacino montano di Aveto e Trebbia, mostrano che dal punto di vista prettamente statistico

questi valori sono estremamente rari con tempi di ritorno superiori a 500 anni**,** per tutte le durate da 1 a 12 ore.

Anche sul bacino montano del Nure le precipitazioni osservato dalle stazioni hanno raggiunto intensità superiori agli 80 mm in 1 ora e ai 100 mm in 3 ore, corrispondenti a tempi di ritorno superiori ai 500 anni per le durate da tre a dodici ore. Tuttavia l'analisi del solo dato pluviometrico, che con l'attuale distribuzione delle stazioni porta ad associare il singolo dato pluviometro ad un territorio di 40 km^2 che gli sta intorno, non è abbastanza raffinata per poter mettere in relazione quantitativa i dissesti osservati con l'intensità di precipitazione a livello locale. Per questo, a partire dal dato delle stazioni pluviometriche, con l'ausilio di alcune tecniche di combinazione sviluppate dall'Unità radarmeteorologia si Arpae-SIMC, è stata prodotta un'ulteriore e più dettagliata analisi del campo di precipitazione combinando i dati di precipitazione stimata dai radar della rete radar italiana di protezione civile con i pluviometri. In Figura 4 viene mostrata uno zoom sull'area d'interesse, corrispondente al vertice del sistema convettivo V-shape visualizzato in Figura 1, che si estende dal promontorio di Portofino a ovest fino alle provincie di Piacenza a Parma a est.

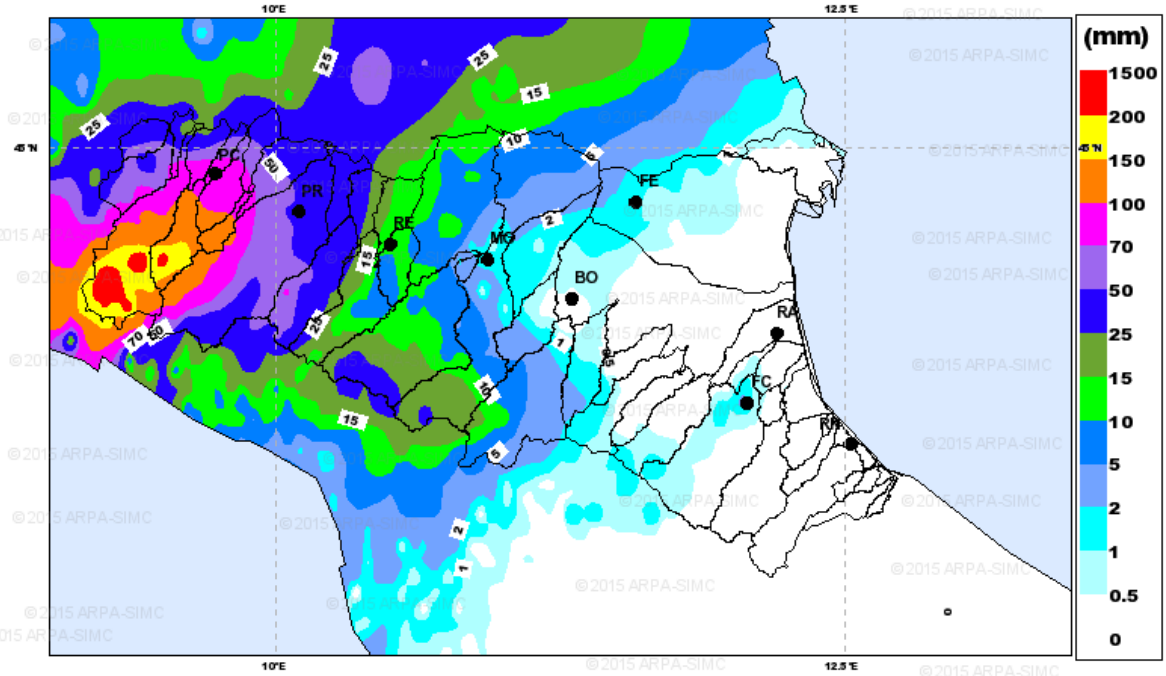

Figura 3: Inquadramento a scala regionale delle precipitazioni durante l'evento. Pioggia cumulata dalle ore 23:00 locali del 13 settembre alle ore 5:00 del 14 settembre sui bacini idrografici della Regione Emilia Romagna. Sulla base dei dati pluviometrici delle stazioni meteo della rete RIRER gestite daArpae-SIMC.

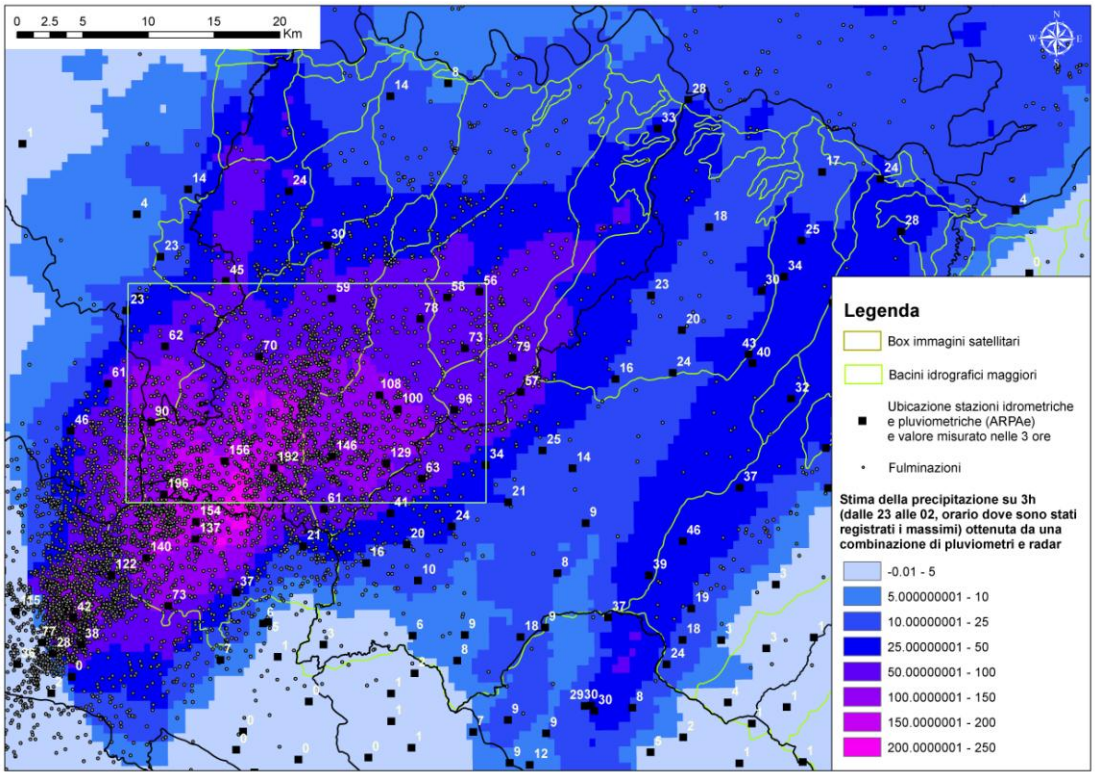

Figura 1: Analisi di dettaglio della precipitazione durante le 3 ore di massima intensità, dalle 23 del 13/09 alle 2 locali del 14/09 derivante dalla combinazione fra dato radar e dato di stazione. L'area è quella compresa fra la penisola di Portofino e le provincie di Piacenza e Parma. I quadratini neri indicano posizione e quantità di pioggia (in bianco) registrata delle stazioni pluviometriche usata per la combinazione con i dati radar dell'Emilia-Romagna, Liguria e Piemonte. Il box evidenziato in verde racchiude l'area dove si è svolta l'analisi dei dissesti. I pallini grigi rappresentano i fulmini caduti nelle 3 ore.

