

TERRITORIO DELLA RICERCA  
SU INSEDIAMENTI E AMBIENTE

RIVISTA INTERNAZIONALE  
DI CULTURA URBANISTICA

15



la sfida della  
resilienza urbana



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI NAPOLI FEDERICO II  
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE L.U.P.T.

Vol. 8 n. 2 (DICEMBRE 2015)

print ISSN 1974-6849, e-ISSN 2281-4574

### **Direttore scientifico / Editor-in-Chief**

Mario Coletta *Università degli Studi di Napoli Federico II*

### **Condirettore / Coeditor-in-Chief**

Antonio Acierno *Università degli Studi di Napoli Federico II*

### **Comitato scientifico / Scientific Committee**

Robert-Max Antoni *Seminaire Robert Auzelle Parigi (Francia)*  
Rob Atkinson *University of West England (Regno Unito)*  
Tuzin Baycan Levent *Università Tecnica di Istanbul (Turchia)*  
Roberto Busi *Università degli Studi di Brescia (Italia)*  
Sebastiano Cacciaguerra *Università degli Studi di Udine (Italia)*  
Clara Cardia *Politecnico di Milano (Italia)*  
Maurizio Carta *Università degli Studi di Palermo (Italia)*  
Pietro Ciarlo *Università degli Studi di Cagliari (Italia)*  
Biagio Cillo *Seconda Università degli Studi di Napoli (Italia)*  
Massimo Clemente *CNR IRAT di Napoli (Italia)*  
Giancarlo Consonni *Politecnico di Milano (Italia)*  
Enrico Costa *Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria (Italia)*  
Giulio Ernesti *Università Iuav di Venezia (Italia)*  
Concetta Fallanca *Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria (Italia)*  
José Fariña Tojo *ETSAM Universidad Politecnica de Madrid (Spagna)*  
Francesco Forte *Università degli Studi di Napoli Federico II (Italia)*  
Anna Maria Frallicciardi *Università degli Studi di Napoli Federico II (Italia)*  
Patrizia Gabellini *Politecnico di Milano (Italia)*  
Adriano Ghisetti Giavarina *Università degli Studi di Chieti Pescara (Italia)*  
Francesco Karrer *Università degli Studi di Roma La Sapienza (Italia)*  
Giuseppe Las Casas *Università degli Studi della Basilicata (Italia)*  
Giuliano N. Leone *Università degli Studi di Palermo (Italia)*  
Francesco Lo Piccolo *Università degli Studi di Palermo (Italia)*  
Oriol Nel.lo Colom *Universitat Autònoma de Barcelona (Spagna)*  
Eugenio Ninios *Atene (Grecia)*  
Rosario Pavia *Università degli Studi di Chieti Pescara (Italia)*  
Giorgio Piccinato *Università degli Studi di Roma Tre (Italia)*  
Daniele Pini *Università di Ferrara (Italia)*  
Piergiuseppe Pontrandolfi *Università degli Studi della Basilicata (Italia)*  
Amerigo Restucci *IUAV di Venezia (Italia)*  
Mosè Ricci *Università degli Studi di Genova (Italia)*  
Ciro Robotti *Seconda Università degli Studi di Napoli (Italia)*  
Jan Rosvall *Università di Göteborg (Svezia)*  
Inés Sánchez de Madariaga *ETSAM Universidad Politecnica de Madrid (Spagna)*  
Paula Santana *Università di Coimbra (Portogallo)*  
Michael Schober *Università di Freising (Germania)*  
Guglielmo Trupiano *Università degli Studi di Napoli Federico II (Italia)*  
Paolo Ventura *Università degli Studi di Parma (Italia)*



Università degli Studi Federico II di Napoli

Centro Interdipartimentale di Ricerca L.U.P.T.  
(Laboratorio di Urbanistica e Pianificazione Territoriale)  
"R. D'Ambrosio"

### **Comitato centrale di redazione / Editorial Board**

Antonio Acierno (*Caporedattore / Managing editor*), Teresa Boccia, Angelo Mazza (*Coord. relazioni internazionali / International relations*), Maria Cerreta, Antonella Cuccurullo, Candida Cuturi, Tiziana Coletta, Pasquale De Toro, Irene Ioffredo, Gianluca Lanzi, Emilio Luongo, Valeria Mauro, Ferdinando Musto, Raffaele Paciello, Francesca Pirozzi, Luigi Scarpa

### **Redattori sedi periferiche / Territorial Editors**

Massimo Maria Brignoli (*Milano*); Michèle Pezzagno (*Brescia*); Gianluca Frediani (*Ferrara*); Michele Zazzi (*Parma*); Michele Ercolini (*Firenze*), Sergio Zevi e Saverio Santangelo (*Roma*); Matteo Di Venosa (*Pescara*); Antonio Ranauro e Gianpiero Coletta (*Napoli*); Anna Abate, Francesco Pesce, Donato Viggiano (*Potenza*); Domenico Passarelli (*Reggio Calabria*); Giulia Bonafede (*Palermo*); Francesco Manfredi Selvaggi (*Campobasso*); Elena Marchigiani (*Trieste*); Beatriz Fernández Águeda (*Madrid*); Josep Antoni Báguena Latorre (*Barcellona*); Claudia Trillo (*Regno Unito*)

### **Responsabile amministrativo Centro L.U.P.T./ Administrative Manager LUPT Center**

Maria Scognamiglio

Direttore responsabile: Mario Coletta | print ISSN 1974-6849 | electronic ISSN 2281-4574 | © 2008 | Registrazione: Cancelleria del Tribunale di Napoli, n° 46, 08/05/2008 | Rivista cartacea edita dalle Edizioni Scientifiche Italiane e rivista on line realizzata con Open Journal System e pubblicata dal Centro di Ateneo per le Biblioteche dell'Università di Napoli Federico II.

la sfida della resilienza urbana /the challenge of  
urban resilience

# Sommario

## Sommario/ Table of contents

### Editoriale/Editorial

La visione sistemica complessa e il milieu locale per affrontare le sfide della resilienza / *Complex systemic vision and local milieu to face the challenges of resilience*

Antonio ACIERNO

7

### Interventi/Papers

Resilienza vs Vulnerabilità nei sistemi urbani per equilibri dinamici della città contemporanea/ *Resilience vs Vulnerability in Urban Systems for Dinamic Balance in Contemporary City*  
Massimo CLEMENTE, Daniele CANNATELLA, Eleonora GIOVENE DI GIRASOLE, Stefania OPPIDO

23

Resilienza, impatto antropico e Rischio nel sistema territoriale vesuviano/ *Resilience, human impact and Risk in Vesuvius territorial system*  
Stefania PALMENTIERI

41

Resilienza e sicurezza nei centri urbani minori a forte connotazione storica/ *Resilience in small urban centers with a strong historical connotation*  
Antonella MAMÌ

53

Resilienza urbana e gestione dei rifiuti: proposte di nuova infrastrutturazione urbana ed edilizia/ *Urban resilience and waste management: proposals of new infrastructures for urban areas and buildings*  
Lidia MORMINO

67

Politiche pubbliche per economie locali resilienti/ *Public policies for resilient local economies*  
Oriol ESTELA BARNET

81

Shock esogeni, resilienza territoriale e resilienza sociale. Alcune riflessioni in termini di impatto sui territori/ *Exogenous shocks, territorial resilience and social resilience. Some thoughts about impact on territories*  
Barbara MARTINI

95

Infrastrutture eco-sistemiche e resilienza urbana/ *Ecosystem infrastructure and urban resilience*  
Marina RIGILLO, Maria Cristina VIGO MAJELLO

109

Il ruolo della distanza geografica da università e centri di ricerca nella crescita di resilienza delle aree marginali: il caso dell'area est di Napoli/ *The role of geographical proximity from universities and research centers in growing resilience of marginal areas : the case of the east area of Naples*  
Stefano DE FALCO

127

Aree urbane e modalità di risposta agli eventi pluviometrici estremi: analisi del fenomeno e strategie di salvaguardia/ *Urban areas and procedures for responding to extreme rainfall events: phenomenon analysis and protection strategies*  
Alberto FORTELLI, Ferdinando Maria MUSTO

151

IL TERRITORIO DELL'URBANISTICA CONTEMPORANEA : RECUPERO - RIGENERAZIONE - RESILIENZA Dagli assunti teorici alle pratiche sperimentali: Il Rione San Gaetano a Napoli/ *Contemporary Town Planning: rehabilitation-regeneration-resilience. From theoretical assumptions to experimental practices: Rione San Gaetano in Naples*  
Mario COLETTA

171

**Rubriche/Sections**

**Recensioni/Book reviews**

203

**Mostre, Convegni, Eventi/Exhibitions, Conferences, Event**

225

## Urban areas and procedures for responding to extreme rain-fall events: phenomenon analysis and protection strategies

*Alberto Fortelli, Ferdinando Maria Musto*

### *Abstract*

The most vulnerable components of the territory are represented by urban areas, located in geo-environmental contexts whose balances become unstable because of natural physical changes (eg. : changing climate conditions) and/or changes induced by human interventions (construction of infrastructures, represented by someone, in the pejorative way, with the term “overbuilding”).

