

## Cumulonembi, dissesti, allarme idrogeologico immediato: applicazione all'evento piovoso del 13 settembre 2012 nel bacino del fiume Sarno

### Premessa

Nella prima parte della giornata di giovedì 13 settembre 2012 la parte nord-occidentale della provincia di Salerno è stata investita da intensi fenomeni temporaleschi, di tipo autorigenerante, con accumuli pluviometrici che hanno superato i 60 mm in meno di due ore di precipitazioni, come risulta dai report delle centraline di monitoraggio di [www.campanialive.it](http://www.campanialive.it) (Pagani, Nocera Inferiore, Mercato San Severino, Siano ed altre). Peraltro alcune centraline, ubicate nella stessa area e gestite da privati, riportano accumuli prossimi e localmente superiori ai 100 mm. L'enorme volume idrico precipitato sulla superficie del suolo, ancora una volta senza un adeguato sistema di difesa dei cittadini, come in altre recenti occasioni, ha innescato una serie di dissesti al suolo fortunatamente senza vittime.

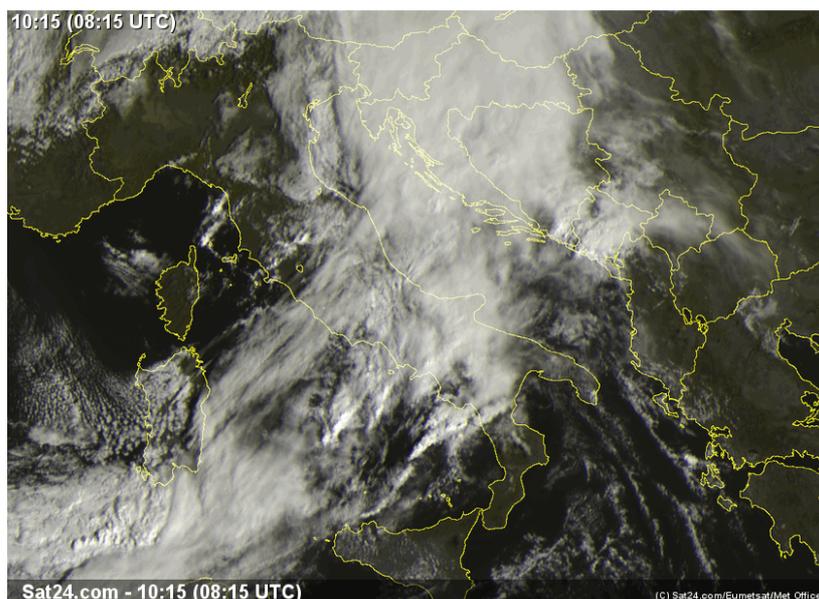
### Genesi del fenomeno

La genesi del fenomeno temporalesco osservato è da correlare al transito sul Mar Tirreno, da Nord-Ovest verso Sud-Est, di un fronte freddo giunto dalla Francia, seguito da masse di aria fresca di origine polare marittima e preceduto da un flusso meridionale di aria calda ed umida di origine nord-africana.

La spinta meridiana delle correnti in ingresso sul Mediterraneo occidentale attraverso la Valle del Rodano ha portato ad un rapido invortimento delle correnti aeree sui mari intorno alla Sardegna, con conseguente formazione di un vortice ciclonico autonomo per processo di "cut off". In corrispondenza del fronte si è, quindi, venuto a creare un marcato gradiente termico orizzontale, associato ad elevate velocità delle correnti in media troposfera (circa 150 km/h), in particolare nel settore meridionale del "cut off": quest'ultimo ha indotto forti *shear* verticali della velocità del vento, circostanza che costituisce fattore predisponente allo sviluppo di fenomeni temporaleschi di forte intensità.

Il marcato forcing dinamico generato dall'avanzata del fronte freddo ha causato la formazione di alcune cellule temporalesche prefrontali, organizzatesi poi in sistemi convettivi a mesoscala, in particolare sul Mar Ionio, in successivo trasferimento verso l'Albania e le coste ioniche della Grecia.

Le immagini satellitari delle ore 10.15 ([www.sat24.com](http://www.sat24.com) - ora locale estiva) mostrano il fronte freddo che si estende dall'Austria all'Italia centrale e attraverso il Tirreno si spinge sino a raggiungere le coste algerine; si notano altresì i corpi nuvolosi ad ovest della Sardegna, indicativi dei forti venti da Nord-Ovest che spirano ad occidente dell'isola. Tra il medio e il basso Tirreno è possibile individuare quattro distinte cellule temporalesche. Di esse, tre sono posizionate ancora in mare aperto (due a Sud-Ovest del Golfo di Napoli e una al largo della costa cilentana); l'altra cellula ha invece "abbordato" la costa, investendo con particolare violenza il quadrilatero "Boscotrecase - Castellammare di Stabia - Salerno - Mercato San Severino", con intensità pluviometriche rilevanti (*rain rate* massimo di oltre 200 mm/h).



**Figura N°1: immagini satellitari nel campo del visibile relative alle ore 10.15 locali (orario estivo)**

Alle pagine seguenti si riportano i pluviogrammi relativi ad alcune centraline di rilevamento meteorologico installate nella zona interessata dal nubifragio gentilmente messi a disposizione da [www.campanialive.it](http://www.campanialive.it).

Si nota come il fenomeno temporalesco abbia avuto inizio intorno alle ore 08.30, ma con i massimi precipitativi che si sono sviluppati tra le 09.00 e le 10.00. A Boscotrecase il fenomeno risulta leggermente anticipato rispetto alle altre stazioni, per il suo trovarsi nella parte più occidentale nel quadrilatero nel quale sono state osservate le massime precipitazioni.

L'analisi dei pluviogrammi consente di ricavare che:

- 1) nella stazione di Boscotrecase sono caduti 42 mm tra le 08.30 e le 09.00
- 2) nella stazione di Pagani sono caduti 58 mm tra le 08.50 e le 09.40
- 3) nella stazione di Nocera Inferiore sono caduti 60 mm tra le 08.20 e le 10.00
- 4) nella stazione di Siano sono caduti 64 mm tra le 08.20 e le 10.10
- 5) nella stazione di Mercato San Severino sono caduti 65 mm tra le 08.00 e le 10.10

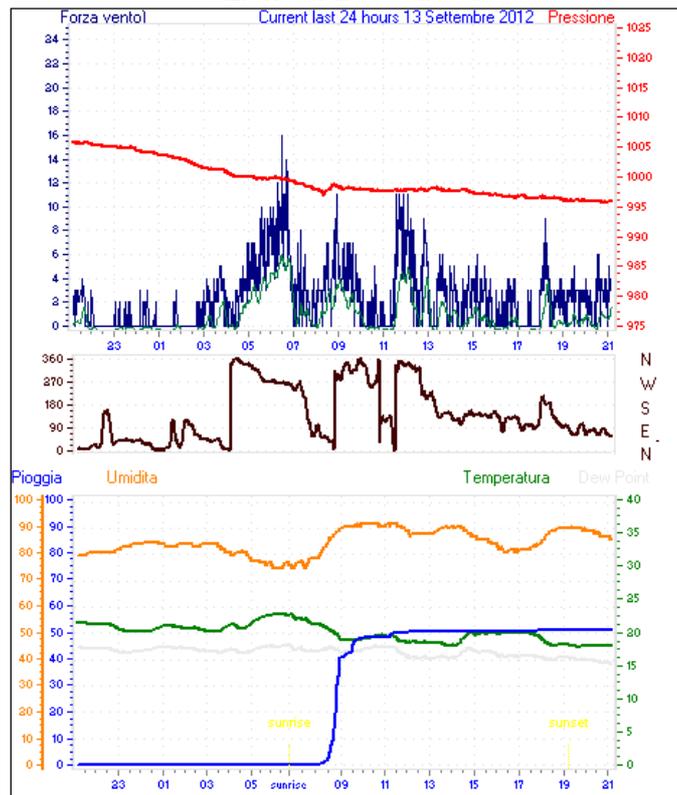
In base agli effetti innescati lungo il versante settentrionale del Monte Faito nel territorio di Castellammare di Stabia si ritiene che valori simili a quelli di Pagani siano precipitati anche a monte della città stabile.

Si tratta di accumuli notevoli, capaci di interagire in maniera significativa con la struttura geomorfologica del territorio investito, con potenzialità di induzione di forme di dissesto idrogeologico ovunque il territorio presenti forme di patologia geologica e geotecnica.