Il campo di precipitazione risultante dalla combinazione radar-pluviometri risulta più dettagliato, avendo il dato radar una risoluzione originaria di 1 km^2 e quindi è in grado di dettagliare maggiormente vere le strutture precipitanti. Il dato della stazione invece concorre a garantire al campo di precipitazione la misura dell'intensità puntuale più corretta, in quanto la stima dell'intensità dal solo dato radar può essere affetta da errori percentualmente più rilevanti. La Figura 4 mostra che la parte più avanzata del vertice sistema era posizionata sul mare e nel primo entroterra della costa ligure, fatto evidenziato dall'immagine da satellite e dall'altissima densità di fulmini (superiore per alcune ore alle 100 scariche/minuto); ugualmente la zona di massima intensità di precipitazione è posizionata molto più all'interno rispetto al confine con l'Emilia. Questa peculiare discrepanza fra la densità di fulminazioni, usata come proxy per la stima dell'intensità dei moti convettivi, e la zona a maggiore intensità di precipitazione, ha per altro reso più difficoltoso in tempo reale discriminare le aree maggiormente colpite. Tale differenza è probabilmente da imputare al consistente trasporto sottovento della precipitazione operato dalle forti correnti in quota. Tuttavia, a posteriori, la mappa di precipitazioni ottenuta con la combinazione dei pluviometri e radar mostra un'ottima corrispondenza fra le zone a maggiore quantità di precipitazione in 3h (e quindi intensità) e l'areale di massima densità dei dissesti. Nel prossimo capitolo si cercherà di quantificare questa relazione anche in relazione ad altri fattori come l'inclinazione del pendio.

2. MAPPATURA DEGLI EFFETTI SUL TERRITORIO

2.1 Materiali e metodi

Se da un lato è difficile produrre una stima accurata di precipitazione è altresì complesso e meticoloso il lavoro di riconoscimento e classificazione delle forme riconducibili agli effetti al suolo (che per brevità chiameremo anche"dissesti") provocati dalle piogge eccezionali. Per ottenere una mappatura sistematica si è proceduto con approcci complementari integrando il riconoscimento attraverso foto interpretazione di immagini satellitari e foto aeree messe a disposizione dal servizio EMS (Emergency Management Service) del Programma Copernicus[2] con indagini in campo. E' da rilevare che rispetto alla mappatura dei dissesti e all'analisi pluviometrica realizzati in seguito all'emergenza per il report interno Arpae & SGSS (2015), il dataset considerato per questo lavoro è originale poiché frutto di una nuova analisi. Per quanto riguarda la precipitazione, si è proceduto ad una nuova elaborazione (in collaborazione con l'unità radarmeteorologia), che combina i dati radar dell'Emilia-Romagna e delle altre regioni limitrofe con i dati dei pluviometri.

Per quanto riguarda i dati sulle forme generate dall'evento si è proceduto ad una più mirata analisi della fotointrepretazione, successivamente validata attraverso nuove verifiche in campo. Quest'analisi ha interessato, per la necessaria completezza, anche la porzione di territorio al di fuori della Regione Emilia-Romagna, nel dettaglio la porzione ligure dei bacini idrografici dei torrenti Trebbia e Aveto, inizialmente non prese in considerazione nella stesura del primo report. In questo modo è stato possibile mappare oltre seicento evidenze di effetti al suolo, in particolare riconducibili a fenomeni di trasporto in massa tipo *debris slide* (207), *debris flow* di versante e canalizzate (286) e colate di fango (*mud flow* in inglese) (135), che hanno movimentato una notevolissima quantità di materiale solido. Di seguito per queste tre tipologie di fenomeni si userà indifferentemente la terminologia italiana o inglese.

E'stata svolta un"analisi di prima approssimazione ed in area vasta, sulle correlazioni con alcune importanti fattori fisiografici come: l'acclività (da DEM regionale, acquisito dal SGSS), il reticolo idrografico (da CTR, base dati del SGSS), le Unità Idromorfologiche Elementari (U.I.E.) suddivisioni di ordine gerarchico inferiore dei bacini idrografici montani e riferimento elementare delle dinamiche geomorfologiche (utilizzate es. nei Piani Stralcio di Assetto Idrogeologico, le carte dell'Uso del Suolo edizione 2008-2011 (base dati regionale), edizione 1954 (base dati del SGSS), i dati sugli Incendi boschivi (base dati regionale), la Banca Dati della Carta Geologica e Litotecnica alla scala 1:10.000 (basi dati del SGSS), le Ortofoto AGEA edizione 2011.

2 Programma sviluppato dalla Commissione Europea e dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) con l'obiettivo di fornire servizi di rapida mappatura degli effetti di catastrofi naturali.

2.2 Distribuzione spaziale dei dissesti in relazione alla precipitazione

Nell'affrontare la descrizione degli effetti al suolo, individuati ed analizzati nell'area di studio, si osserva come le loro tipologie "colleghino" di fatto la dinamica dei versanti a quella dei corsi d'acqua, configurandosi come un tema di comune interesse tra i geologi che si occupano di movimenti franosi e chi studia il ciclo dell'acqua. E' in quest'ottica che che i due Servizi hanno collaborato all'approfondimento oggetto del presente report.

La Figura 5 mostra la localizzazione dei dissesti mappati nell'area d'indagine (rettangolo verde), divisi per tipologia, in relazione con la stima delle precipitazione osservata nelle 3 ore nel periodo di massima intensità (dalle 23 alle 2 locali).

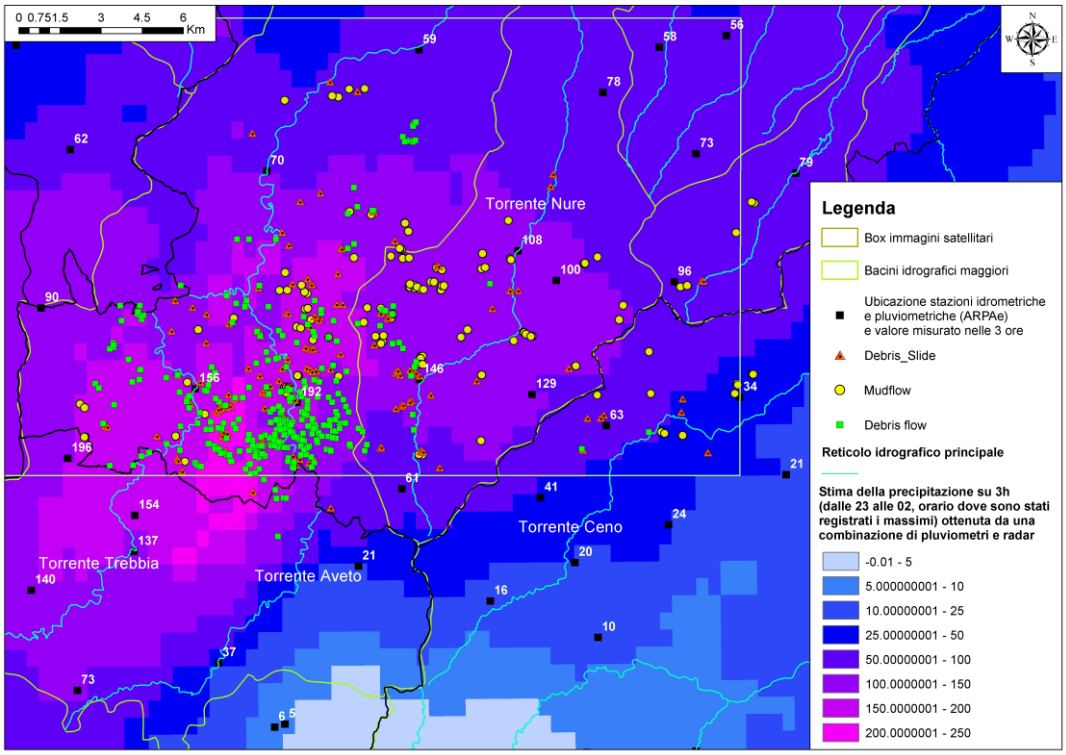

Figura 5: Distribuzione dei principali effetti al suolo causati dal nubifragio, in particolare vengono riportate le seguenti categorie di trasporto in massa: debris slide, debris flow e mud flow lungo i versanti e lungo le aste dei torrenti e dei rii minori. L'area di studio esaminata è interna al box verde, che racchiude la porzione montana dei bacini idrografici dei torrenti Trebbia, Nure, Arda, Chiavenna, Tidone e Ceno. Le forme censite sono approssimate a punti.