The city, as an integrated system of infrastructures, may be exposed not only to the critical geo-environmental hazard of the site where they are located (eg. coastal erosion, slope instability, subsidence, flooding, etc.) but also to those generated by boundary areas, sometimes even at a considerable distance.

The recent meteorological history shows a growing incidence of hydrological and hy-

abstract



drogeological events (such as, for example, storms in Genoa in 2011 and 2014, the ones in Sardinia, Calabria, Sicily, Benevento, etc., all occurred in the last five years), demonstrating an increasing probability of involvement of towns.

The research of strategies of prevention and protection is a difficult task to deal with, but politics, as a consequence of recurring loss of life and the huge costs that burden on society, has to consider it as a priority. In this scenery, the activity of planning, considered as the activity of organization of a urban settlement afterwards a rigorous and accurate analysis of all relevant aspects, both human and natural, plays a major role to obtain acceptable risk level.

#### **KEY WORDS**

*Hydraulic risks, flash floods, conservation strategies*

#### **Aree urbane e modalità di risposta agli eventi pluviometrici estremi: analisi del fenomeno e strategie di salvaguardia**

Le parti più vulnerabili del territorio antropizzato sono rappresentate dalle aree urbane (piccole e grandi), inserite in contesti geo-ambientali i cui equilibri sono resi instabili da modificazioni fisiche naturali (per es.: cambiamento delle condizioni climatiche) e/o da trasformazioni provocate dagli interventi dell'uomo (realizzazioni di infrastrutture, attività rappresentata da alcuni, in senso dispregiativo, col termine "cementificazione").

Le città possono essere esposte non solo alle criticità geo-ambientali specifiche del sito in cui sono ubicate (es. erosione costiera, instabilità dei versanti, subsidenza, alluvionamento, ecc.) ma anche a quelli generati nelle aree al contorno. La storia meteorologica recente mette in evidenza una sempre maggiore incidenza delle criticità di tipo idrologico ed idrogeologico (si pensi, per esempio, ai nubifragi di Genova del 2011 e 2014, a quelli in Sardegna, in Calabria, in Sicilia, a Benevento, ecc., tutti avvenuti negli ultimi 5 anni), con un sempre più probabile coinvolgimento dei centri abitati. La ricerca di strategie di prevenzione e protezione è impresa ardua, ma in sede di programmazione politica, alla luce della ricorrente perdita di vite umane nonché dei costi enormi che ricadono sulla società, deve essere considerata una priorità assoluta.

In questo quadro trova spazio l'attività di pianificazione territoriale, intesa come attività di organizzazione di un insediamento urbano a valle di una rigorosa ed approfondita analisi di tutti gli aspetti, antropici e naturali, presenti e caratterizzanti una determinata area geografica.

#### **PAROLE CHIAVE**

*Rischio idraulico, alluvioni lampo, strategie di salvaguardia*

## Aree urbane e modalità di risposta agli eventi pluviometrici estremi: analisi del fenomeno e strategie di salvaguardia

*Alberto Fortelli, Ferdinando Maria Musto*

### Premessa

L'ambiente, dal punto di vista geomorfologico, si è stabilizzato, nelle sue dinamiche evolutive, in relazione alle condizioni climatiche che esso ha sperimentato negli ultimi 200 anni circa. A seguito delle modifiche della forzante meteo-climatica, la superficie del suolo è attualmente in una fase di ricerca di nuovi punti di equilibrio, quanto più stabili possibile.

Il cambiamento delle caratteristiche degli eventi pluviometrici di massima intensità sta determinando modificazioni morfologiche superficiali (incremento della pedogenesi, frane, erosione del suolo, colate rapide di fango e detriti) e variazione dei deflussi superficiali che possono risultare disastrosi per l'ambiente antropizzato (es. alluvioni ripetute) (Huntington, 2006).

La sfida della ricerca nel campo climatologico è quella di individuare scenari evolutivi verosimili applicabili ai prossimi decenni. Il clima degli ultimi 100 anni è oramai da considerarsi un dato consolidato, il punto di partenza rispetto al quale valutare gli scostamenti in fase di sviluppo.

Come è ben noto, in ogni forma di progettazione, risulta di estrema importanza il "dato" che viene inserito nelle elaborazioni progettuali. Un dato errato mina la validità di un progetto dalle fondamenta, esponendo lo stesso al rischio di colossali fallimenti in termini di funzionalità, con conseguenze talora tragiche. Questa circostanza è particolarmente riferibile ai progetti delle infrastrutture atte a fronteggiare le portate idrauliche generate dalle precipitazioni piovose di grande intensità, nei quali la quantità di pioggia che cade al suolo è il dato di base; un errore è quasi certa premessa per ricorrenti disastri, ogni qualvolta le aree (urbane e non) vengono interessate da nubifragi.

Negli ultimi anni si è imposto all'attenzione generale un fenomeno preoccupante, consistente nei processi idrologici, e talvolta idrogeologici, innescati da nubifragi improvvisi che interessano aree urbane piccole e grandi ubicate alla base di versanti e nei fondo valle, sulle quali incombono bacini idrografici di limitate dimensioni (da qualche decina ad alcune centinaia di ettari). Si tratta di fenomenologie definite "alluvioni lampo" e "colate rapide fangoso-detritiche", fenomeni che in tempi recenti anni hanno già causato centinaia di vittime. I fenomeni di "flash floods" si sviluppano generalmente in bacini idrografici di limitate dimensioni e, nell'area mediterranea, possono assumere un carattere particolarmente catastrofico, essendo innescati da precipitazioni che raggiungono in poche ore valori cumulati superiori a 500 mm

*Figura 1 - Cumulonembi ad incudine: nubi imponenti che raggiungono i limiti della Troposfera.*



(Gaume, 2014).

Sono, come detto, fenomeni con caratteristiche nuove e contro i quali non sono state ancora strutturate adeguate contromisure organizzative.

Nota: cenni sulla fisica di generazione dei nubifragi

I fenomeni meteorologici di estrema violenza sono sempre la manifestazione tangibile di una concentrazione di energia in corrispondenza di aree geografiche di limitata estensione.

Il concetto fisico è evidente: nell'atmosfera è presente energia diffusa, in parte misurabile direttamente (energia termica sensibile o calore), in parte desumibile dai valori dell'umidità presente sotto forma di vapor acqueo. Questa seconda aliquota di energia, di tipo latente, è quella responsabile dei fenomeni meteorologici più intensi che avvengono sulla superficie terrestre: gli uragani, i tornado, i temporali e, di conseguenza, le precipitazioni piovose estremamente intense che possono riversarsi al suolo in brevi intervalli di tempo.

L'acqua per passare dallo stato liquido allo stato gassoso (evaporazione) necessita di una grande quantità di energia, quella stessa energia che si "libera" quando il vapor acqueo torna allo stato liquido (condensazione). E' facilmente intuibile che una massa di aria molto calda e umida contiene grandi aliquote di energia latente ma, comunque, immediatamente disponibile per alimentare i processi termodinamici che portano allo sviluppo dei Cumulonimbus (cumulonembi), l'unico genere di nubi in grado di generare i temporali, e in alcuni casi, i nubifragi.

I Cumulonembi sono nubi a grande sviluppo verticale: essi presentano la loro base a quote comprese tra i 1000 e i 1500 m mentre la sommità può spingersi fino ai limiti della Troposfera e talvolta oltre, a quote, cioè, che alle medie latitudini sono di circa 12.000 m (figura 1).

In seno a tali nubi sono presenti correnti ascensionali (updraft) estremamente intense, con velocità che possono anche superare i 100 km orari. Tali velocità sono raggiunte proprio grazie all'aria calda ed umida che alimenta l'ammasso nuvoloso alla base, masse che nella loro salita sono sospinte verso l'alto dalla spinta di galleggiamento indotta dalla loro minore densità rispetto alle masse d'aria più fredda che delimitano lateralmente l'ingombro geometrico del Cumulonembo. Il sollevamento delle masse di aria calda, peraltro, porta ad un raffreddamento per decompressione adiabatica, sino al livello del punto di rugiada. A questo punto si ha il passaggio di stato da fase vapore a fase liquida. Questo è un punto cruciale della dinamica di sviluppo della nube temporalesca: infatti la condensazione fa sì che si liberi in ambiente il calore latente immagazzinato all'atto dell'evaporazione. L'energia termica che si immette nel motore della "macchina temporalesca" è immensa. Tale energia, che ha gli stessi effetti di un turbo-compressore per auto-trazione, induce una accelerazione ed un potenziamento del "regime di giri" del sistema temporalesco.

Nella dinamica di sviluppo di un temporale, così come sopra riportata, sono presenti quelli che sono i fattori alla base della formazione di un Cumulonembo:

- 1) presenza di masse di aria calda e molto umida nei bassi strati;
- 2) presenza di gradienti termici verticali moderati o forti.