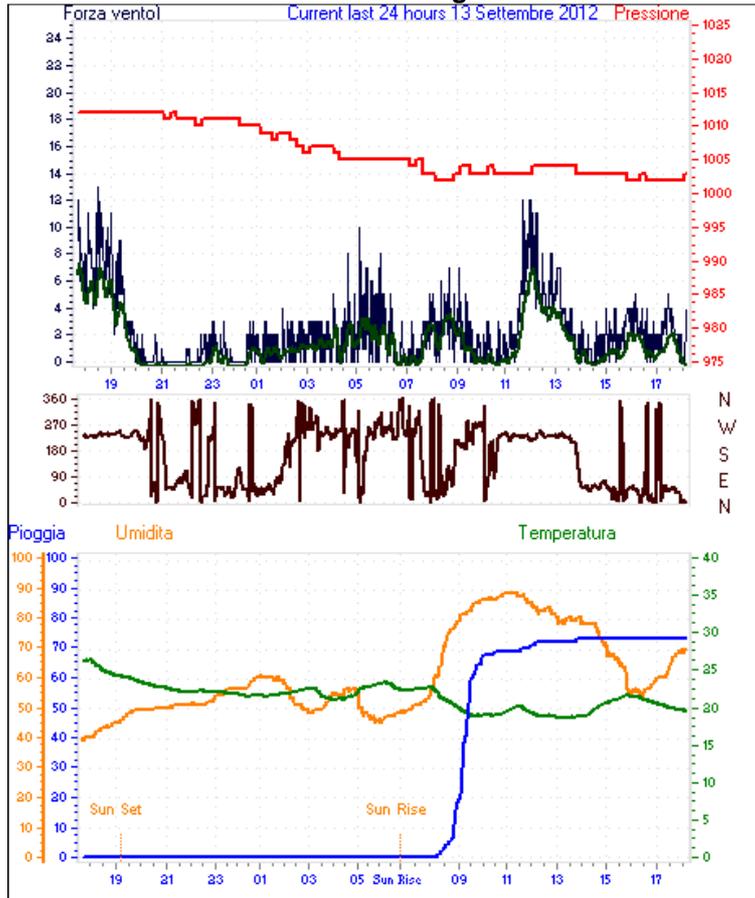
A tal proposito si vuol evidenziare un aspetto di grande importanza ai fini della sensibilizzazione delle Amministrazioni pubbliche in materia di Protezione Civile dal rischio su base pluviometrica. Ieri le zone interessate dall'evento meteorologico hanno ricevuto, mediamente, tra i 60 e i 70 mm di pioggia in circa 1 h 30'. Cosa sarebbe potuto accadere in termini di risposta del territorio se la quantità di pioggia avesse raggiunto i valori che hanno caratterizzato le alluvioni dell'autunno 2011 in Liguria (Cinque Terre, Genova) e nel messinese tirrenico? In questi casi, i quantitativi di pioggia hanno raggiunto accumuli di diverse centinaia di mm in poche ore, quantitativi quasi 10 volte superiori, con una punta di 150 mm in una sola ora di precipitazioni nel bacino del Rio Fereggiano.

La cosa da evidenziare è che i sistemi meteorologici che interessano il Mediterraneo centrale hanno una potenzialità enorme in quanto, soprattutto in autunno, la superficie del mare è ancora calda e riesce a "nutrire" i sistemi temporaleschi autorigeneranti con il proprio calore e con l'umidità prodotta dall'evaporazione. In Italia non esistono aree immuni dal pericolo di nubifragi e la Campania, per la sua struttura orografica, ha una sua strutturale predisposizione a tali eventi.