La Figura 6 mostra la distribuzione dei principali effetti al suolo riconosciuti per "microbacino", ovvero nelle U.I.E. definite nel paragrafo 2.1 nell'area di studio.

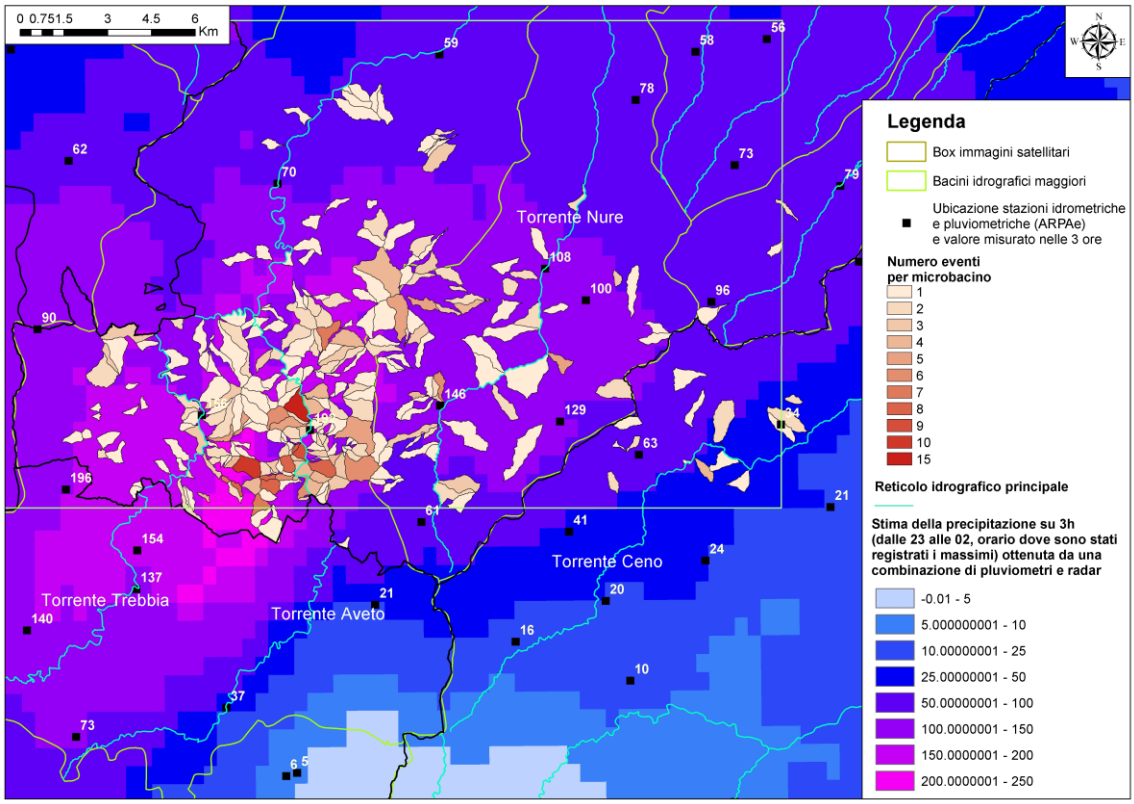

Figura 6: Numero di eventi di trasporto in massa censiti in ciascun microbacino rapportati agli stessi tematismi di cui in Figura 5.

La comparazione delle Figure 5 e 6 mostra che le segnalazioni, oltreché ad essere numerose, hanno interessato molti corsi d'acqua e in più punti, in particolare nel settore montano dei bacini idrografici dei torrenti Trebbia, Nure, Ceno e Arda. La concentrazione maggiore è stata identificata nei bacini idrografici dei torrenti Trebbia e Nure. Inoltre, ad un primo giudizio qualitativo, risulta evidente la buona correlazione fra la distribuzione dei dissesti e la stima della massima precipitazione sulle 3 ore, che sembra quindi essere un intervallo di tempo sufficientemente lungo affinché si possano sviluppare forme riconducibili a meccanismi di trasporto in massa, di una entità significativa. Nella prossima sezione cercheremo di quantificare questa relazione.

La Figura 7 mostra la distribuzione sui microbacini di un sottoinsieme dei dissesti osservati, quello imputabile ai debris flow (o colata di detrito), il fenomeno osservato con maggior frequenza e che ha creato maggiori situazioni di rischio. In termini di debris flow il bacino dell'Aveto è stato quello più colpito. L'intensità e durata delle precipitazioni, associata alla forte acclività dei versanti, caratteristica peculiare di questo bacino, ha favorito l'innesco di numerose colate di detrito (caratterizzate dal trasporto in massa, veloce, di abbondante materiale solido con caratteristiche granulometriche molto diverse, tecnicamente definito eterometrico) in grado di investire e travolgere tutto ciò che si trovava lungo il percorso. Questo ha provocato notevoli modificazioni morfologiche dei torrenti e numerose situazioni di criticità, soprattutto alla confluenza con il fondovalle che rappresentano le aree più densamente popolate.