A questi due fattori, che potremmo definire di base, si possono aggiungere altri fattori egualmente importanti in quanto possono contribuire ad elevare l'intensità dei fenomeni:

- 3) confluenza delle correnti aeree nei bassi strati secondo linee a sviluppo meridiano;
- 4) presenza di notevoli differenze di velocità del vento alle diverse quote;
- 5) presenza di notevoli differenze di direzione del vento alle diverse quote.

La coesistenza di tutti i fattori sopraelencati consente di affermare che siamo in presenza di rischio elevato di sviluppo di Cumulonimbus e, quindi, di temporali che potrebbero risultare anche violenti.

#### *Il passaggio cruciale: da previsione a misura dell'evento pluviometrico*

Come è chiaramente emerso sopra, è possibile individuare le situazioni meteo favorevoli all'innescamento dei cumulonembi ma la certezza che sia iniziato un nubifragio che abbia la potenzialità di innescare flussi detritici e piene improvvise, la si può avere solo seguendo in tempo reale la registrazione pluviometrica tramite strumenti in grado di registrare la pioggia caduta a cadenza di 3-5 minuti. La curva (pluviogramma) è tipica e consente di individuare il fenomeno sul nascere, già dopo pochi minuti.

Allo stato attuale, come tragicamente dimostrato dai tanti recenti eventi alluvionali, le aree urbane sono "indifese", nel senso che i nubifragi, pur ricorrendo sempre negli stessi periodi dell'anno ed in particolari condizioni morfologiche, possono "colpire" all'improvviso, e ciò malgrado la avvenuta previsione di possibili fenomeni piovosi intensi che possano interessare una determinata area.

#### *L'alluvione di Benevento del 15 ottobre 2015*

Un fenomeno alluvionale che si è generato in tempi molto brevi, tanto da poter essere assimilato al "Flash flood", è quello avvenuto a Benevento il 15 ottobre 2015.

Il fattore scatenante è da individuarsi nella genesi di un temporale autorigenerante (V-Shaped Storm) con i massimi precipitativi posizionati ad E e NE del massiccio montuoso del Taburno-Camposauro, un triangolo areale avente come vertici Campoli del Monte Taburno, Benevento e Fragneto Monforte.

#### *Situazione meteorologica scatenante*

Il giorno 14 ottobre sul Mediterraneo centrale era presente una saccatura in quota che, con il proprio ramo delle correnti sud-occidentali in quota (jet stream), investiva direttamente le regioni del medio e basso versante tirrenico (Toscana, Lazio e Campania), in attesa degli apporti di aria più fredda affluenti al seguito di un fronte in arrivo da Nord-Ovest. Le masse di aria sui mari ad ovest della Campania erano estremamente calde ed umide, circostanza resa evidente dagli altissimi valori del CAPE (Convective Available Potential Energy). Questa situazione rendeva molto probabile la formazione di

MCS (Mesoscale Convective Systems – Sistemi Convettivi a Mesoscala), soggetti meteorologici quasi sempre apportatori di eventi pluviometrici di notevole rilevanza.

I vari modelli previsionali, poggiando su queste basi strutturali dell'atmosfera, prevedevano consistenti accumuli pluviometrici,

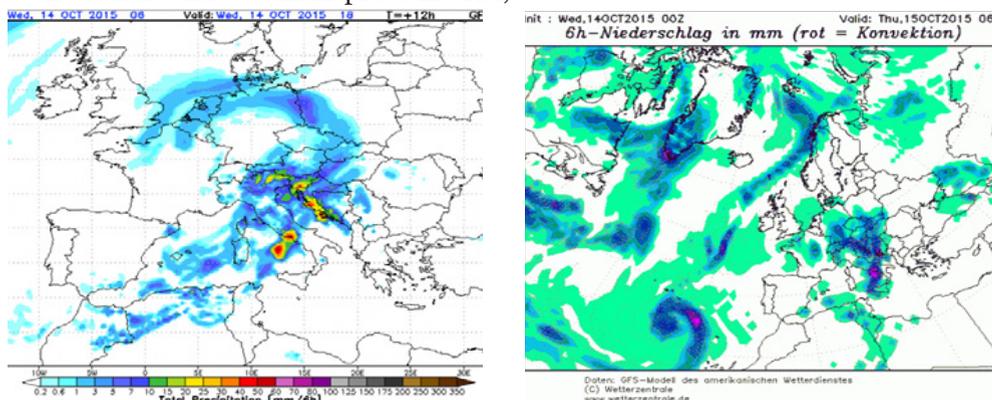


Figure 2a, 2b - mappe di previsione degli accumuli pluviometrici tra le 13.00 e le 19.00 del 14/10 e tra le 01.00 e le 07.00 del 15/10. Si notano i massimi di precipitazione previsti in transito sulla Campania.

con massimi posizionati proprio sul territorio regionale della Campania (vedi figure 2a-2b-3). In particolare il Centro ESTOFEX (European Storm Forecast Experiment) indicava per la regione Campania il rischio di pesanti eventi di tipo flash flood, stimando un livello di rischio 2 (vedi figura 3).

Uno o più fenomeni alluvionali sul territorio della Campania, alla luce degli scenari meteorologici prospettati dai principali centri di calcolo ed elaborazione previsionale, rientravano nel campo del prevedibile, potendo persino classificarli come molto probabili. Restava aperto, sino a poche ore prima degli sviluppi meteorologici reali, aperto il quesito: “dove si svilupperanno con precisione i fenomeni alluvionali?”

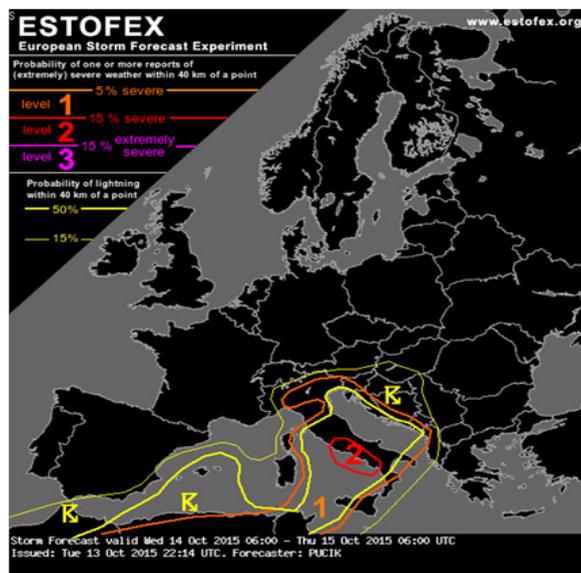


Figura 3 - mappa con la distribuzione del rischio di eventi meteorologici estremi sul comparto europeo: si nota l'elevato rischio da fenomeni temporaleschi sull'Italia centro-meridionale associato a rischio medio-forte di intense fenomenologie al suolo.

### Descrizione meteorologica del fenomeno

Il nubifragio che ha investito il Sannio ha avuto inizio intorno alle ore 22.30 del giorno 14 ottobre, e si è prolungato sino alle ore 4.00 quando la pioggia si è notevolmente attenuata. L'evoluzione meteorologica complessiva è ben rappresentata dal diagramma della stazione meteo di Benevento Piazza Orsini, tramite i meteogrammi generati dal software Weather Display (vedi figura 4)

Figura 4 - evoluzione complessiva dei parametri meteorologici in corrispondenza dei fenomeni alluvionali e nelle ore immediatamente precedenti e successive.