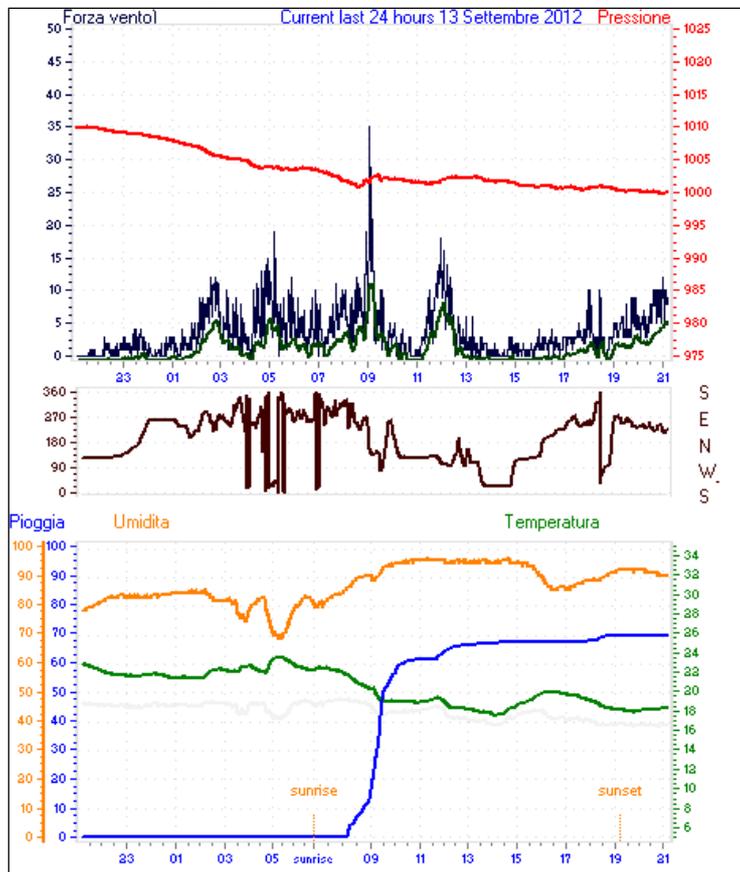
### Stazione di Boscotrecase



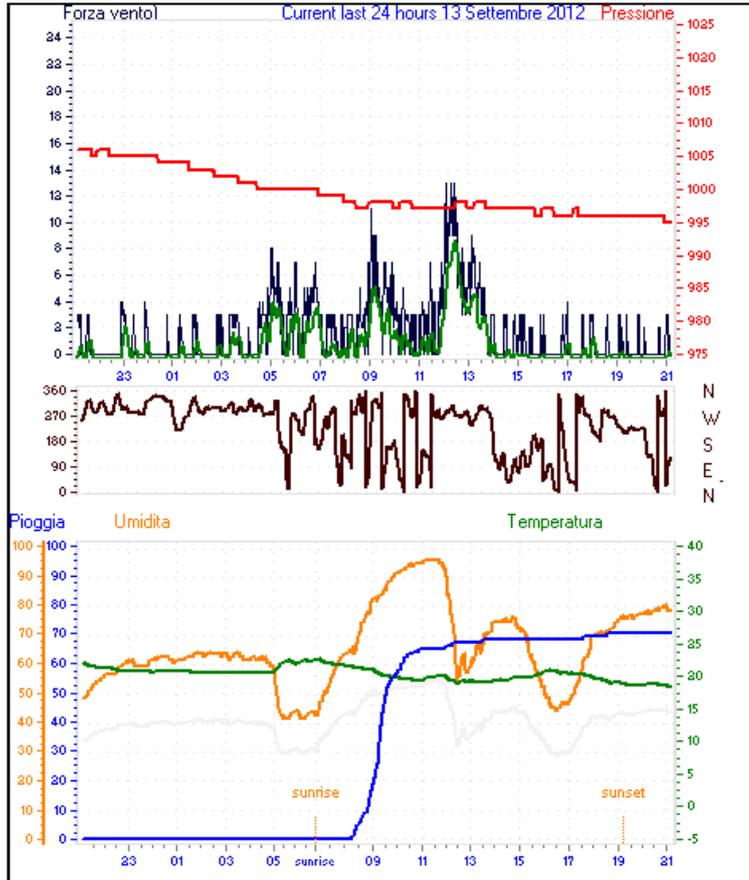
### Stazione di Pagani



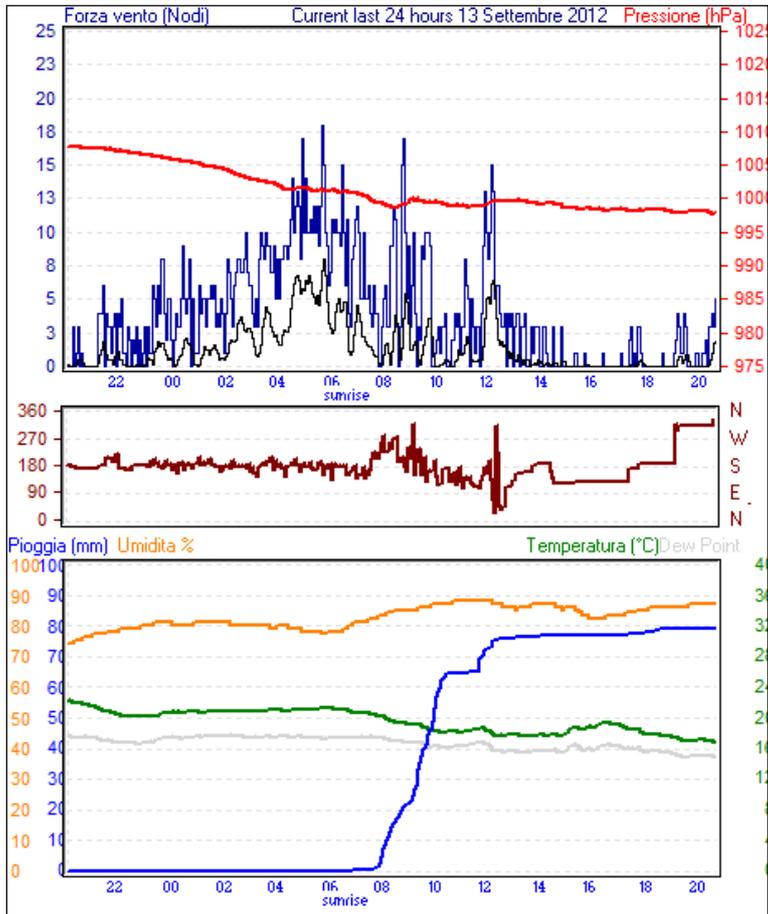
### Stazione di Nocera Inferiore



**Stazione di Siano**



**Stazione di Mercato San Severino**





**Figura 2: ricostruzione, su foto satellitare, dell'area interessata dall'evento piovoso del 13 settembre 2012.**



**Figura 3: ricostruzione, su foto modello tridimensionale del suolo, dell'area interessata dall'evento piovoso del 13 settembre 2012, quasi completamente costituente il bacino idrografico del Fiume Sarno.**

### **Effetti al suolo dell'evento piovoso**

Tra le ore 8,00 e le 10,10 circa del 13 settembre la parte nordoccidentale dei versanti dei Monti Lattari e quasi tutto il bacino idrografico del Fiume Sarno sono stati interessati da intense piogge che hanno riversato sulla superficie del suolo un volume idrico di oltre 15 milioni di metri cubi in meno di 2 ore.

L'acqua ha creato problemi lungo i ripidi versanti e particolarmente dove gli incendi avevano distrutto la copertura vegetale, nelle aree coltivate e terrazze della parte bassa e pedemontana dei rilievi e nelle zone urbane. Numerosi flussi fangoso-detritici si sono attivati da tali aree e, dove si sono incanalati negli alvei e alvei-strada, hanno invaso le aree urbane creando danni e problemi vari alle abitazioni e agli autoveicoli.

A Castellammare di Stabia alcuni flussi fangoso-detritici si sono innescati da circa 15 ettari di versante percorsi dal fuoco il 18 e 19 agosto come previsto da Ortolani e Buonomo.

L'enorme volume idrico si è riversato nella rete scolante principale causando fenomeni di esondazione e danni ingenti.

I mass media riferiscono di abitazioni, scuole e strade allagate. Sgomberate decine di famiglie.

I disagi maggiori si sono verificati nell'Agro nocerino sarnese. Di seguito si riportano alcune notizie sintetiche estratte dalla rete.

A Nocera Inferiore evacuati con ordinanza sindacale per due giorni i residenti delle zone di Cicalesì, San Mauro, Fiano, Villanova. Il girono successivo all'evento le scuole di ogni ordine e grado di Nocera Inferiore sono state chiuse in via precauzionale; il giorno 13 i bambini del plesso di San Mauro sono stati portati in salvo grazie ad un mezzo anfibio. Una passeggera e l'autista di un mezzo pubblico sono stati bloccati per ore in piazza San Mauro. Chiesto l'esercizio per la zona di Merichi dove il corso d'acqua è esondato, allagando cantine e locali seminterrati.

Tra Sant'Anna e San Mauro il corso d'acqua ha rotto gli argini. A rischio crollo il ponte della traversa cosiddetta dei Tavani, con il torrente ingrossato dai residui degli incendi estivi in montagna. Ore di black out in Via Papa Giovanni XXIII, storico quartiere San Matteo. Un fiume in piena dal versante nocerino dei Monti Lattari ha invaso via Cucci, via Origlia, via Fucilari. Acqua dal cielo e dalle fogne nei prefabbricati di Montevescovado. Dalle 9.40 alle 10.50, treni sospesi sulla linea costiera Napoli - Salerno, con ritardi di un'ora. Fango e detriti sui binari; allagato anche il sottopassaggio nella stazione di Nocera Inferiore.

Scuole sgomberate anche a Castel San Giorgio.

Un flusso fangoso ha interessato la Provinciale 2 per Chiunzi, investendo i locali a piano terra di un ristorante.

Numerosi gli interventi dei vigili del fuoco a Pagani dove le strade cittadine si sono trasformate in veri e propri corsi d'acqua, superando anche i 50 cm di altezza, con auto bloccate e attività commerciali invase dal fango.

Problemi anche in via Mannara dove sono state sgomberate sei famiglie a causa delle inondazioni del Torrente Solofrana. La scuola primaria "Collodi" di piazza Sant'Alfonso è stata evacuata.

A Sarno è scattato lo stato di preallarme; piccoli smottamenti si sono registrati nella periferia di Lavorate e colate di detriti e fanghiglia hanno invaso anche il centro cittadino, dopo gli incendi che hanno devastato la collina del Saretto.

Allagamenti generalizzati anche ad Angri.

### **Cosa abbiamo imparato dall'evento**

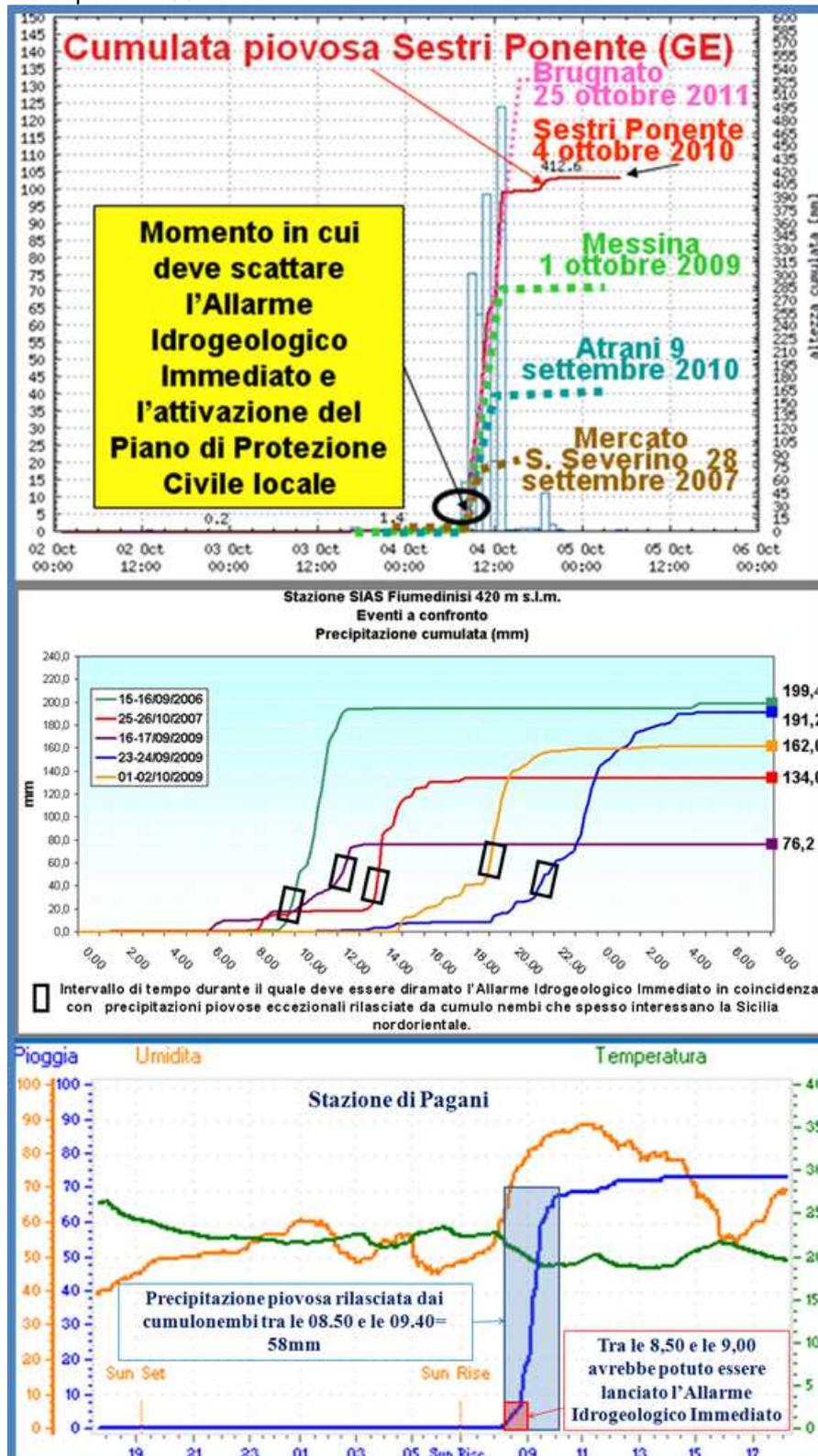
Analizzando i pluviogrammi si riscontra che dopo circa 10 minuti dall'inizio dell'evento era chiaro che quasi tutto il bacino idrografico era interessato da intensa pioggia ed era agevolmente prevedibile che gli alvei collinari e quelli di fondo valle costituenti la rete drenante principale (F. Sarno e Torrente Solofrana) avrebbero dovuto smaltire portate massime rilevanti. Non era escludibile, con previsione eseguibile almeno più di un'ora rispetto alle esondazioni che si sono verificate realmente, che gli alvei non avrebbero retto. Un sistema di monitoraggio idrologico avrebbe consentito di lanciare l'allarme di probabile esondazione con un'ora di anticipo.