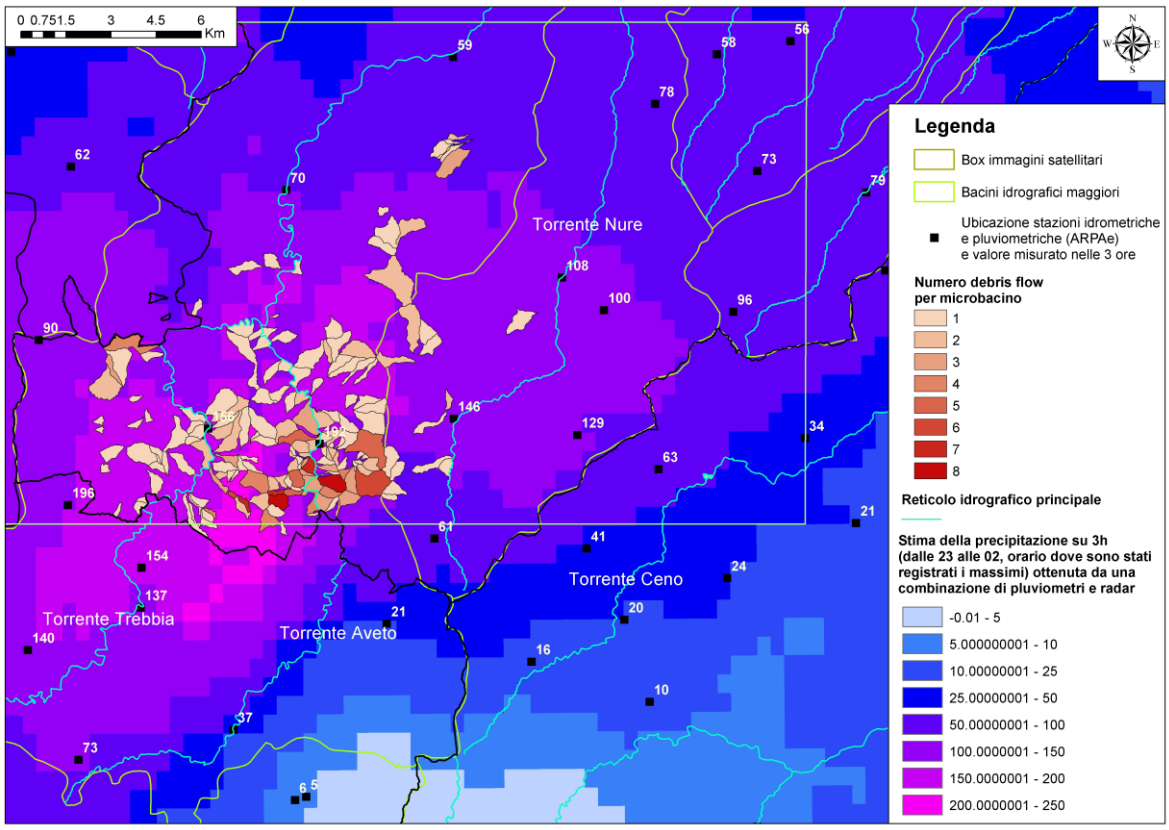

Figura 7: Numero di debris flow censiti in ciascun microbacino.

Nell'area di studio sono stati riconosciuti due tipologie di colate di detrito: di versante non incanalate e incanalate (Figure 8, 9 e10).

2.3 Descrizione delle colate osservate e schematizzazione della loro evoluzione

Nell'area di studio sono stati riconosciuti due tipologie di colate di detrito: di versante non incanalate e incanalate. Il modello interpretativo è schematizzato in Figura 8: esempi sono illustrati nelle Figure 9 e10. Si noti come nella schematizzazione di figura, tratta dalla bibliografia, si faccia riferimento ad un contesto geologico analogo a quello di molti settori dell'area di studio, caratterizzati dalla presenza di un substrato in roccia competente (i Flysch del Dominio Ligure), ricoperto da depositi superficiali costituti da detrito.

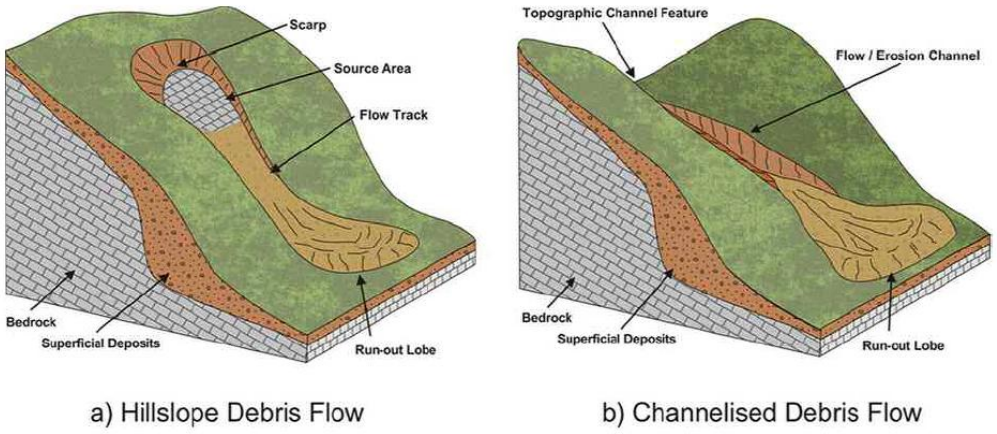

Figura 8 - Colate di detrito non incanalate (a) e incanalate (b). Da Cruden & Varnes (1996).

Figura 9 - Esempio di colata di detrito non incanalata (sinistra) e relativo deposito (destra)

Figura 10 - - Esempio di colata di detrito incanalata (sinistra) e relativo deposito alla confluenza con il fondovalle.

La Figura 11 schematizza il modello interpretativo, derivato delle osservazioni di campagna effettuate nel corso dei rilevamenti eseguiti nell'immediato post-evento, come pure nel corso del 2016. Alcune delle forme rilevate (ad esempio, quelle erosive) conservano, infatti, una persistenza che le rende a tutt'oggi osservabili. Lo schema sintetizza, da un punto di vista concettuale, l'evoluzione da monte verso valle di una colata di detrito canalizzata. Le Figure da 12 a 20, mostrano a titolo esemplificativo, i principali effetti al suolo descritti in Figura 11.

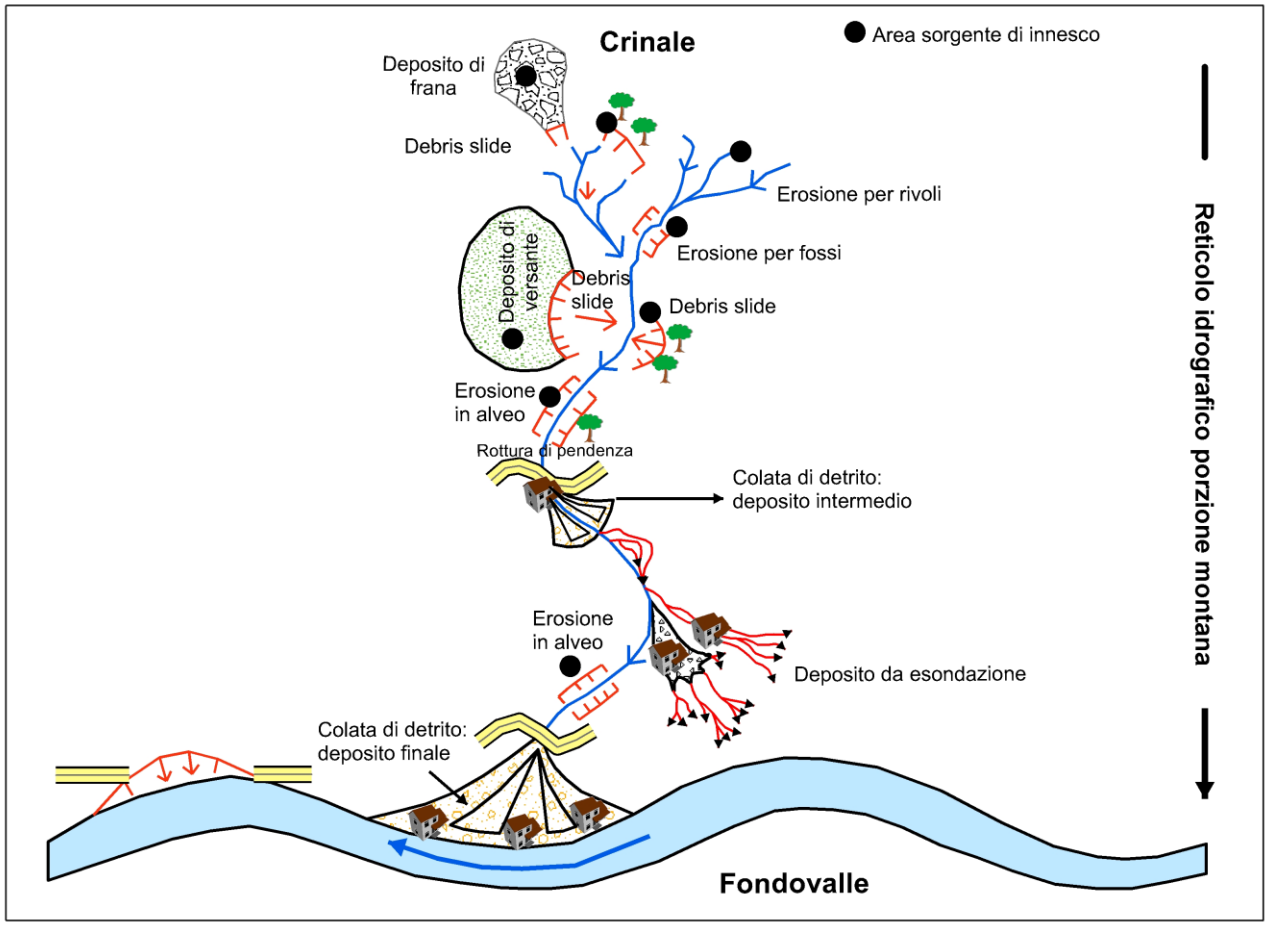

Figura 11 – Schema concettuale che descrive l'evoluzione di una colata di detrito incanalata entro un affluente minore di un corso d'acqua principale, da monte (area di innesco) verso la confluenza con quest'ultimo.