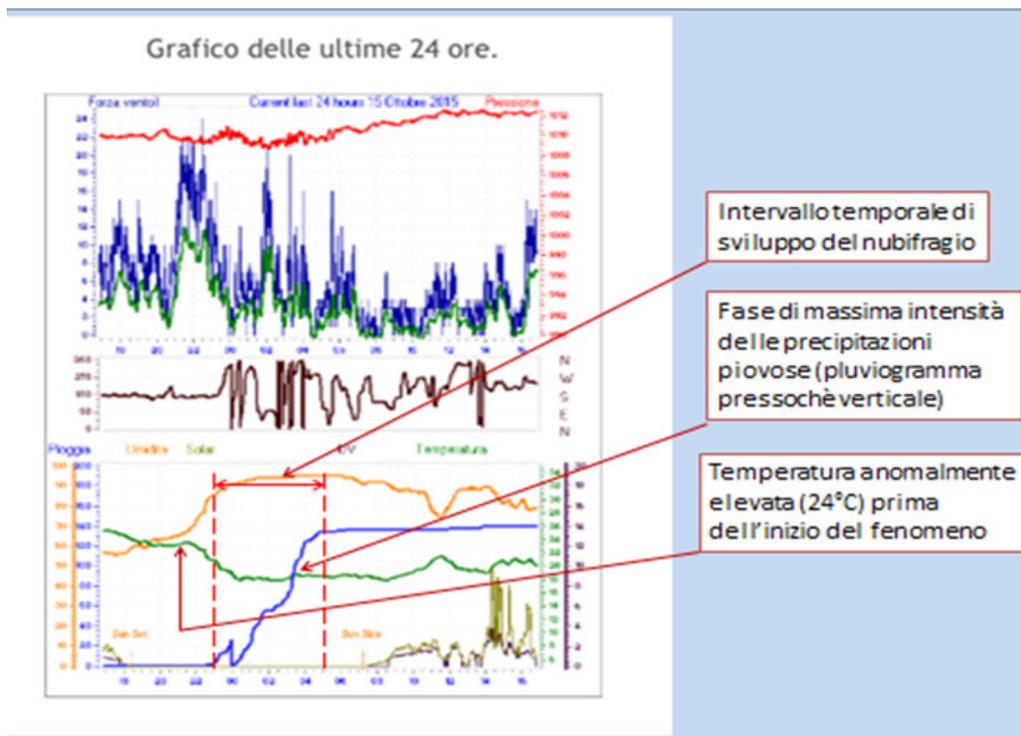
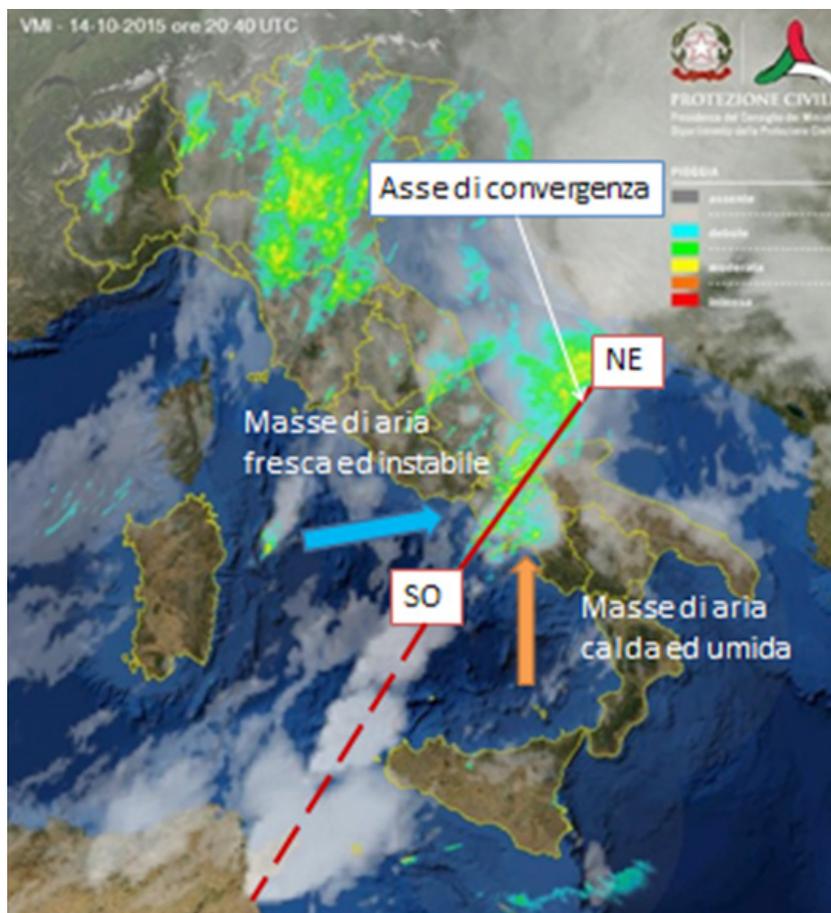
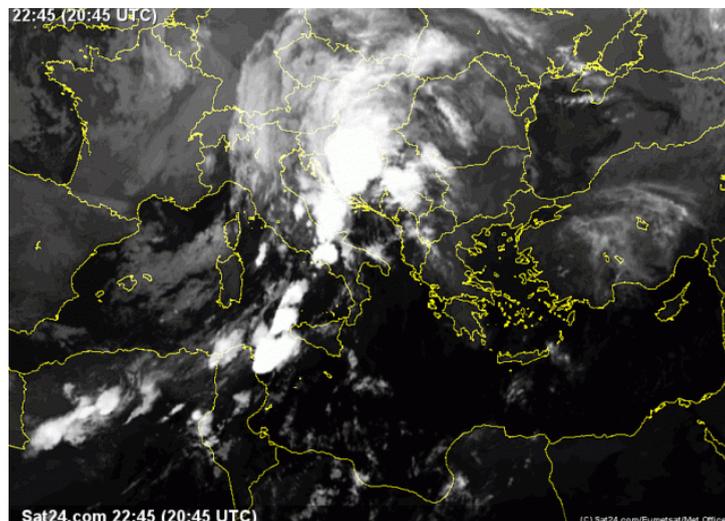
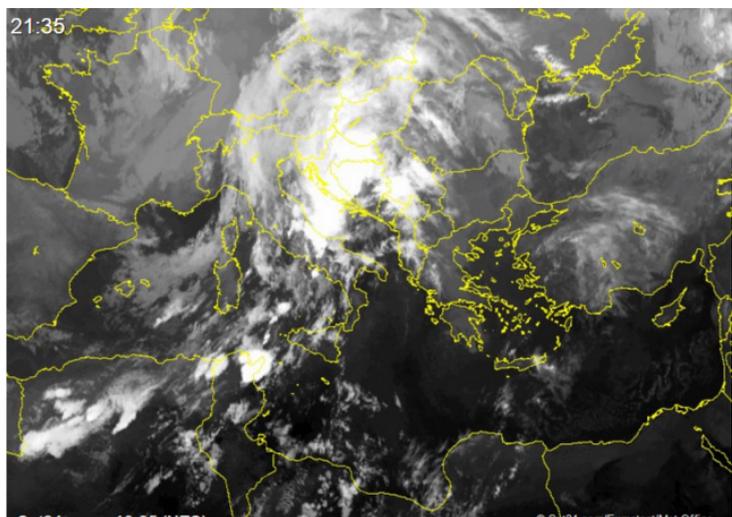


Figura 5 - immagini radar relative alle ore 22.40 locali: è chiaramente distinguibile la linea di forte instabilità atmosferica (fascia di confluenza delle correnti aeree) in transito sulla Campania.





Le immagini radar (vedi figura 5) della rete di monitoraggio meteorologico della Protezione Civile, relative alla situazione alle 22.40 ore locale, mostrano la Campania sotto l'azione di un cluster temporalesco, con elementi di potenziale criticità dovuti alla presenza di una linea di convergenza con asse Sud-Ovest / Nord-Est, sede abituale di formazione di MCS e V-shapedStorm.

Figure 6a, 6b - immagini satellitari nel campo dell'infrarosso relative alle ore 21.35 e 22.45 del giorno 14/10; nella seconda immagine si nota la genesi di numerose cellule temporalesche sulla Campania.

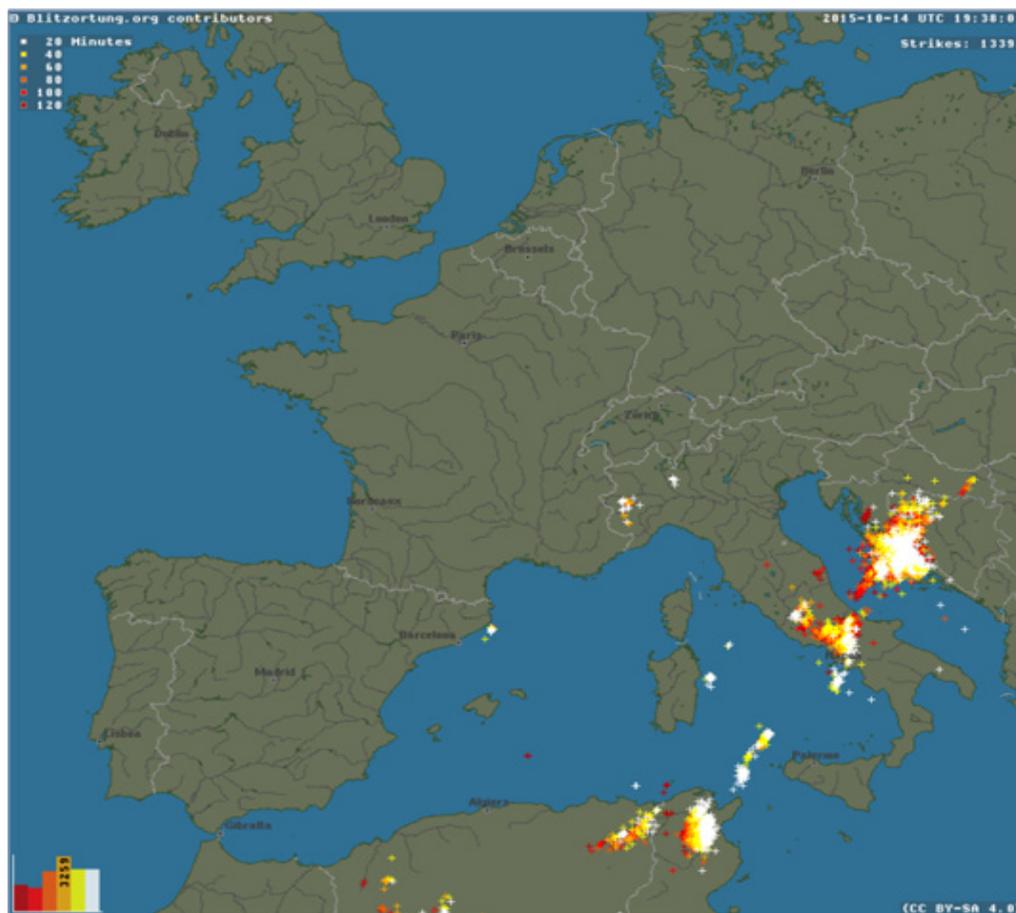


Figura 7 - immagine delle scariche elettriche relative alle ore 21.30 del 14/10: si noti l'addensamento delle scariche proprio sul territorio della Campania.