Dal momento che tale sistema di monitoraggio ed allertamento non sembra esistere, si sollecita la sua messa a punto per evitare che i cittadini, piccoli e grandi, possano essere presi alla sprovvista una prossima volta.

Analizzando i pluviogrammi risalta la loro morfologia, tipica di registrazioni di piogge rilasciate da cumulonembi, come abbiamo già evidenziato nell'autunno dello scorso anno dopo i disastrosi eventi delle Cinque Terre, Genova e messinese tirrenico (figura 4).

Nella figura 5, sul pluviogramma della Stazione di Pagani abbiamo evidenziato la precipitazione rilasciata dai cumulonembi consistente in 58mm caduti in meno di un'ora. Il pluviogramma è

caratterizzato dalla tipica verticalizzazione appena inizia la pioggia rilasciata dal cumulonembo; essa termina dopo circa 50 minuti.



**Figura 4: individuazione dell'intervallo di tempo, all'inizio degli eventi piovosi rilasciati da cumulonembi simili a quello del 13 settembre 2012, durante il quale poteva essere lanciato l'allarme idrogeologico immediato. Nella figura in alto sono riportati schematicamente i pluviogrammi di eventi significativi verificatisi tra il 2007 e il 2001. Nel grafico centrale sono illustrati i pluviogrammi di eventi avvenuti in Sicilia tra il 2006 e il 2009. La figura in basso riporta il pluviogramma dell'evento del 13 settembre 2012 registrato a Pagani.**

Nei primi 10 minuti, come evidenziato da tutti gli altri pluviogrammi dislocati nel bacino del Sarno, si poteva già individuare il tipo di evento piovoso da cumulonembo in grado di fare registrare decine di mm di pioggia in un'ora. I pluviogrammi confermano che il Sistema di Allarme Idrogeologico Immediato messo a punto alla fine dello scorso anno (figura 5) sarebbe potuto essere applicato all'inizio dell'evento del 13 settembre 2012.

#### **Tipo di evento e sua ripetibilità anche con “magnitudo” superiore.**

Il tipo di evento che ha interessato l'area geografica rappresentata in figura 3 è abbastanza frequente in quanto è piuttosto frequente il realizzarsi delle condizioni di instabilità atmosferica favorevoli allo sviluppo dei cumulonembi e, quindi, dei temporali. I fattori in gioco sono numerosi e in alcune situazioni essi si combinano in maniera perversa sino a poter portare allo sviluppo di un MCS (Mesoscale Convective System – Sistema Convettivo a Mesoscala), di un MCC (Mesoscale Convective Complex - Complesso Convettivo a Mesoscala) o anche di un semplice Cumulonembo autorigenerante su base orografica.

Mentre gli MCS e gli MCC possono svilupparsi anche in mare aperto, i Cumulonembi autorigeneranti hanno quasi sempre una forma di correlazione spinta con l'orografia locale, sfruttando la componente verticale delle correnti aeree indotte dal forcing dinamico in corrispondenza dei versanti sopravvento dei rilievi. La casistica storica relativa al territorio italiano ci rappresenta un quadro estremamente preoccupante in quanto questi fenomeni sono stati sempre frequenti e lo sono ancor maggiormente negli ultimi anni.

La distribuzione di questi fenomeni è di tipo random, sia in termini di localizzazione (anche se esistono zone a rischio maggiore, tra le quali la Campania) che di intensità. Questo significa che ogni area geografica potrà essere colpita da queste tipologie di fenomeni e non si può assolutamente escludere che in esse possano occorrere fenomeni simili a quelli dello scorso autunno.

Allo stato attuale manca un sistema di difesa da questi fenomeni. Questi fenomeni sono ad evoluzione rapida o rapidissima e quindi una struttura di Protezione Civile, per esempio a livello regionale, non può risultare di nessun aiuto concreto in simili occasioni. E' necessario strutturare sistemi che effettuano un monitoraggio in *real time*, sistemi che consentano di comprendere che la situazione sta acquisendo caratteri di criticità con un ritardo inferiore ai 5-10 minuti. Questo serve per poter lanciare un tempestivo Allarme Idrogeologico Immediato.

#### **In che consiste il sistema: -piano di protezione civile; - monitoraggio idrologico.**

Un sistema capace di assolvere alla funzione di intercettare in tempo reale la pericolosità di un fenomeno piovoso è estremamente semplice.

Si tratta di installare una o più centraline meteorologiche elettroniche dotate di pluviometro, con capacità di trasmettere i dati su internet ogni 5 minuti, tanto da rendere possibile, a chiunque possa collegarsi in rete, di monitorare l'evoluzione del fenomeno precipitativo. In locale, dove è installata la centralina, è addirittura possibile seguire l'andamento pluviometrico con aggiornamento ogni 30”.

I costi di tali centraline sono oggettivamente modesti, tanto da far nascere spontanea una domanda: “ Come mai non si adotta questo sistema in tutti quei casi in cui le caratteristiche geomorfologiche di un bacino sono tali da lasciar prevedere fenomeni di alluvioni lampo (Flash flood) e/o colate detritiche rapide (Debris flow)?

Una volta installata la centralina pluviometrica, è possibile sfruttare i moderni mezzi di trasmissione dati ed informazioni (tramite internet o reti GPRS/UMTS), per far arrivare, direttamente alla popolazione o a personale a tal uopo individuato ed istruito, i messaggi di allarme.

Ad integrazione del monitoraggio pluviometrico è possibile prevedere delle telecamere web che inquadrino gli alvei a monte della zona a rischio.

***Ovviamente tutto il sistema deve essere dotato di mezzi di comunicazione e fonti energetiche autonome che consentano il funzionamento degli strumenti (almeno per 48 ore) anche in caso di prevedibile interruzione della fornitura classica di energia elettrica.***

#### **Sistema di allarme idrogeologico immediato**

Il sistema di early warning idrogeologico, chiamato **Sistema di Allarme Idrogeologico Immediato**, è in grado di allarmare i cittadini appena inizia un evento tipo quello del 13 settembre 2012 o quelli dello scorso autunno. Oggi non esiste nessun sistema di allarme per cui i cittadini sono colti sistematicamente impreparati!