Figura 12 - Esempio di area sorgente. In questo caso si tratta di deposito colluviale accumulato lungo il versante.

Figura 13 - Esempio di area sorgente da Debris Slide

Figura 14 - Esempio di forme erosive in alveo, lungo il percorso di una colata di detrito canalizzato, su un substrato costituito da un unità geologica del tipo "Flysch ad Elmintoidi". Il deposito alluvionale, presente nell'alveo prima dell'evento, è stato completamente rimosso provocando l'esposizione del substrato

Figura 15 - Esempio di deposito intermedio da colata di detrito. Il deposito ha la tipica forma a ventaglio e risulta costituito da accumuli caotici di elementi litoidi eterogenei ed eterometrici in matrice sabbiosa prevalente (nella parte apicale del deposito) che evolve sottocorrente a depositi sempre più fini articolati in corpi nastriformi. Questi depositi si formano generalmente in corrispondenza di importanti rotture di pendenza naturali o artificiali lungo l'alveo, dovute per esempio dalla presenza di infrastrutture. Questi fenomeni possono portare a danneggiamenti diffusi delle infrastrutture e alle abitazioni presenti sul territorio.

Figura 16 - Esempio deposito da esondazione. Tipicamente questi depositi si espandono e possono disporsi in corpi allungati o radiali quali lingue, lobi e ventagli. Nello specifico il deposito è costituito nella parte apicale da accumuli caotici di ghiaia prevalente (localmente con blocchi) a forma di ventaglio, che passano sottocorrente a depositi sempre più fini articolati in corpi nastriformi. Generalmente questi depositi si formano quando il tracciato del corso d'acqua subisce brusche variazioni, oppure in corrispondenza di tombinature\ponti occlusi per effetto del materiale trasportato dalla colata di detrito.

Figura 17 - Esempio di passaggio di una colata di detrito canalizzato su un substrato costituito da brecce poligeniche a matrice argillosa. Dopo il passaggio della colata di detrito, che ha profondamente eroso l'alveo, i versanti del torrente sono stati interessati da fenomeni tipo debris slide e conseguente intasamento del fondo da parte del relativo deposito.

Figura 18 - Tipico deposito da colata di detrito incanalato che si forma alla confluenza con il fondo valle. Questi depositi hanno la caratteristica forma di ventaglio e risultano costituiti da accumuli caotici di elementi litoidi eterogenei ed eterometrici in matrice sabbiosa prevalente. Si nota inoltre l'abbondante presenza di tronchi e rami. Questi fenomeni possono portare a danneggiamenti diffusi delle infrastrutture e alle abitazioni presenti sul territorio.

Figura 19 - Confluenza torrente Grondana con il fondovalle del torrente Nure prima del nubifragio (pannello superiore) e dopo il nubifragio (pannello inferiore). Da evidenziare il significativo mutamento della conformazione dell'alveo del torrente Grondana, affluente in sinistra del torrente Nure, avvenuto nel lasso di tempo di poche ore a causa del nubifragio. La copertura vegetale asportata, in combinazione con il materiale alluvionale eroso, ha spesso amplificato i danni lungo i torrenti sia di rango gerarchico minore che maggiore.

3. ANALISI DEI RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1 Correlazione fra intensità di precipitazione, densità di colate e acclività

In questa sezione cercheremo di quantificare la relazione fra la forzante meteorologica e gli effetti al suolo. I dati di questo evento rappresentano un importantissimo caso studio, sia per l'intensità del fenomeno osservato che per la quantità e qualità di dati disponibili (meteo e di dissesti), riferiti ad un contesto di "area vasta". L'obiettivo è quello di fornire una base oggettiva per una loro previsione futura, a partire dal riconoscimento della forzante meteorologica per poi arrivare alla previsione di innesco di fenomeni al suolo di tipo colata di detrito.

Per ottenere questo riteniamo utile un approccio multidisciplinare che combina l'inquadramento meteorologico e il dato geomorfologico, anche in relazione alla dinamica d'alveo e agli aspetti di collegamento con il ciclo dell'acqua, tracciando una metodologia applicabile in sede operativa previsionale a supporto dell'attività del Centro Funzionale. Il attesa di studi di maggiore dettaglio, alcuni già in corso di realizzazione, proponiamo quindi un metodo speditivo che si basa su l'individuazione di soglie o classi d'intensità derivate dai dati osservati. Per fare ciò consideriamo come unità elementari di territorio le Unità Idromorfologiche Elementari (vedi sopra Materiali e metodi), che chiameremo microbacini. Queste unità corrispondono a piccoli bacini idrografici montani, con dimensioni areali variabili fra 1 e 5 km^2 e che non superano l'ordine 3 (secondo il sistema di ordinamento idrografico di Strahler e la classificazione della base dati SGSS). Nell'area d'esame (quella inclusa nel rettangolo verde di Figura 5) i microbacini individuati sono 286. Su questi abbiamo calcolato la pioggia media areale registrata nelle tre ore e l'acclività media del microbacino che metteremo in relazione con il numero di debris flow censito su ciascun microbacino.

Lo scatter plot di Figura 20 esplora la relazione fra precipitazione media su microbacino, acclività e numero di eventi di debris flow. Sebbene i punti nel grafico siano abbastanza dispersi è possibile rilevare alcune importanti evidenze:

- Il numero dei debris flow tende ad aumentare all'aumentare dell'intensità di precipitazione e dell'acclività. In particolare riguardo all'acclività si evidenzia una soglia critica piuttosto netta, pari a 25°, sotto la quale, anche con precipitazioni estreme, il numero di eventi rimane limitato (solo 7 eventi pari al 2,5% dei dissesti osservati). Il 97,5% dei microbacini interessati da debris flow insiste su versanti aventi un'inclinazione media superiore ai 25°;
- L'area del grafico a maggiore densità di debris flow è quella relativa a versanti (nei microbacini) con inclinazioni fra 35°- 45° e precipitazioni fra 125 – 175 mm in 3 ore.
- Il 41,6% dei microbacini interessati da debris flow ha inclinazione media compresa tra 25° e 40°;
- Il 55,4 % dei microbacini interessati da debris flow ha una inclinazione media superiore a 40°;
- Sopra i 60°, l'eccessiva acclività non favorisce l'accumulo di coperture detritiche e quindi anche i debris flow diventano rari.

Avendo riscontrato come in presenza di acclività inferiori ai 25°, l'attivazione di debris flow risulti meno favorita, in Figura 21 riportiamo il grafico che considera la distribuzione dei dissesti in funzione della precipitazione solo per i microbacini con acclività media superiore ai 25. Da questa analisi risulta molto evidente una relazione di crescita lineare dei dissesti all'aumentare della precipitazione, particolarmente evidente nell'intervallo centrale di precipitazione.