Infatti, nelle ore serali del giorno 14 ottobre, temporali diffusi e localmente intensi, iniziavano ad investire il territorio regionale della Campania (vedi immagini satellitari e delle scariche elettriche in figura 6°-6b e 7). Intorno alle 22.30 sulla parte occidentale della provincia di Benevento si è generata, come già accennato, una tempesta cosiddetta a “V” (V-shaped Storm) autorigenerante, uno dei più temibili sistemi temporaleschi per la grande capacità di apportare consistenti accumuli pluviometrici in tempi molto brevi ed in maniera localizzata, predisponendo alla genesi di flash flood e debris flow (Mc Cann, 1983).

### **Materiali e metodi**

Lo studio si è sviluppato in varie fasi. Non essendo disponibili risultati di studi scientifici recenti relativi a fenomeni di “flash floods” nell’area metropolitana di Benevento, si è reso necessario condurre inizialmente un’analisi delle fonti documentali, sia su supporti tradizionali cartacei che su contenuti digitali reperibili in rete, con la finalità di riconoscere i principali eventi avvenuti nell’area di studio.

Tale ricerca ha messo in evidenza che in tempi recenti solo nel luglio 2013 (nei giorni 12 e 21) si sono verificati fenomeni di tipo alluvionale generati da sistemi temporaleschi unicellulari di tipo stazionario, sviluppatisi sull’area urbana di Benevento, con apporti pluviometrici di circa 50 mm in un’ora (dati stazione di rilevamento meteo Benevento-Piazza Orsini).

Tutti i dati utilizzati nel presente lavoro sono stati rilevati da centraline inserite nella rete di monitoraggio di [www.campanialive.it](http://www.campanialive.it): in particolare sono stati analizzati quelli delle seguenti stazioni:

Benevento – Piazza Orsini (Strumentazione: DAVIS Vantage Pro2 Plus)

Campoli del Monte Taburno (strumentazione: DAVIS VantageVue)

Fragneto Monforte – Istituto Comprensivo (strumentazione: DAVIS Vantage Pro2)

### **Descrizione ed analisi idrologica del fenomeno**

Le precipitazioni piovose significative in relazione alla genesi dell’evento alluvionale hanno coperto il lasso temporale che va dalle ore 22.30 circa del 14/10 alle ore 04.00 del 15/10.

I primi fenomeni di esondazione del fiume Calore Irpino si sono manifestati intorno alle ore 04.00 (esondazione, quindi, concatenata temporalmente all’evento pluviometrico scatenante) ma la massima estensione dell’aria investita dai flussi idrici di trascinamento, pressoché coincidente con quella in cui si sono manifestati i massimi tiranti idrici, si è manifestata tra le 05.30 e le 06.00.

Di seguito si riporta la tabella relativa all’accumulo delle 3 stazioni di rilevamento citate in precedenza.

La prima colonna, per ogni stazione, è relativa agli accumuli registrati ogni 10 minuti, mentre la seconda colonna riporta il valore cumulato progressivo.

## CAMPOLI M. TABURNO

		BENEVENTO				FRAGNETO M.	
14/10/2015	22:30	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
14/10/2015	22:40	0,4	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
14/10/2015	22:50	0,2	1,4	0,8	0,8	0,0	0,0
14/10/2015	23:00	2,0	3,4	4,8	5,6	0,0	0,0
14/10/2015	23:10	3,0	6,4	2,2	7,8	0,0	0,0
14/10/2015	23:20	6,4	12,8	5,8	13,6	0,0	0,0
14/10/2015	23:30	0,6	13,4	7,2	20,8	0,0	0,0
14/10/2015	23:40	0,4	13,8	6,2	27,0	0,0	0,0
14/10/2015	23:50	6,0	19,8	9,2	36,2	0,0	0,0
15/10/2015	00:00	6,4	26,2	9,8	46,0	0,0	0,0
15/10/2015	00:10	2,0	28,2	16,8	62,8	0,0	0,0
15/10/2015	00:20	4,4	32,6	14,8	77,6	0,0	0,0
15/10/2015	00:30	3,8	36,4	13,6	91,2	0,0	0,0
15/10/2015	00:40	5,4	41,8	9,6	100,8	0,0	0,0
15/10/2015	00:50	3,2	45,0	13,4	114,2	0,0	0,0
15/10/2015	01:00	2,8	47,8	13,6	127,8	0,0	0,0
15/10/2015	01:10	14,8	62,6	11,0	138,8	0,0	0,0
15/10/2015	01:20	4,6	67,2	17,2	156,0	0,0	0,0
15/10/2015	01:30	3,0	70,2	14,4	170,4	8,6	8,6
15/10/2015	01:40	8,0	78,2	7,2	177,6	14,0	22,6
15/10/2015	01:50	3,0	81,2	11,2	188,8	10,7	33,3
15/10/2015	02:00	0,6	81,8	12,0	200,8	9,4	42,7
15/10/2015	02:10	0,0	81,8	5,8	206,6	21,8	64,5
15/10/2015	02:20	2,4	84,2	0,4	207,0	30,0	94,5
15/10/2015	02:30	2,4	86,6	0,6	207,6	10,9	105,4
15/10/2015	02:40	0,8	87,4	0,4	208,0	11,7	117,1
15/10/2015	02:50	4,2	91,6	1,4	209,4	13,0	130,0
15/10/2015	03:00	3,0	94,6	0,8	210,2	5,1	135,1
15/10/2015	03:10	5,4	100,0	2,2	212,4	4,1	139,2
15/10/2015	03:20	14,2	114,2	0,4	212,8	4,6	143,8
15/10/2015	03:30	13,6	127,8	3,2	216,0	1,5	145,3
15/10/2015	03:40	5,4	133,2	10,2	226,2	1,8	147,1
15/10/2015	03:50	6,0	139,2	5,2	231,4	4,1	151,1
15/10/2015	04:00	9,8	149,0	1,6	233,0	6,4	157,5
15/10/2015	04:10	2,4	151,4	1,0	234,0	2,8	160,3
15/10/2015	04:20	1,4	152,8	0,0	234,0	0,3	160,5
15/10/2015	04:30	2,6	155,4	0,0	234,0	0,0	160,5
15/10/2015	04:40	2,0	157,4	0,0	234,0	0,0	160,5
15/10/2015	04:50	3,0	160,4	0,0	234,0	0,0	160,5
15/10/2015	05:00	0,0	160,4	0,0	234,0	0,0	160,5