L'andamento delle curve pluviometriche degli eventi connessi ai cumulonembi sopra citati (figura 4) sono simili. Dopo pochi minuti che è iniziato un evento connesso ai cumulonembi si può lanciare l'allarme. Conoscendo poi la morfologia dei luoghi è possibile individuare

preventivamente ed esattamente le zone che possono essere interessate dai flussi fangosi e detritici. Tra l'inizio dell'evento e l'arrivo dei flussi fangosi e detritici possono intercorrere decine di minuti di tempo, sufficienti ad evacuare le strade già individuate e allarmate e a fare salire i cittadini ai piani superiori. Il sistema può essere completato con la realizzazione di chiusure stagne di tutte le aperture fino al primo piano lungo i previsti percorsi dei flussi.

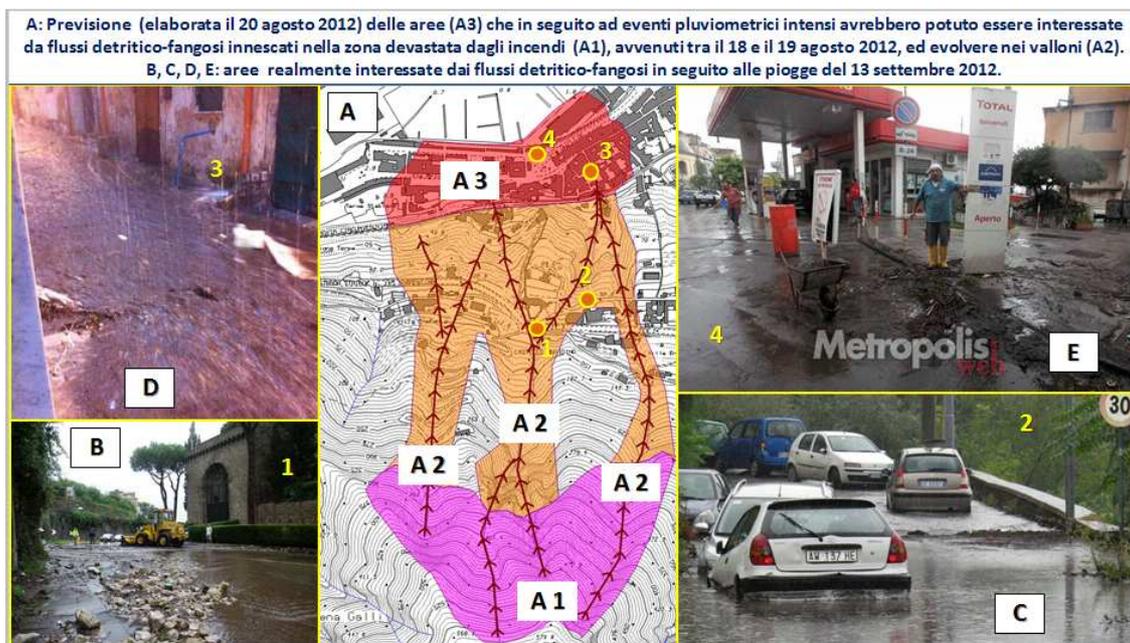
Adeguati sistemi di monitoraggio dei flussi lungo gli alvei possono fornire in tempo reale l'andamento delle portate.

Valutando gli effetti al suolo dell'evento del 13 settembre 2012 nelle aree ubicate lungo la fascia pedemontana dei Monti Lattari, da Castellammare di Stabia a Nocera Inferiore (figure 5 e 6), se fossero già stati disponibili i piani di protezione civile locali, si può considerare che se l'allarme immediato fosse stato lanciato entro 10 minuti dall'inizio della verticalizzazione della curva pluviometrica (figura 7) avrebbe consentito di avvisare i cittadini che dovevano allontanarsi dalle strade, già individuate, salendo possibilmente ai piani superiori o a quote di sicurezza, chiudendo le aperture del piano terra, come schematizzato nelle figure 8 e 9.

Terminato l'evento sarebbe stato lanciato il segnale di cessato allarme.



**Figura 5: Versante a monte di Castellammare di Stabia devastato dagli incendi del 18 e 19 agosto 2012 e percorso dei flussi detritico-fangosi originatisi dalla zona percorsa dal fuoco in seguito all'evento piovoso del 13 settembre 2012.**



**Figura 6: Figura centrale A= elaborazione del 20 agosto 2012 con individuazione dei percorsi degli eventuali flussi fangoso-detritici (A2) che si sarebbero potuti innescare nella zona A1 devastata dal fuoco. Nella zona A3 è stata prevista l'invasione di acqua e detriti. Le immagini B, C, D, E illustrano con immagini tratte dalla rete gli effetti**

dell'evento piovoso del 13 settembre 2012 nei siti indicati con il cerchietto rosso bordato di giallo.



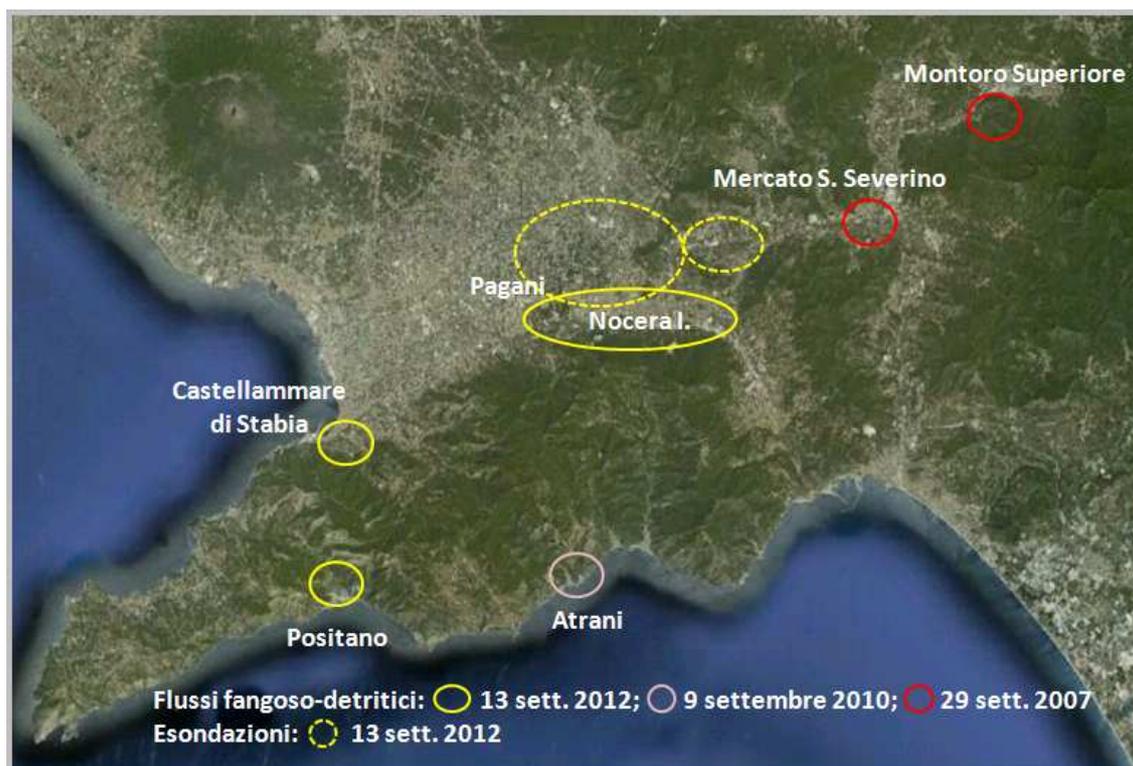
Figura 7: individuazione dell'intervallo di tempo (rettangolo rosso trasparente), all'inizio dell'evento piovoso del 13 settembre 2012, durante il quale poteva essere lanciato l'allarme idrogeologico immediato.



Figura 8: schema degli interventi di difesa attiva e passiva realizzabili per mitigare gli effetti sull'ambiente naturale e urbanizzato e per garantire la sicurezza dei cittadini.



Figura 9: schema delle azioni da attuare qualora scatti l'Allarme Idrogeologico Immediato.



**Figura 10:** aree della Penisola Amalfitano-Sorrentina-Monti Lattari recentemente interessate dagli effetti di eventi piovosi rilasciati da cumulonembi.