In particolare si osserva che :

- Sui micro bacini che hanno fatto registrare piogge medie areali inferiori ai 50 mm in 3 ore (49 in tutto nell'area) non si è registrato alcun caso di debris flow;
- I microbacini nell'area dove si sono registrate piogge medie areali comprese fra 50 e 75 mm in 3 ore sono stati 19, su 3 di questi si sono registrate colate detritiche, pari quindi ad una percentuale di attivazione di microbacini del 15,8% ;
- Fra 75 – 175 mm in 3 ore si ha una crescita lineare della percentuale di microbacini coinvolti per ogni aumento di 25 mm di pioggia media areale. In questo range si nota quindi una fortissima correlazione fra pioggia media areale e diffusione areale dei dissesti;
- La classe di precipitazione dove si registrano più dissesti è quella compresa fra 150 - 175 mm in 3 ore, con 61 microbacini attivati su 83, pari ad una percentuale del 73,5%;
- Per classi d'intensità ancora superiori si nota il raggiungimento di una fase asintotica dove si raggiunge la massima densità di effetti al suolo. Inoltre si osserva un lieve calo relativo dei microbacini coinvolti mentre aumentano i dissesti all'interno dei pochi microbacini interessati. Questo effetto potrebbe essere dovuto al fatto che i microbacini soggetti alla massima intensità sono situati proprio al confine della zona d'indagine. La zona è quindi solo parzialmente coperta da foto aree e anche i rilievi in campo sono stati meno capillari. Questo potrebbe essere stato d'ostacolo al censimento completo di tutti i microbacini della zona. Ricordiamo che nelle classi d'intensità superiori ai 175 mm in 3 ore ricadono solo 30 microbacini e quindi il mancato censimento di alcuni di essi può alterare significativamente la statistica;
- Secondo quest'analisi di prima approssimazione, la mancata attivazione di colate di detrito in microbacini, che pure si registra per valori elevati di precipitazione media areale (>150mm in 3 ore), sta ad indicare come esistano altri fattori che (insieme all'acclività) concorrono alla attivazione delle colate di detrito. Tra questi: l'esposizione, la vegetazione (quindi l'uso del suolo e la sua evoluzione negli ultimi sessant'anni) e la presenza di coperture detritiche. A questo proposito l'analisi sul campo ha evidenziato come, a scala di dettaglio (inferiore a 1:10.000), emerga una sottostima della presenza di questo tipo di deposito.

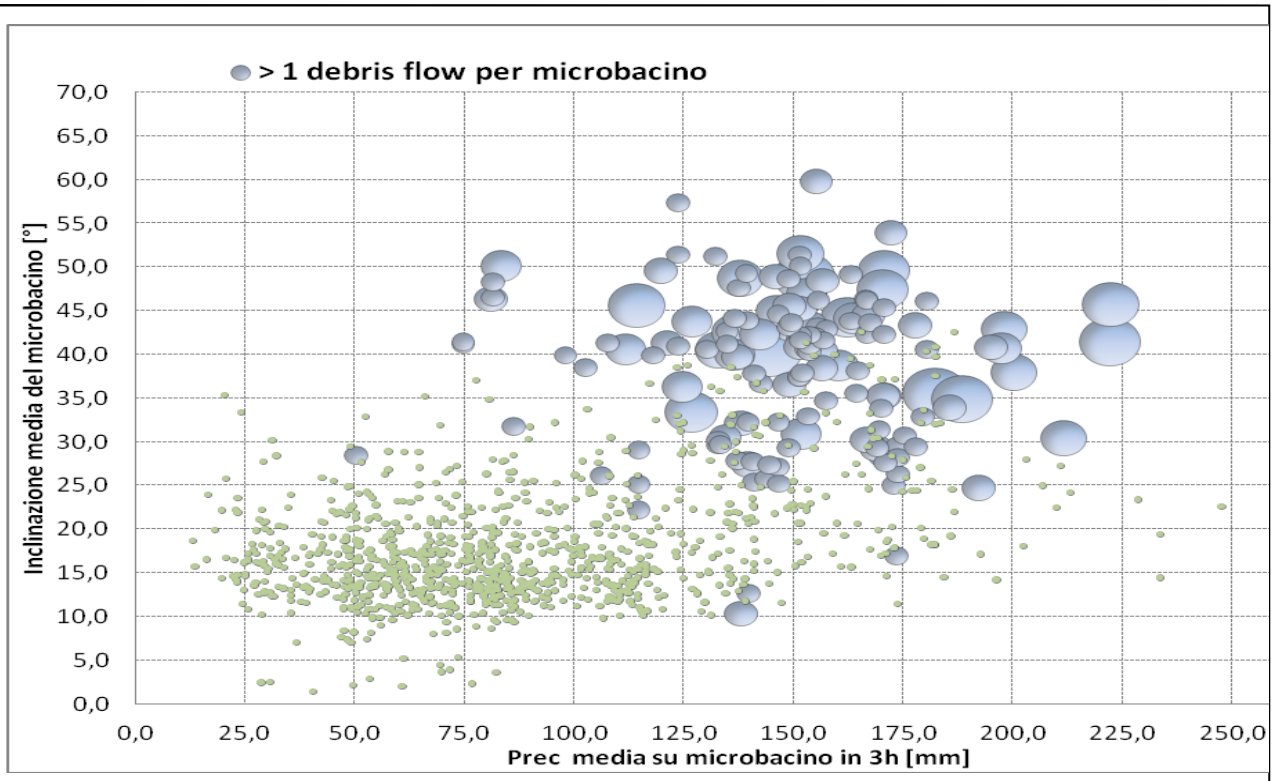

Figura 20 – Relazione fra numero di eventi censiti per microbacino, pioggia nelle 3 ore e acclività media del microbacino. I punti verdi corrispondono a micro bacini dove non sono stati registrati debris flow. I cerchi blu rappresentano i microbacini con almeno un debris flow censito. Il diametro del cerchio è proporzionale al numero di eventi per microbacino