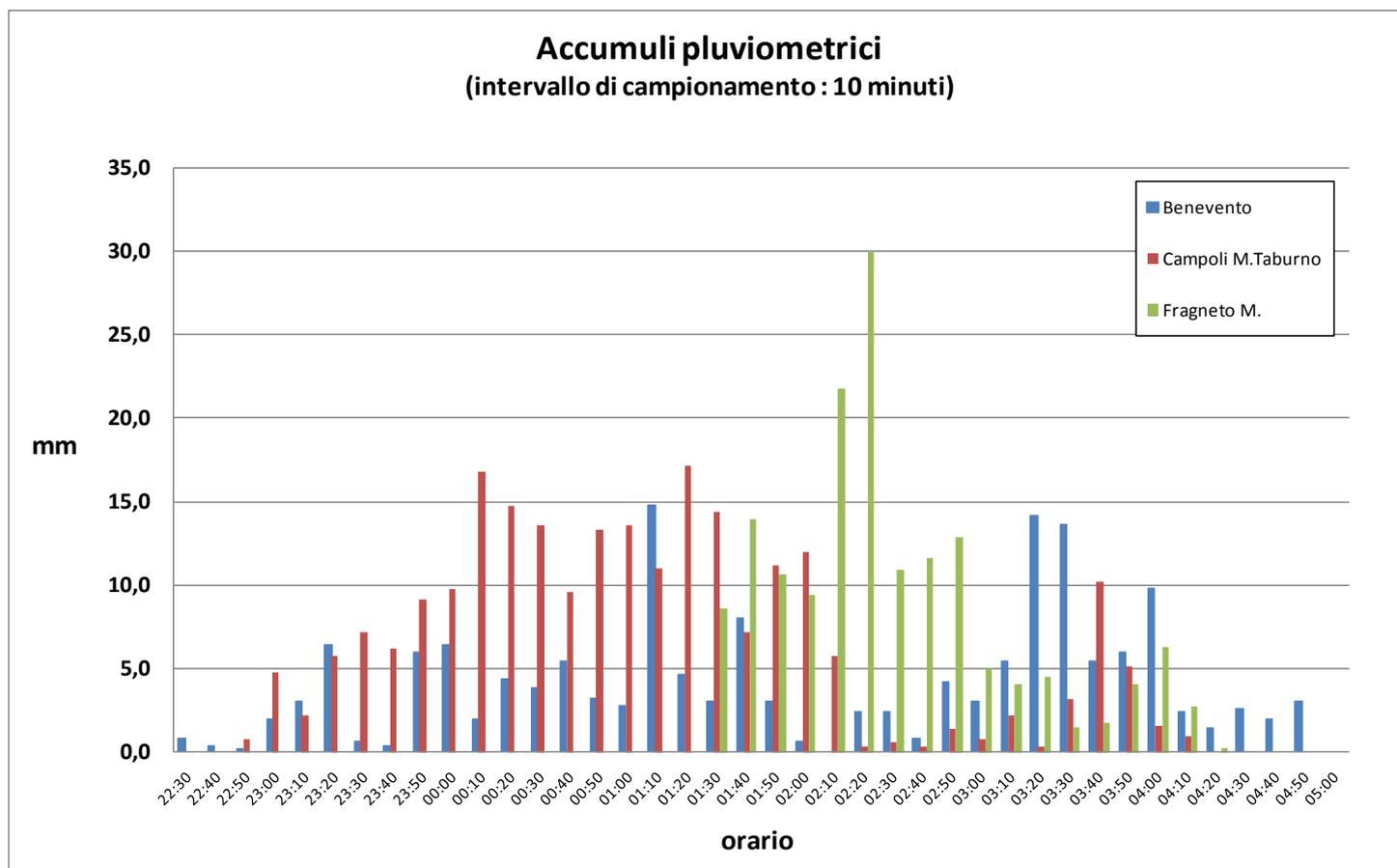
I valori riportati in tabella testimoniano, in particolare quelli relativi a Campoli del Monte Taburno e Fragneto Monforte, l'occorrenza di un fenomeno con caratteristiche di assoluta eccezionalità. Tra di essi possiamo citare:

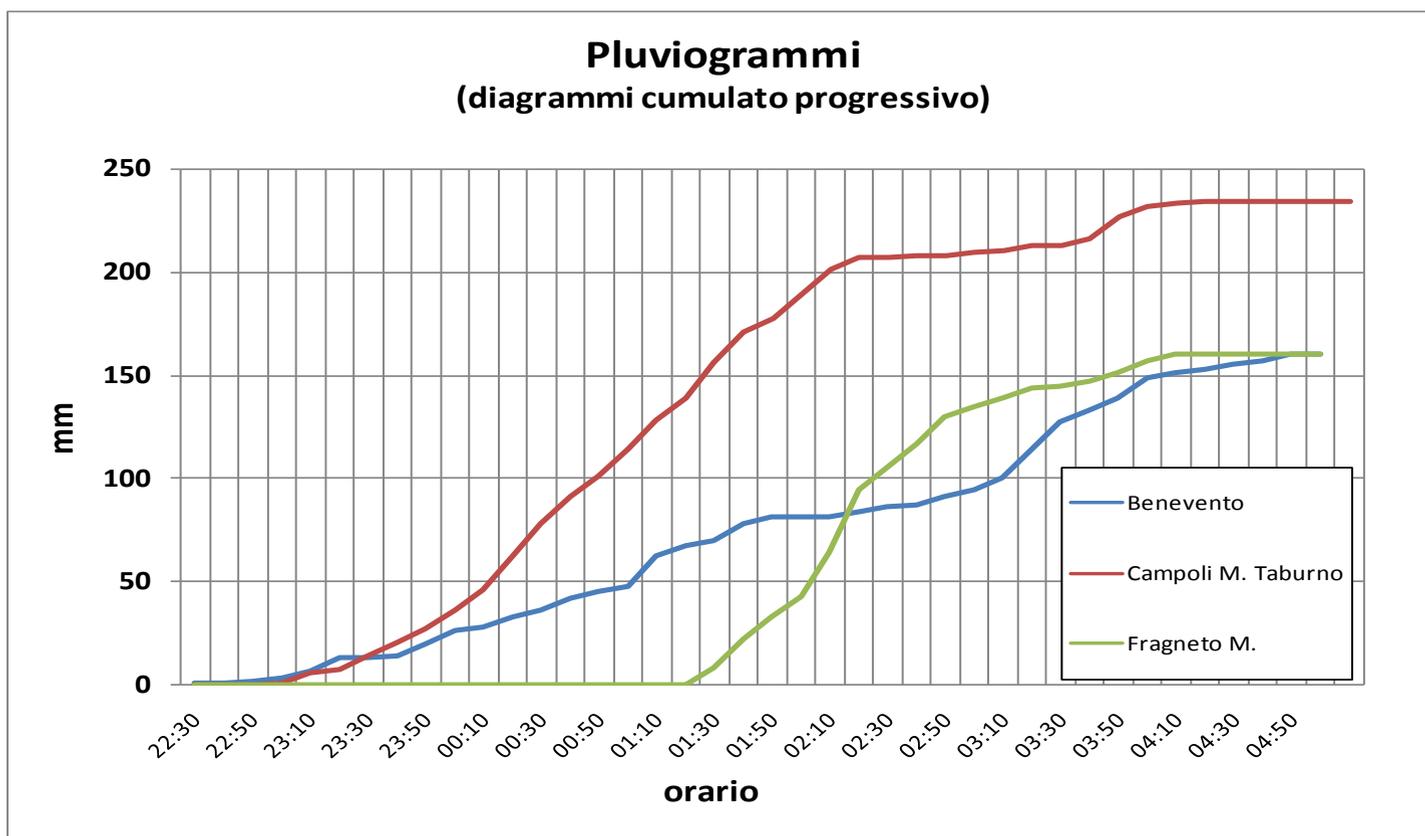
- 233 mm di pioggia in 5h 20' a Campoli del Monte Taburno di cui 205,8 in 3h 20'.
- 30 mm in 10' a Fragneto Monforte
- 160 mm in 2h 50' a Fragneto Monforte
- 96,8 mm in 1h a Fragneto Monforte

Di seguito si riportano i pluviogrammi, con accumuli parziali e cumulati progressivi (figura 8 -9).

Figura 8 - diagramma degli accumuli parziali relativi a Benevento centro - Campoli del M. Taburno e Fragneto Monforte a cadenza 10 min: si nota il picco massimo di 30 mm tra le ore 02.10 e le 02.20 del 15/10.

Dai diagrammi si nota che il nubifragio scatenante l'alluvione è iniziato simultaneamente a Benevento e Campoli del Monte Taburno, mentre a Fragneto Monforte, ubicato più a Nord rispetto all'allineamento Campoli M. T. - Benevento, il fenomeno è iniziato con notevole ritardo. Ciò testimonia l'evoluzione molto lenta del sistema temporalesco, elemento, questo, che conferisce elementi di perversità al fenomeno stesso.





### Le alluvioni ad evoluzione rapida: possibili strategie di difesa

La rilevanza dei fenomeni sopra descritti fa nascere spontanee alcuni spunti di riflessione: in primis, che la Natura è stata clemente con l'Uomo in quanto lo straripamento del Calore, e la conseguente alluvione nelle parti basse di Benevento, è occorsa nelle ore notturne. Se i fenomeni esondativi si fossero sviluppati durante il giorno, le conseguenze sarebbero state, verosimilmente, ben più drammatiche.

In seconda battuta si può dire che tutta la struttura meteorologica previsionale ufficiale (e non) aveva emesso uno stato di allerta meteo per le ore in cui si è sviluppato il nubifragio. Ma, malgrado ciò, le prime notizie provenienti dal territorio relative ai primi allagamenti hanno preso come di sorpresa tutti coloro che avrebbero dovuto essere in uno stato di massima attenzione. Questa forma di reazione denota, probabilmente, una mancanza o, quanto meno, una non totale fiducia sull'attendibilità di una previsione meteorologica.

L'obiettivo della messa in sicurezza strutturale delle aree urbane realizzate in territori a forte rischio di "fenomeni lampo" (flash flood e debris flow) è sicuramente auspicabile ma i tempi e la rilevanza degli investimenti necessari lasciano poco spazio alla speranza di raggiungere risultati concreti a breve scadenza. Tali tempi sono, purtroppo, molto superiori ai tempi di attesa del prossimo evento alluvionale. L'unica strategia che è pos-

Figura 9 - diagramma pluviometrici cumulativi relativi a Benevento centro - Campoli del M. Taburno e Fragneto Monforte



*Figura 10 - Il Fiume Calore in piena giunge a sfiorare le arcate del ponte.*



*Figura 11 - Allagamento Benevento*

sibile far scendere in campo deve agire su due fronti:

- riduzione dei danni conseguenti ad un fenomeno di tipo alluvionale;
- tutela dell'incolumità fisica dei cittadini con idonei sistemi di allarme.