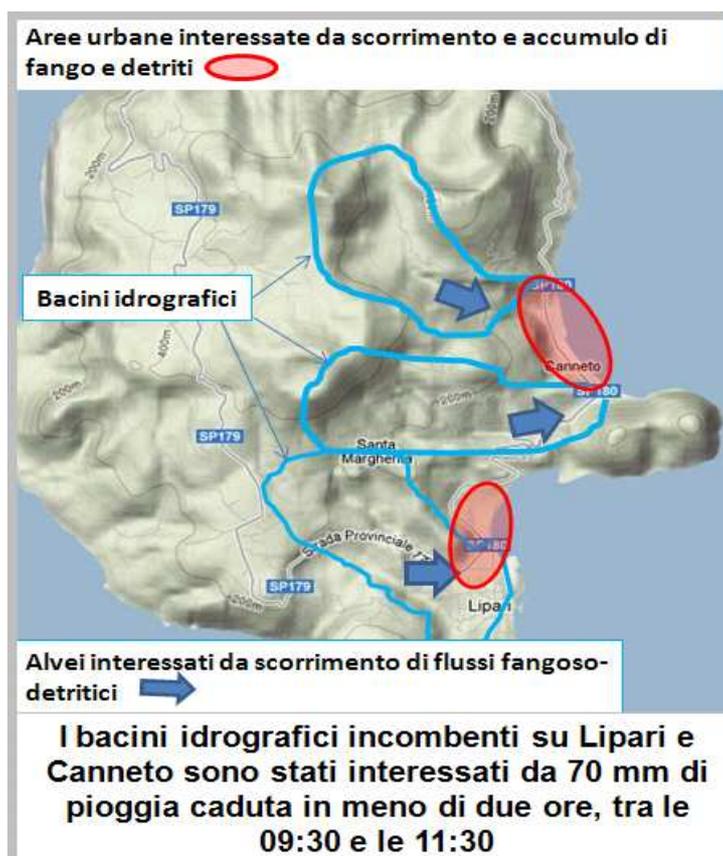
**Figura 11:** aree comprendenti bacini idrografici incombenti su aree abitate nei quali dovrebbero essere attivati i Sistemi di Allarme Idrogeologico Immediato.

Solo in base agli eventi degli ultimi anni si individuano le aree urbane ubicate alla base dei ripidi e allo sbocco di strette valli interessate da dissesti idrogeologici, più o meno disastrosi (figura 10). Naturalmente tali aree sono già state interessate in passato da eventi catastrofici come quelli del 1910, dell'ottobre 1954, del maggio 1998 ecc. connessi ad eventi piovosi molto più intensi e prolungati.

Nella figura 11 sono individuate le fasce entro le quali vi sono bacini idrografici incombenti su aree urbane di fondo valle dove dovrebbero essere attivati i Sistemi di Allarme Idrogeologico Immediato.

Fenomeni idrologici e idrogeologici simili a quelli del 13 settembre 2012 si sono verificati a Lipari il 15 settembre 2012, come descrive Daniele Ingemi su Meteoweb. "Durante i forti rovesci di pioggia, portati da una "Cellula temporalesca marittima" autoctona, la stazione meteorologica

dell'Osservatorio delle Acque ha rilevato un accumulo totale di ben **82mm**, accumulati fra le 09:00 e le 12:00, con un picco di **70 mm** in meno di due ore, tra le 09:30 e le 11:30. Si tratta di un quantitativo d'acqua davvero ingente, ma non propriamente eccezionale. I rovesci però sono stati caratterizzati da valori di **rain/rate** molto elevati che hanno permesso di scaricare tantissima acqua in pochi minuti." L'evento idrologico è simile a quello del 13 settembre in Campania; gli effetti al suolo sono stati più consistenti con flussi fangoso-detrिटici che hanno invaso le vie cittadine arrecando danni agli autoveicoli ed ai manufatti pubblici e privati. I bacini idrografici hanno dimensioni contenute variabili da circa 150 a circa 250 ettari e sono caratterizzati da una substrato costituito da sedimenti sciolti facilmente erodibili. Lungo gli alvei, in base a quanto descritto sui mass media, si trovavano sedimenti vari, detriti e rifiuti accumulati, anche impropriamente, nel tempo. Anche i cittadini di Lipari vanno difesi attivando un Sistema di Allarme Idrogeologico Immediato.



**Figura 12:** I bacini idrografici di Lipari interessati da intense precipitazioni il giorno 15 settembre 2012 che hanno originato flussi fangoso-detrिटici che hanno invaso le aree urbane a valle.



**Figura 13:** Esempi degli effetti causati nell'area urbana di Lipari dalle piogge del 15 settembre 2012.

I fenomeni alluvionali lampo causati dalle intense piogge rilasciate da cumulonembi, come sperimentato negli ultimi anni, possono interessare bacini idrografici di limitate dimensioni, variabili da poco più di 10-15 ettari a qualche centinaio di ettari.

Sono fenomeni innescati dal ruscellamento superficiale lungo versanti inclinati con conseguente incanalamento nell'alveo che drena il bacino idrografico.

Il tempo di corrvazione è inferiore alla durata dell'intenso evento piovoso per cui i flussi fangosi e detritici possono concentrarsi nell'alveo originando un evento di piena prima della fine delle precipitazioni.

Come è stato detto sono fenomeni che si innescano in loco e non possono essere previsti con ore di anticipo.

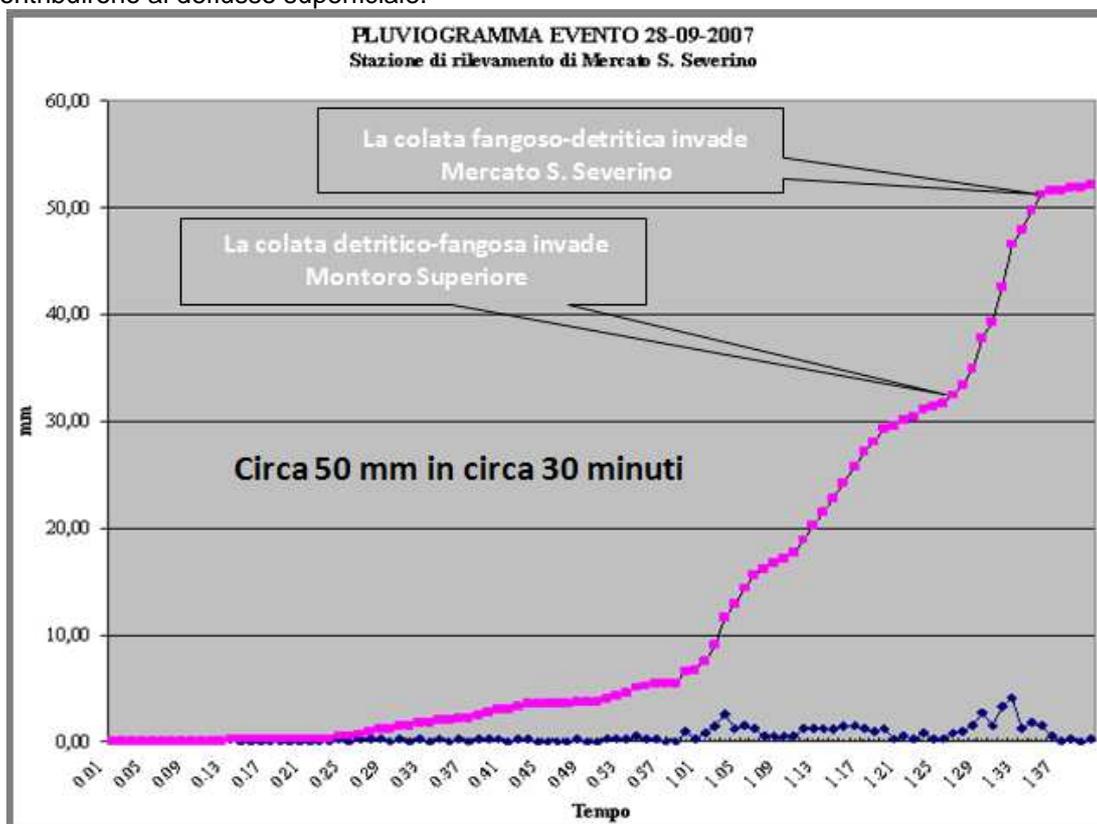
Gli studi finora eseguiti mettono in evidenza che eventi di alcune decine di mm di pioggia in un'ora sono sufficienti per innescare deflusso superficiale ed erosione lungo versanti ripidi caratterizzati da un substrato lapideo coperto da sedimenti sciolti non ancorati nella roccia madre lungo versanti che siano stati devastati dagli incendi, es. evento del 29 settembre 2009 di Montoro Superiore, in provincia di Avellino).