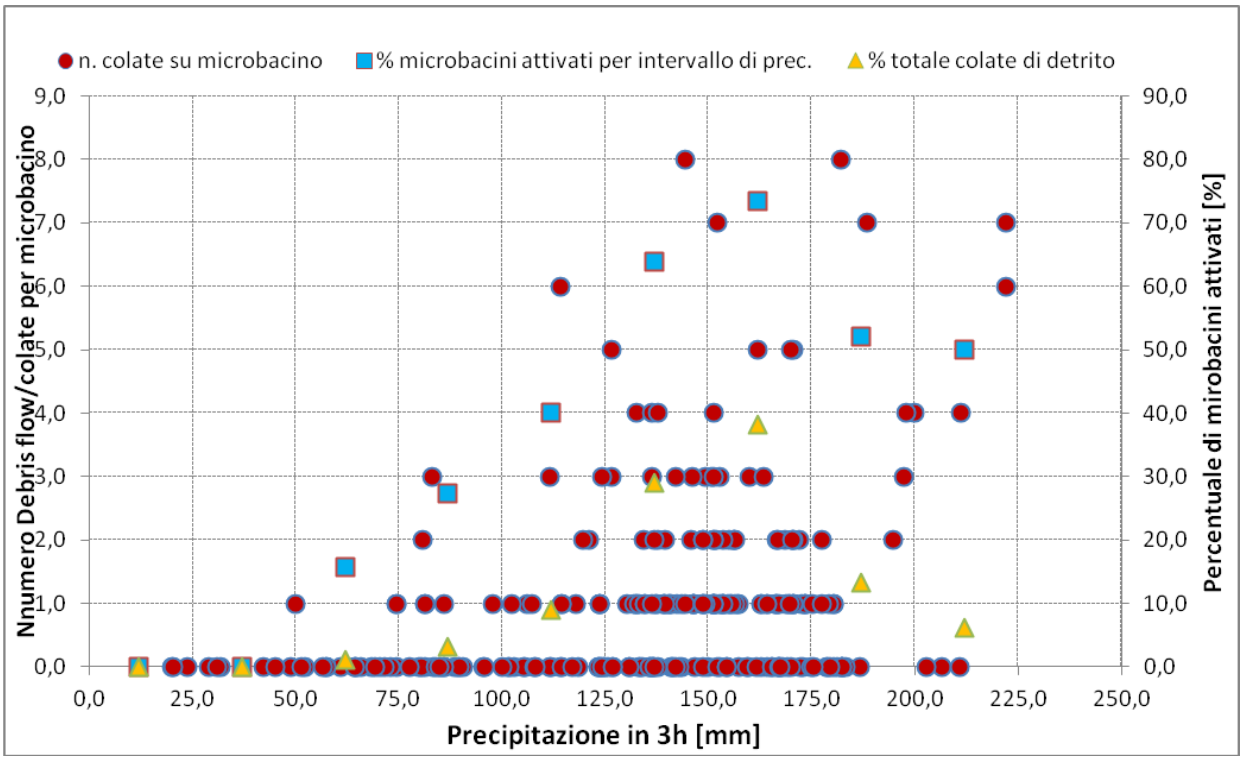

Figura 21 - Grafico relativo solo ai microbacini con acclività media superiore ai 25°. Il grafico mostra la relazione fra la pioggia media areale, colate detritiche censite e i microbacini interessati.

3.2 Discussione su probabili soglie d'innesco

Da una prima ipotesi di lavoro, basata sull'analisi visuale dello scatter plots, possiamo quindi delineare le seguenti categorie:

a) Per i microbacini ad acclività media inferiore ai 25° la probabilità di attivazione di debris flow si mantiene bassa anche con valori precipitazione in 3 ore molto elevata.
b) Per i microbacini con acclività superiore ai 25° e condizioni geologiche e morfologiche predisponenti allo sviluppo di una copertura detritica si possono individuare quattro categorie:
    1) Una prima classe, con precipitazioni fino a 50 mm in 3 ore, mostra dissesti improbabili o del tutto assenti;
    2) La classe fra 50 -100 mm in 3 ore mostra un rapido aumento della frequenza delle colate e dei microbacini interessati. Il valore di 75 mm in 3 ore sembra essere discriminatorio nell'individuare una soglia oltre la quale la frequenza di colate diventa significativa a livello territoriale, con il 15,8% dei microbacini interessati.
    3) Fra 100 – 150 mm in 3 ore la frequenza delle colate aumenta linearmente arrivando ad interessare oltre il 60% dei microbacini. Inoltre su ciascun microbacino sono frequenti colate multiple. Questa classe può essere definita ad alta probabilità di colate.
    4) La quarta classe riguarda i microbacini con precipitazioni superiori ai 150 mm in 3 ore. Su questi microbacini le colate di detrito sono molto probabili (sempre che ci siano le condizini geologiche e geomorfologiche adatte per la loro attivazione).

L'esperienza maturata sul nostro territorio ci indotto a considerare l'intervallo temporale di 3 ore come migliore (più significativo) indicatore dell'innesco su scala vasta di questi fenomeni. Riteniamo che questo intervallo temporale sia infatti sufficientemente breve da permettere di cogliere i picchi d'intensità di macro strutture precipitanti (scala oraria) e allo stesso tempo sia abbastanza esteso da permettere lo svilupparsi di fenomeni (come la catena di eventi nello schema di Figura 11) su un area vasta. Se infatti restringiamo l'analisi a intervalli temporali molto corti anche a fronte d'intensità elevate si rischia che le aree sorgenti dei debris flow non abbiano il tempo di raggiungere quel grado di saturazione necessario per iniziare il loro innesco. Recentemente per esempio, nel luglio 2016 la stazione di Salsominore, sul bacino dell'Aveto, ha fatto registrare una precipitazione di 65 mm in 30 minuti (addirittura superiore a quella registrata dalla stessa stazione nel Settembre 2015) e un valore orario anch'esso molto elevato di 81mm in 1 ora (contro i 107 mm in 1 ora di precipitazione massima registrati nel settembre 2015). Dopodiché la precipitazione è cessata e non si sono registrati effetti al suolo di alcun genere. Si rileva quindi che a parità di condizioni territoriali (entrambe i casi sono accaduti in periodo di assenza di precipitazioni significative antecedenti) gli effetti sono stati notevolmente diversi e probabilmente da imputarsi alla diversa durata e estensione della forzante meteorologica. La differenza sostanziale fra i due eventi è infatti da attribuire alla diversa natura dei due sistemi temporaleschi, quello dell'estate 2016 dovuto alla persistenza di cella temporalesca singola, spazialmente e temporalmente poco estesa (dell'ordine alcuni km^2), al contrario quello del settembre 2015 originato da un sistema convettivo organizzato di ampiezza superiore a 500 km^2 e di durata di alcune ore. E' proprio quest'ultima tipologia dei fenomeni convettivi organizzati, tipici del

periodo fine estate, inizio autunno che riteniamo capaci di scatenare questo tipo di effetti al suolo. La loro ampia dimensione spaziale è fondamentale per l'attivazione contemporanea di colate di detrito.

3.3 Il contributo dell'analisi storica

Gli ultimi due eventi riconducibili alle caratteristiche sopra descritte sono quelli accaduti in maniera ravvicinata sul settore appenninico dell'Emilia-Romagna (Ottobre 2014 in Val Parma-Val Baganza e Settembre 2015 in Val Trebbia e Val Nure); essi suscitano interrogativi su una loro frequenza passata e sulla probabilità di accadimento futura.

Si suppone che l'attivazione di debris flow su vasta scala (come in questi due recenti casi) sia indissolubilmente legata alla presenza di un MCS (Sistema Convettivo alla Mesoscala), ovvero all'unica tipologia di sistema precipitativo in grado di produrre effetti di questo tipo sul nostro territorio che, per presenza di vaste coperture vegetali e tipo di detrito, è meno predisposto ad esempio del settore alpino.

Figura 23 – Estratto dalla Gazzetta di Parma del 17/10/1980 che testimonia il significativo trasporto in massa registrato in una frazione di Monchio delle Corti

Si può allora tentare di inferire l'occorrenza passata di MCS dalle notizie storiche di danni da dissesto, come appunto debris flow o improvvise piene fluviali su bacini di ordine superiore. Se ci si concentra su notizie imputabili a debris flow le notizie storiche sono frammentarie. Sono noti i casi dell'evento del Settembre 1953 sul bacino del Trebbia, del Settembre 1972 e 1973 sui bacini del Secchia e Panaro e, da una ricerca di dettaglio effettuata da uno degli autori presso l'Emeroteca della Biblioteca Civica del comune di Parma, quelli legati all'evento del 17 ottobre 1980 che colpì particolarmente l'alta Val Parma. Di questo evento si allega una foto pubblicata sulla Gazzetta di Parma i giorni successivi (Figura 23) scattata nel comune di Monchio delle Corti e che consente di riconoscere depositi da piene da trasporto in massa tipo debris flow. Risultano inoltre danni analoghi in Val Parma, per un evento datato al 22 ottobre 2002.

3.4 Trend in atto sulla frequenza dei sistemi convettivi a mesoscala

Molte ricerche si stanno concentrando su come individuare trend sulle precipitazioni intense. L'argomento è di difficile trattazione statistica in quanto si tratta di individuare trend di eventi poco frequenti e sui quali si dispone di serie storiche troppo brevi. Ulteriore complicazione nasce dal fatto che nella maggioranza dei casi, pur rispondendo di serie storiche lunghe, la strumentazione è cambiata nel tempo. Inoltre per giudicare trend nell'intensità di precipitazione è necessario analizzare la scala oraria, non sempre disponibile per il passato, piuttosto che il totale giornaliero. Tutto questo rende molto difficoltoso asserire con rigore statistico che è presente un trend in atto sulle precipitazione intense.