*Figura 12 - Allagamento Benevento*

I recenti eventi sono l'ennesima conferma che i nubifragi che possono innescare rapidamente fenomeni alluvionali non possono essere ancora compiutamente inquadrati nelle loro caratteristiche di dettaglio, quelle di maggiore utilità ai fini della predisposizione di una efficace attività di Protezione Civile: posizione sul territorio e intensità effettiva.

L'attuale "stato dell'arte" in materia di previsioni meteorologiche a 24 ore, consente di prevedere che, per esempio, la Campania ha, per l'indomani, elevata probabilità di osservare fenomeni pluviometrici di notevole intensità. I modelli ad area limitata possono anche spingersi a prevedere una più elevata probabilità a carico della Provincia di Caserta rispetto a quella di Salerno.

Ma anche con questo puntuale scenario previsionale, stante le limitate dimensioni dei sistemi temporaleschi generanti fenomeni alluvionali, può capitare che il nubifragio investa Paestum lasciando completamente a secco Sapri o viceversa, come del resto è capitato già numerose volte.

Le iniziative da prendere nelle aree individuate quali a massima probabilità di accadimento di nubifragi, che possono comprendere anche centinaia di migliaia di abitanti, attività produttive varie ecc., sono quelle previste dai piani comunali di Protezione Civile, tese a garantire la sicurezza nelle parti di territorio che potrebbero essere investite da fenomeni alluvionali o da flussi fangoso-detritici.

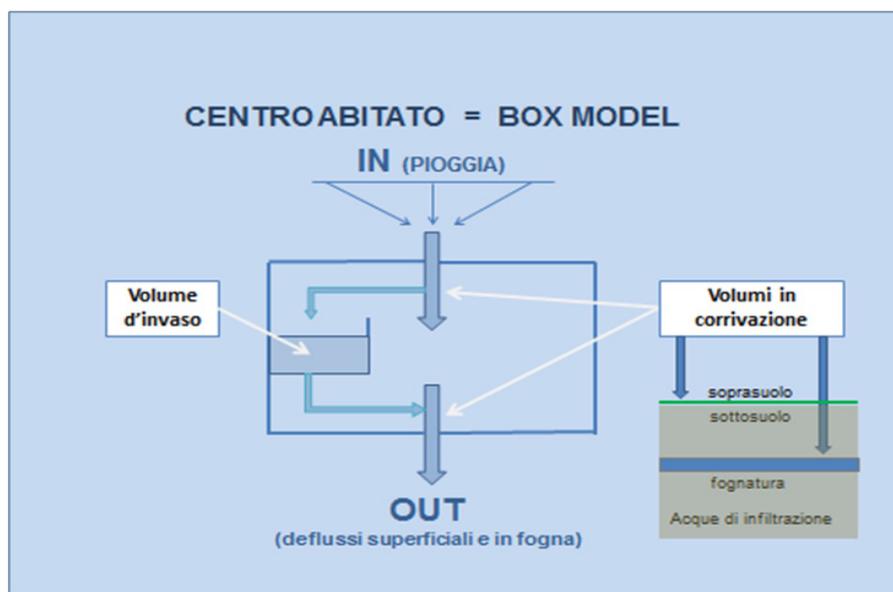
Quanto accaduto negli ultimi anni, con decine e decine di vittime, ci fornisce la certezza assoluta che i concetti sopra riportati sono sconosciuti o, forse, noti ma non correttamente applicati.

### Ipotesi di pianificazione del territorio urbano per la mitigazione del rischio

Il nubifragio, in termini pratici, può essere considerato come un apporto idrico di grande rilevanza, in tempi ristretti, su di una porzione, generalmente limitata, di territorio.

I volumi di acqua complessivamente precipitati al suolo, come è ben noto, si suddividono in due aliquote:

Figura 13 - schema funzionale delle dinamiche idrico-meteoriche in ambito urbano.



- 1) volumi di infiltrazione
- 2) volumi di ruscellamento superficiale.

Il peso percentuale che ciascuna di esse assume è funzione di una serie di parametri idrogeologici, morfologici e vegetazionali.

Le criticità idrologiche (allagamenti di aree depresse, straripamento di corsi d'acqua, massivi ruscellamenti su strade in pendenza) sono generate dalla seconda aliquota. Il processo è regolato da una legge di trasformazione degli afflussi pluviometrici in deflussi al suolo, caratterizzati da una portata idraulica (espressa generalmente in  $m^3/s$ ) in transito in una determinata sezione del reticolo idrografico.

In ambito urbano il reticolo idrografico è composto da due componenti strutturali tra loro interconnesse:

- 1) la componente stradale (sede dei deflussi superficiali)
- 2) la componente fognaria.

Un aspetto da evidenziare, di estrema importanza, è che i volumi di scorrimento superficiale o in sede fognaria, traggono origine, in larga misura, dalle aliquote pluviometriche che precipitano sulle superfici impermeabili (tetti, terrazze di copertura, strade, piazzali, cortili, ecc.) mentre la pioggia che cade su un'area verde si infiltra non contribuendo, se non in casi particolari, alla crescita dei deflussi idrici superficiali.

Da quanto sopra deriva una semplice deduzione: il livello di rischio di tipo idrologico

in un'area urbana è funzione, seppur non esclusiva, dell'aliquota di territorio occupata da aree verdi "drenanti", quindi non tributarie in termini di portate superficiali.

In una attività di pianificazione del territorio risulta, pertanto, di estrema importanza tenere in debita considerazione quali possano essere i prevedibili apporti idrici meteorici, con particolare riferimento a quelli di maggiore intensità. Questi ultimi sono definibili attraverso una analisi statistica della storia pluviometrica del luogo.

Successivamente, a fronte di queste valutazioni del fattore pluviometrico, è necessario prevedere l'inserimento sul contesto urbanizzato di elementi strutturali drenanti, aperti verso il basso, in grado, cioè, di aumentare l'aliquota di infiltrazione a discapito di quella destinata a scorrere in superficie.

Tra di essi, sia per la semplicità che per la loro efficacia in termini di laminazione delle portate massime, sono da annoverare i "rain garden" (in italiano comunemente indicati col nome di "giardini a pioggia").

Il loro inserimento trova la massima efficacia in tutti quei casi in cui le portate idrauliche in scorrimento superficiale sono di genesi interna ad un centro abitato, nel senso che sono prodotte esclusivamente dalle piogge che cadono sul centro abitato stesso.

Nel caso di fenomeni a scala maggiore, con coinvolgimento di bacini idrografici a scala maggiore (come avvenuto nel caso di Benevento), le soluzioni tecniche per la mitigazione del rischio sono, evidentemente, di ben più elevata consistenza strutturale.

### I sistemi di allarme idrogeologico immediato

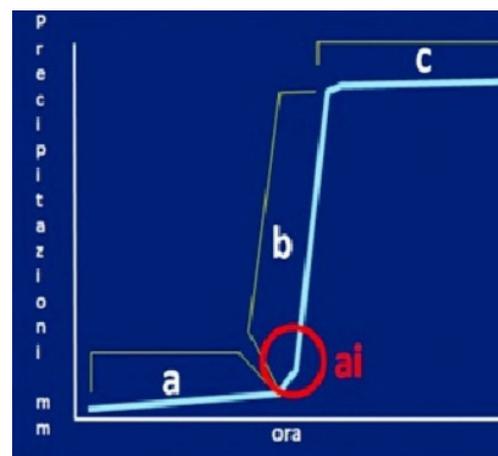
Condizionare il fattore meteorologico al fine di annullare la possibilità di essere investiti da una alluvione lampo, non rientra purtroppo nelle umane possibilità. Esiste pertanto un rischio a carico di tutte le opere infrastrutturali già realizzate e che non possono essere delocalizzate in aree a rischio minore o nullo. Ma la prevenzione si può e si deve attivare per evitare nuove vittime.

Un elemento di importanza strategica della ricerca rivolta ad una mitigazione del rischio è rappresentato dalla ricostruzione dei momenti in cui i flussi rapidi hanno invaso le aree urbane, valutando il ritardo rispetto all'inizio dei nubifragi. Tali ritardi dipendono dalla morfologia del territorio e dalla eventuale devastazione della copertura vegetale da parte di incendi.

L'elemento di maggiore e strategica importanza è rappresentato dalla possibilità di individuare l'inizio del nubifragio analizzando la morfologia della curva pluviometrica che ha caratterizzato gli eventi alluvionali più recenti. Il confronto tra queste curve consente di dichiarare che l'inizio del nubifragio è caratterizzato da una evidente "verticalizzazione" della curva pluviometrica. Questo indicatore rende possibile individuare un nubifragio sul nascere, nel giro di pochi minuti, analizzando in tempo reale la curva pluviometrica generata da pluviometri elettronici in grado di effettuare una misura ad intervalli molto ravvicinati (per es. ogni 5 minuti).