Deflusso ed erosione si verificano anche nelle parti di versante terrazzate e coltivate.

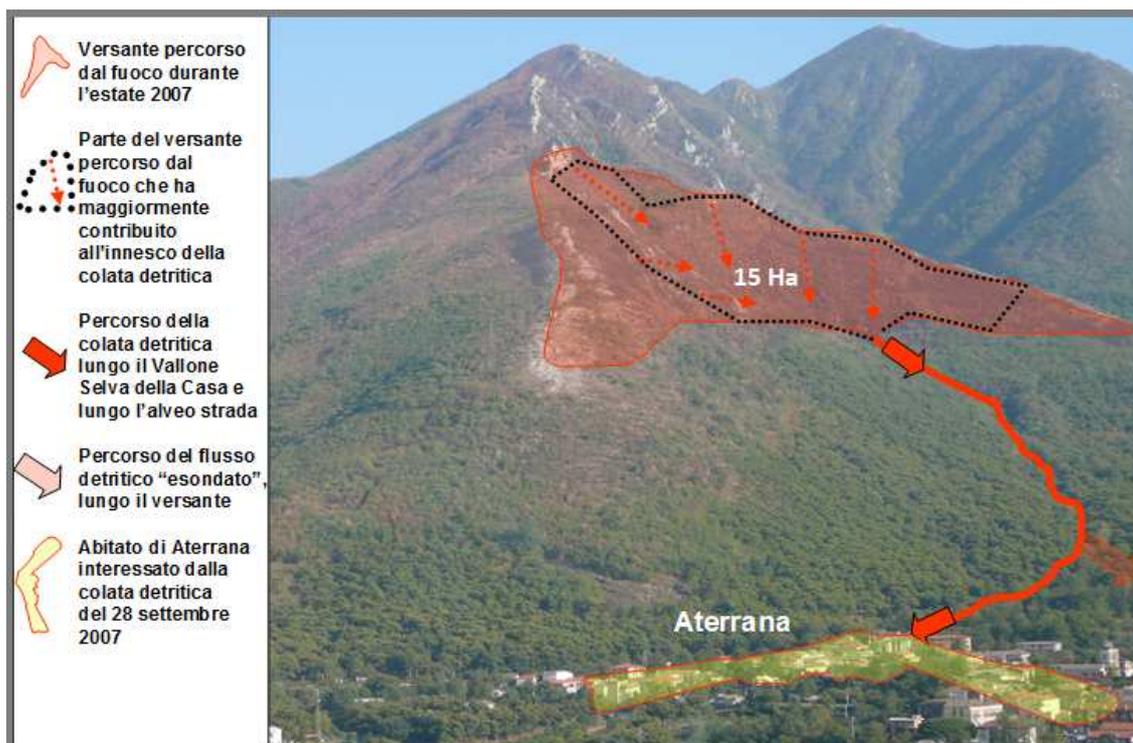
Deflusso ed erosione generalizzati anche lungo versanti ricoperti da vegetazione arborea in buone condizioni si possono verificare con eventi piovosi che sfiorino e superino i 100 mm/ora come accaduto lo scorso autunno nelle Cinque Terre.

Al fine di evidenziare l'impatto degli incendi sull'incremento della pericolosità idrogeologica dei ripidi versanti qualora essi siano investiti da significative piogge rilasciate da cumulonembi si sintetizzano i dati acquisiti con le ricerche nella zona di Montoro Superiore e di Atrani.

Il 28 settembre 2007 la frazione di Montoro Superiore denominata Aterrana fu investita da una colata detritico-fangosa che percorse l'alveo strada costituente la via principale dell'abitato. La portata massima stimata è stata di alcune decine di mc/sec. L'evento idrogeologico è stato causato da una intensa precipitazione piovosa che in circa 30 minuti fece cadere al suolo circa 50 mm di acqua. La pioggia è stata rilasciata da cumulonembi provenienti da ovest. La colata si innescò esclusivamente da circa 15 ettari di versante lungo il quale la vegetazione era stata devastata da incendi nel mese precedente. I versanti che non erano stati percorsi dal fuoco non contribuirono al deflusso superficiale.



**Figura 14: pluviogramma dell'evento del 28 settembre 2007. Si nota la verticalizzazione della curva in corrispondenza dell'inizio della precipitazione rilasciata dai cumulonembi. Le ricerche hanno evidenziato che dopo circa 20 minuti dall'inizio dell'intensa pioggia il flusso detritico ha investito l'abitato ubicato a circa 1 chilometro a valle del versante devastato dal fuoco.**



**Figura 15:** ricostruzione dell'area devastata dagli incendi nella quale si è innescato il flusso detritico-fangoso del 28 settembre 2007 che ha percorso l'alveo-strada attraversando l'abitato di Aterrana. Il ruscellamento superficiale si è innescato in concomitanza con la precipitazione al suolo di circa 50 mm di pioggia in circa 30 minuti esclusivamente dall'area devastata dal fuoco. La parte rimanente dei versanti non ha contribuito al deflusso in quanto il suolo e il sottostante substrato hanno assorbito tutta l'acqua caduta. Il deflusso si è concentrato nell'alveo strada inglobando sedimenti sciolti e detriti immettendosi nelle strade cittadine.



**Figura 16:** effetti del ruscellamento superficiale lungo il ripido versante ricoperto di cenere dopo gli incendi (figura A) ed effetti del rapido flusso detritico-fangoso nell'area abitata di Aterrana (B, C e D).



Figura 17: Evento piovoso di Atrani del 9 settembre 2010: a destra la riproduzione schematica del pluviogramma che evidenzia la verticalizzazione della curva a partire dalle ore 18 in corrispondenza del rilascio della pioggia da parte di cumulo nembi che sono persistiti nell'area fino alle ore 19 circa quando l'onda di piena ha invaso la Via dei Dogi di Atrani. A sinistra ricostruzione dell'area interessata dal fenomeno piovoso ed idrogeologico.