Tuttavia riteniamo doveroso provare a dare una risposta sulla base dei dati presenti nella banca dati dell'Emilia-Romagna. Per fare questo abbiamo basato la nostra ricerca su concetto di identificazione dei MCS in base alla risposta contemporanea di più osservazioni pluviometriche, sia sullo stessa stazione, sia su stazioni limitrofe. A seguito di una serie di affinamenti su casi studio, individuiamo la presenza di un MCS se la soglia di precipitazione oraria di 30 mm viene superata almeno 5 volte nel giro di 6 ore. Poichè questi sistemi dell'ordine dei 100 – 1000 km^2 di estensione spaziale, con un network osservativo regionale di circa 1 stazione ogni 95 km^2, inizialmente (negli anni '90), aumentato a 1 stazione ogni 45 km^2 dai primi anni 2000, possiamo affermare che è molto probabile che in caso di presenza di MCS una o più stazioni della regione siano interessate da precipitazioni di forte intensità. Questa ipotesi non vale invece per le precipitazioni prodotte da celle singole, dell'ordine del km^2, non rilevabili sistematicamente neanche con l'attuale densità osservativa dei pluviometri e che quindi con questo criterio sono di fatto filtrate via.

Questo tipo di analisi, seppur empirica e basata su criteri arbitrari, ma la cui definizione deriva dall'esperienza soggettiva di molti casi passati, mostra l'aumento di frequenza dei casi individuati con MCS, particolarmente rilevante a iniziare dal 2013. Nel settembre 2015 si sono registrati 47 superamenti della soglia oraria di 30 mm, il numero maggiore di tutta la serie a dimostrazione della sua intensità/estensione. Tuttavia anche il 2013 e 2014 hanno fatto numerosi registrare MCS molto estesi (l'alluvione del Parma-Baganza, e del Santerno) rientrano fra questi. Si nota inoltre dal 2008 una maggiore precocità annuale di questi eventi già presenti ad iniziare dai mesi di Aprile e Maggio, cosa molto insolita o del tutto assente prima degli anni 2000. E' inoltre evidente un analogo sconfinamento verso l'autunno inoltrato. Si nota quindi una tendenza all'ampliamento del periodo dell'anno nei quali questi sistemi sono possibili. Il periodo dicembre-marzo si conferma (al momento) la parte dell'anno nel quale questi sistemi convettivi sono assenti sul nostro territorio (o fortemente improbabili).

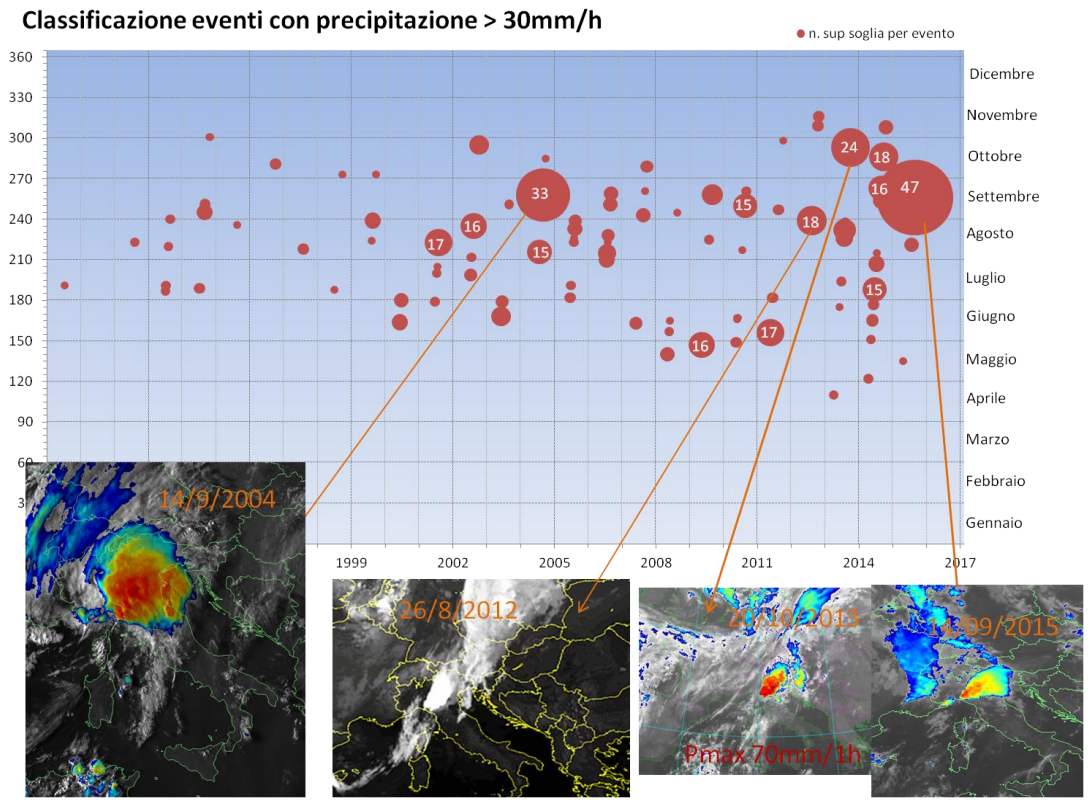

Figura 24 – Eventi di precipitazione intensa, ascrivibili a MCS, individuati nel periodo 1990-2015 sulla base del conteggio dei superamenti della soglia 30 mm in 1 ora. I superamenti della soglia sono dedotti dalla scansione di tutti i dati osservativi orari (dati in tempo reale, climatologici, storici) presenti nell'archivio regionale di Arpae. Sull'asse delle ascisse sono presenti gli anni, sull'asse delle ordinate sono presenti a sinistra il giorno giuliano dell'anno, sulla sinistra il mese dell'anno. Ogni pallino rappresenta un evento nel quale è stata superata la soglia dei 30 mm orari almeno 5 volte, sia perché il superamento è avvenuto nella stessa stazione o in stazione diverse. La dimensione dei pallini è proporzionale al numero di superamenti. Negli eventi con più di 15 superamenti viene riportato il numero, dentro il pallino, del totale dei superamenti. Nel settembre 2015 si sono registrati 47 superamenti della soglia 30 mm in 1 ora, il numero maggiore di tutta la serie a dimostrazione della sua intensità/estensione. Infine i riquadri sotto mostrano a titolo esemplificativo che tutti i maggiori eventi sono associati alla presenza di MCS più o meno estesi, facilmente riconoscibili nelle corrispondenti immagini da satellite.

Si ringrazia per la collaborazione e utili consigli nella fase di stesura del report Rosanna Foraci, Sandro Nanni, e l'unità RadarMeteorologia di Arpae-SIMC e Maria Teresa De Nardo del SGSS. Ringraziamo inoltre Marco Pizziolo di SGSS per aver messo a disposizione il database con il censimento di prima approssimazione dei dissesti.

4. BIBLIOGRAFIA

ARPAE Servizio IdroMeteoClima & Servizio geologico, sismico e dei suoli (2015) – Rapporto sull'evento alluvionale del 14 settembre 2015, 44pp.

ARPAE Servizio IdroMeteoClima (2014) – Rapporto sull'evento meteo idrogeologico e idraulico del 20 settembre 2014, 37pp.

Cruden, D. M. & Varnes, D. J. (1996). Landslide types and processes. In Landslides: Investigation and Mitigation, Special Report 247, 36-75. Washington: Transportation Research Board.

Rapetti C. & Rapetti F. (1997). L'evento pluviometrico eccezionale del 19 giugno 1996 in Alta Versila (Toscana) nel quadro delle precipitazioni delle Alpi Apuane. Atti Soc. Tos. Sci. Nat. Mem., Ser.A, 103, 143-159.

View publication stats