Ne discende che disponendo di una rete di pluviografi correttamente distribuita

Figura 14 - Schematizzazione di una curva pluviometrica di un nubifragio rilasciato da cumulonembi con individuazione del periodo nel quale può es-



in un bacino idrografico è possibile riconoscere l'inizio di un nubifragio e delimitare l'area che esso potrà interessare. In più, conoscendo la morfologia delle aree urbane che possono essere interessate dai fenomeni alluvionali, è possibile prevedere dove i flussi si incanaleranno, così da poter evacuare le strade che saranno verosimilmente percorse dai flussi alluvionali.

### **Conclusioni**

Il presente lavoro ha voluto rendere evidenza del processo, in corso, di innalzamento del livello di rischio di tipo idrologico ed idrogeologico a carico di contesti territoriali sia naturali che antropizzati.

Vista la rilevanza finanziaria correlata alla realizzazione di opere mirate alla messa in sicurezza dei territori urbanizzati esposti ai nubifragi, e ai conseguenti possibili flussi idrici e fangoso-detritici, appare utopistico ipotizzare che tali opere possano essere ultimate in tempi ragionevolmente brevi. La loro realizzazione è comunque un obiettivo al quale attribuire alta priorità. Ma il primo step, quello della immediata tutela dell'incolumità fisica delle popolazioni, deve partire subito, tramite adeguati sistemi di allertamento. In altri termini devono essere progettati ed installati sistemi integrati di allarme idrogeologico immediato (con investimenti estremamente modesti se posti in relazione ai danni che tali dotazioni possono evitare), che consentano di individuare sul nascere l'inizio dei nubifragi, onde poter attivare con anticipo di qualche decina di minuti il piano di protezione dei cittadini, con evacuazione delle parti urbane che possano essere invase da improvvisi deflussi liquidi o fluido-fangosi.

In questo scenario, trova spazio la corretta pianificazione delle aree urbane in quanto deve essere resa agilmente possibile la migrazione di uomini e mezzi dalle zone che saranno verosimilmente percorse dai flussi alluvionali a quelle in cui tale rischio è inferiore o nullo. Il concetto è del tutto analogo a quello dettato dalle norme per la sicurezza sul lavoro: devono essere individuate e correttamente dimensionate le vie di fuga e le aree definibili "luoghi sicuri".

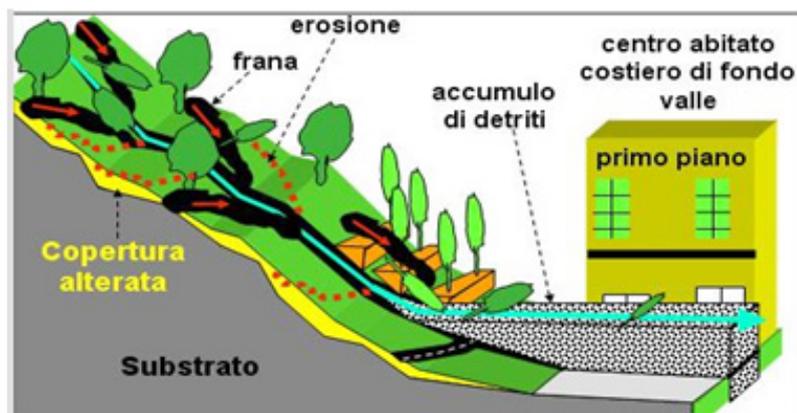
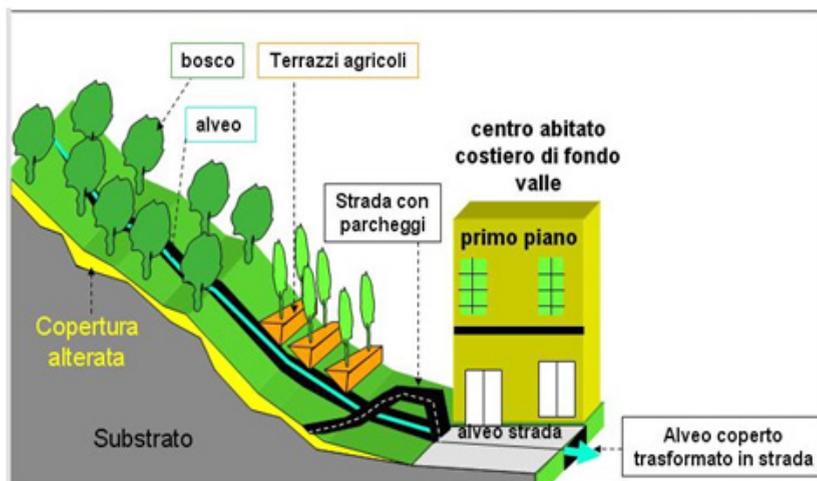


Figura 15 a, b, c - Le immagini in alto evidenziano a) l'ambiente naturale potenzialmente esposto a fenomeni di flash flood, b) lo stesso dopo che si è verificato un flash flood associato ad una colata detritiche e c) semplici accorgimenti per poter ridurre il rischio per la popolazione esposta

#### REFERENCES

- AA.VV. (2006), *Manuale di Meteorologia sinottica: Modelli concettuali sul Mediterraneo* – Centro Nazionale di Meteorologia e Climatologia Aeronautica
- Esposito L., Celico P., Guadagno F.M., Aquino S. (2003): Aspetti idrogeologici del territorio sannita. Con saggio cartografico alla scala 1:100.000. Techne ed. Napoli.
- Esposito L., Fortelli A., Pasculli A. (2015), *Eventi meteorologici e stabilità del territorio* - Aracne Ed.
- Formentini G., Gobbi A., Griffa A., Randi P. (2006), *Temporalità e tornado* - Ed. Alpha Test
- Gaume E. (2014), *Flash floods in Europe: state of the art and research perspectives*, in: Geophysical Research Abstracts Vol. 16, EGU2014-16882, EGU General Assembly 2014, Vienna.
- Giandotti M. (1934), *Previsione delle piene e delle magre dei corsi d'acqua*, Istituto Poligrafico dello Stato, 8, 107-117.
- Huntington, T.G. (2006), *Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis*. Journal of Hydrology, 319, 83–95.
- Julien P. & Lan Y. (1991), *Rheology of hyperconcentrations*, Journal of Hydraulic Engineering, 117(3), 346-353.
- Lu J.Y., Su C.C., Hong J.H., Yang J.C., Wang C.Y. (2010), *Experimental investigation of rheology and transport characteristics of hyperconcentrated flow*. Interpraevent 2010, Symposium Proceedings, 273-282.
- McCann, D.W. (1983), *The enhanced-V: A satellite observable severe storm signature*, Monthly Weather Review, 111, 887-894.
- M. Milelli, M. C. Llasat, and V. Ducrocq (2002), *The cases of June 2000, November 2002 and September 2002 as examples of Mediterranean floods*.
- O'Brien J.S., Julien P.Y., Fullerton W.T. (1993), *Two-dimensional water flood and mudflow simulation*, Journal of Hydraulic Engineering-ASCE, 119(2), 244-261.
- Rossi F., Fiorentino M., Versace P. (1984), *Two-Component Extreme Value Distribution for Flood Frequency Analysis*, Water Resources Research, 20(7), 847-856.
- Rossi F. & Villani P. (1994), *Valutazione delle piene in Campania*, CNR-GNDCI, Salerno.
- Soreca S., Solla G. (2010), *Evidenze di evoluzione recente del Fiume Calore tra le confluenze dei Fiumi Tammaro e Sabato, ottenute mediante approccio GIS - Applicazione di mash up cartografico tra Google Earth e GIS di ArcView 9.3 ESRI per l'ottenimento di un modello cartografico più realistico*, V Conv. Naz. GIT (Geology and Information Technology Group), Grottaminarda (AV), 14-15-16/06/2010.

#### web sites:

[www.campanialive.it](http://www.campanialive.it)  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)  
[www.sat24.com](http://www.sat24.com)

**Alberto Fortelli**

*Università degli Studi Federico II di Napoli, DiSTAR Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse  
alberto.fortelli@unina.it*

Ingegnere Idraulico e Dottore di Ricerca in Rischi Idrogeologico-ambientali, dopo una lunga fase di gestazione, ha trasformato il suo interesse per la Meteorologia in professione, iniziando al contempo, a portare avanti attività di ricerca scientifica. Nel corso degli ultimi 10 anni, in collaborazione con Enti pubblici e privati ha implementato una rete di monitoraggio meteorologico sull'intero territorio regionale della Campania, composta da oltre 100 centraline. Ha tenuto diverse lezioni e seminari sulla Meteorologia applicata nell'ambito dell'Università di Napoli "Federico II" e redatto articoli di tipo scientifico e divulgativo.

**Ferdinando Maria Musto**

*Università degli Studi Federico II di Napoli, Centro Interdipartimentale di Ricerca LUPT Laboratorio di Urbanistica e Pianificazione Territoriale "Raffaele d'Ambrosio"  
ferdinandomaria.musto@unina.it*

Geologo, direttore del laboratorio applicativo e sperimentale per l'assetto e la salvaguardia del territorio GEOLAB, Direttore e Responsabile Scientifico della stazione meteorologica in dotazione al LUPT .