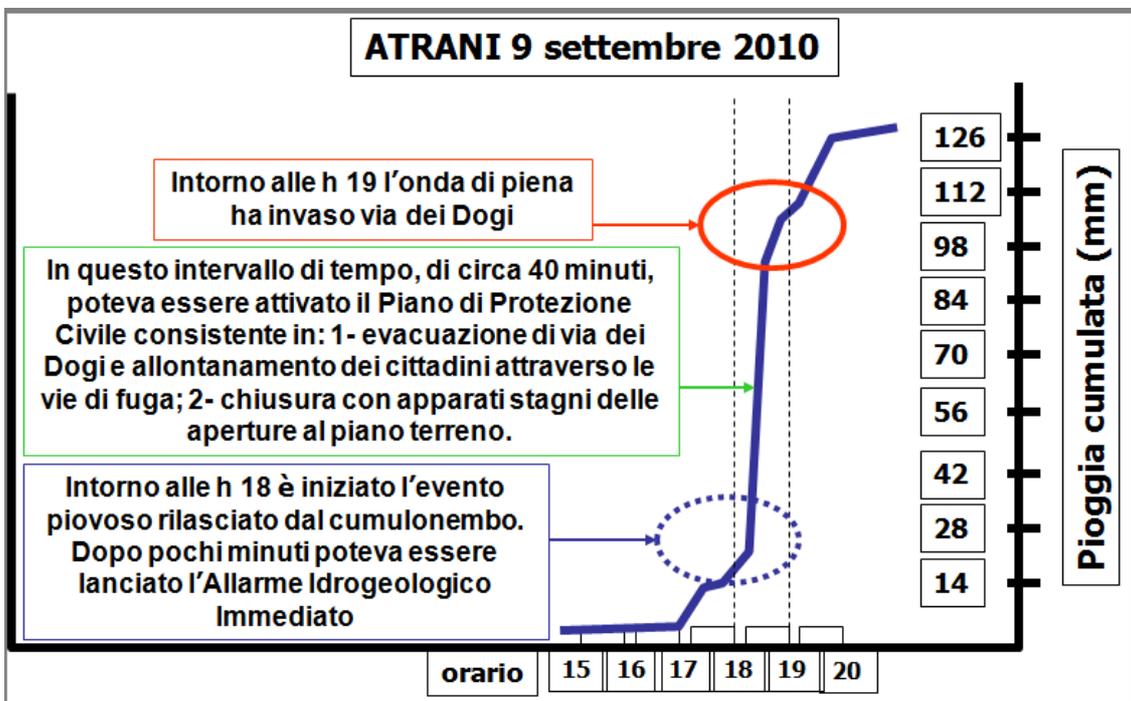
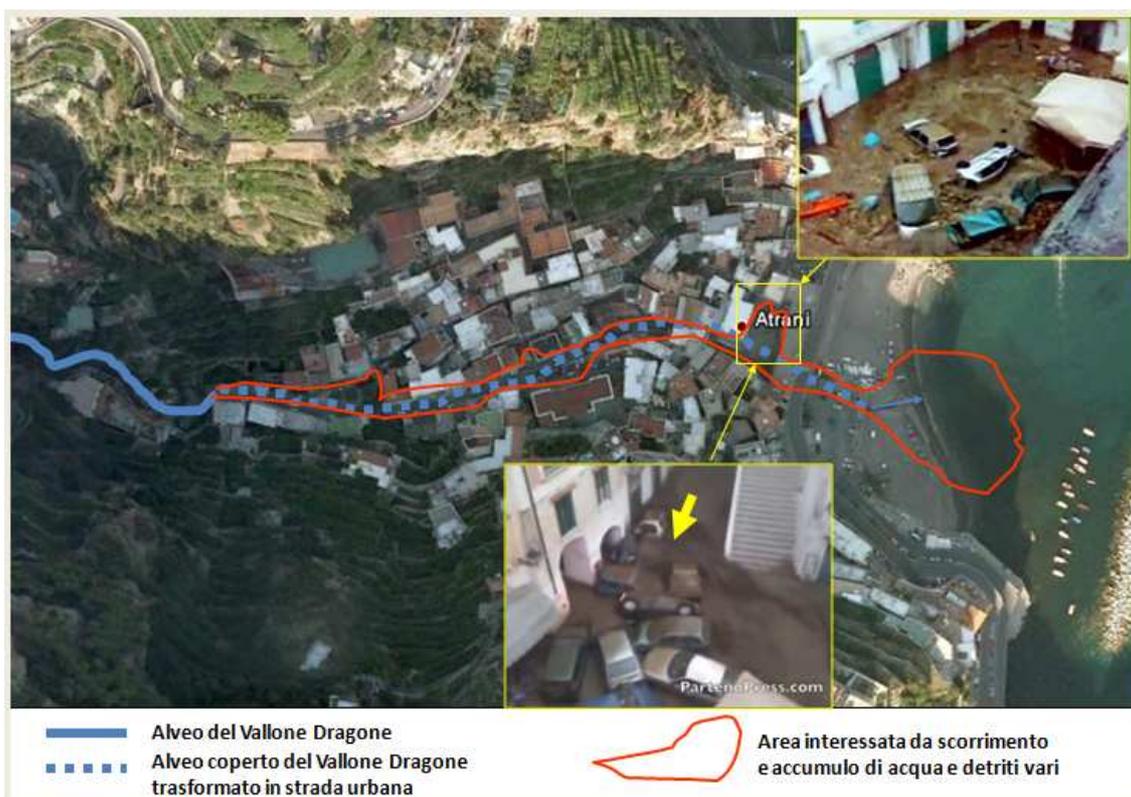
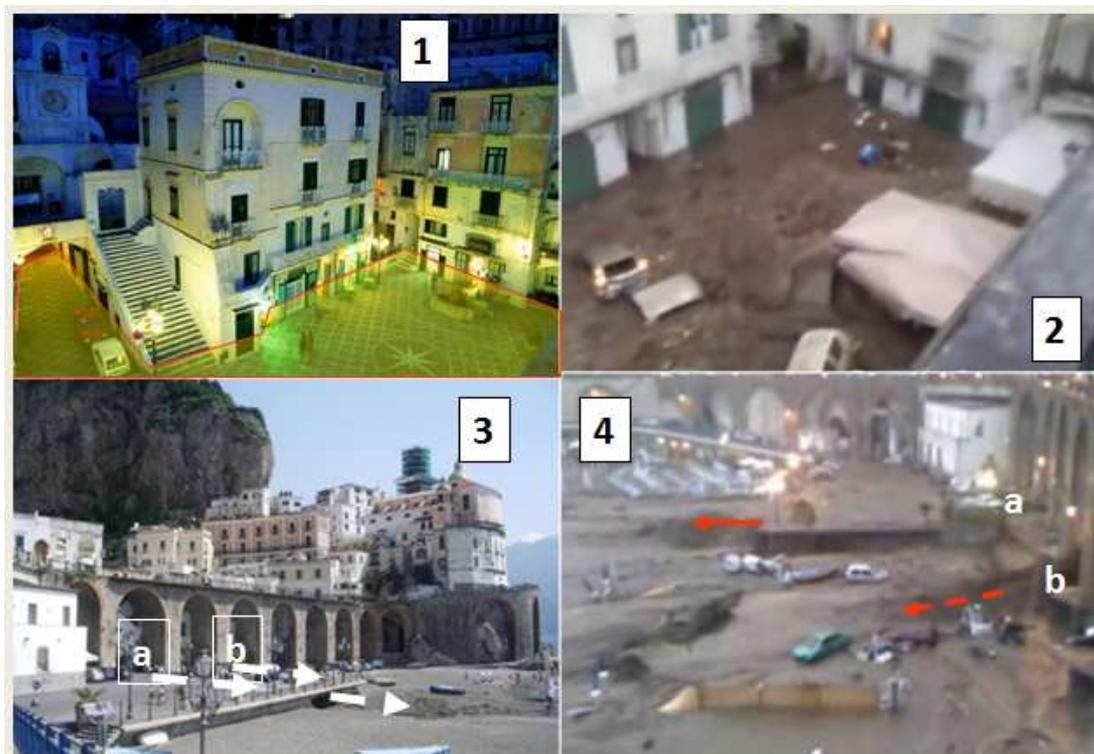


Figura 18: Evento piovoso di Atrani del 9 settembre 2010: riproduzione schematica del pluviogramma con l'indicazione degli intervalli nei quali sarebbe stato possibile lanciare l'Allarme Idrogeologico Immediato ed attuare il Piano di Protezione Civile teso a mettere al sicuro i cittadini. Come si nota, l'esondazione dell'alveo coperto che ha provocato una vittima è avvenuta dopo circa 50 cm dall'inizio dell'evento piovoso rilasciato dai cumulonembi.



**Figura 18:** ricostruzione degli effetti dell'esondazione del Torrente Dragone nell'abitato di Atrani in seguito all'esondazione del flusso fangoso-detritico avvenuto all'imbocco dell'alveo coperto trasformato in via dei Dogi che rappresenta l'unica strada della cittadina turistica della penisola Amalfitana.



**Figura 19:** ricostruzione degli effetti dell'esondazione del Torrente Dragone nell'abitato di Atrani. 1 e 2: Piazza Umberto rispettivamente prima e durante l'evento. La linea rossa nella immagine 1 evidenzia il livello dell'acqua fangosa raggiunto durante la piena. 3 e 4: la spiaggia di Atrani rispettivamente prima e durante l'evento; a e b e le frecce bianche nell'immagine 3 evidenziano le arcate e il percorso del flusso fangoso-detritico illustrato nell'immagine 4 durante l'evento.

Concludendo, si sottolinea che i dati acquisiti con le ricerche effettuate negli ultimi anni nelle aree interessate da dissesti idrogeologici causati da piogge rilasciate da cumulonembi hanno evidenziato che il Sistema di Allarme Idrogeologico Immediato avrebbe garantito la sicurezza dei cittadini esposti ai pericoli verificatisi nelle aree abitate interessate dai flussi fangosi e detritici nelle Cinque Terre, Genova, Messinese Tirrenico e altre località esposte alle ricorrenti alluvioni improvvise.

Valerio Buonomo, c/o c/o CNR-IAMC, Napoli

Alberto Fortelli, Dottorando di Ricerca in “Dinamica interna dei Sistemi Vulcanici e rischi idrogeologico-ambientali”, Università Federico II, Napoli

Franco Ortolani, Ordinario di Geologia, Dipartimento di Pianificazione e Scienza del Territorio, Università Federico II, Napoli

Silvana Pagliuca, CNR-ISAFOM, Ercolano

**Ringraziamento:** Gli autori ringraziano [www.campanialive.it](http://www.campanialive.it) per la cortese collaborazione nell'ambito di un Protocollo d'Intesa con l'Osservatorio Meteorologico federiciano diretto dal Prof. Adriano Mazzearella.