

# GEOLOGI CALABRIA

Tariffa a Regime Libero - Poste Italiane - Spedizione in A.P. 70% - CNS/CBPA - SUD - CZ/119/2006 valida dal 2/11/06

Rivista dell'Ordine dei Geologi della Calabria



## ■ Focus

**Un sistema integrato di sorveglianza per la mitigazione del rischio da frana**

## ■ Eventi

**Forum degli Ordini Regionali e del Consiglio Nazionale dei Geologi "Le Frane in Casa"**  
**Da Sarno a Messina dieci anni di dissesto idrogeologico**

## ■ Normativa

**Differimento dell'entrata in vigore della legge 35/2009 della Regione Calabria**

# Un sistema integrato di sorveglianza per la mitigazione del rischio da frana

Oreste G. Terranova<sup>1</sup>, Piernicola Lollino<sup>2</sup>, Stefano L. Gariano<sup>1</sup>,  
Pasquale Iaquinata<sup>1</sup> & Giulio G.R. Iovine<sup>1</sup>

1) CNR-IRPI, Rende-Cosenza, Italia [g.iovine@irpi.cnr.it]

2) CNR-IRPI, Bari, Italia

## RIASSUNTO

Il 28 gennaio 2009, piogge eccezionali e prolungate hanno innescato una vasta frana da scorrimento in materiale detritico di derivazione metamorfica in località San Rocco, alla periferia meridionale di San Benedetto Ullano (CS). Il movimento di versante, che ha peraltro incluso una frana segnalata nel PAI, ha interessato gneiss migmatitici e scisti biotitici, fratturati ed alterati. Una dettagliata indagine geomorfologica in campagna, svolta durante l'intera fase di mobilitazione, ha permesso di riconoscere l'evoluzione del fenomeno. Una serie di capisaldi sono stati prontamente collocati in corrispondenza delle fratture presenti sul corpo e lungo i fianchi della frana, per consentire ad una squadra di volontari selezionati dall'Amministrazione comunale l'esecuzione di frequenti misure manuali degli spostamenti superficiali. In aggiunta, a partire dall'11 febbraio 2009, è stata implementata una rete di monitoraggio in tempo reale dei movimenti superficiali (con estensimetri a filo, ad alta precisione), e dei parametri meteorici. Sulla base dei dati ottenuti attraverso detto sistema di monitoraggio, integrato con le evidenze scaturite durante i sopralluoghi ed i rilevamenti di dettaglio in campagna, sin dalle prime fasi di attivazione del fenomeno è stato implementato un sistema speditivo di sorveglianza in grado di fornire all'Amministrazione comunale un supporto oggettivo per la gestione dell'emergenza.

Nei mesi seguenti l'innescò, è stata riconosciuta una chiara distribuzione retrogressiva dell'attività della frana, associata ad una tendenza all'allargamento verso i fianchi (ovvero, verso il cimitero ed il centro storico). Nel settore centrale del versante, l'attivazione iniziale è stata caratterizzata dalla comparsa di nuove emergenze sorgentizie. Agli inizi di maggio, la crisi geo-idrologica sembrava conclusa, con spostamenti di entità limitata a soli pochi millimetri al mese.

Successivamente all'arresto del fenomeno, è stato messo a punto uno schema geologico-tecnico del versante, essenzialmente basato sui dati raccolti attraverso un insieme di 5 sondaggi esplorativi (attrezzati con 4 inclinometri ed 1 piezometro): secondo i dati stratigrafici ed inclinometrici, gli spessori mobilizzati dalla frana variano da 15 a 35 metri lungo il profilo longitudinale del versante. Per esaminare le condizioni di stabilità del pendio interessato dalla frana, nonché per quantificare il ruolo delle oscillazioni della superficie freatica nella destabilizzazione del versante, è stata condotta un'analisi parametrica all'equilibrio limite. Detta analisi ha confermato

l'interpretazione del processo basata sulle osservazioni di campagna: la prima attivazione della frana è da attendersi, infatti, nella porzione centrale del pendio quando, nello stesso settore, i livelli di falda sono prossimi al piano campagna.

Tra il 31 gennaio ed il 1 febbraio 2010, a seguito di un nuovo periodo di piogge eccezionali e prolungate, la rete di estensimetri ha prontamente evidenziato l'inizio di una nuova fase di mobilitazione della frana, accompagnata dall'apertura di fessurazioni lungo la viabilità locale e provinciale. L'11 febbraio, dopo ulteriori piogge straordinarie, è stata registrata una brusca riattivazione dello stesso fenomeno, con gravi danni alla viabilità ed alle infrastrutture. Nel complesso, la nuova fase di attivazione gravitativa ha replicato quanto osservato in occasione della precedente crisi (cominciata il 28 gennaio 2009), confermando quanto evidenziato dall'analisi all'equilibrio limite. Sulla base dei risultati dell'analisi parametrica, è stato quindi possibile affinare il sistema di sorveglianza, precedentemente implementato, grazie alla migliore comprensione degli aspetti fisici dell'instabilità monitorata.

## 1. INTRODUZIONE

Una vasta parte del territorio italiano è interessata da movimenti di versante che, in molti casi, interferiscono severamente con l'ambiente antropizzato (Guzzetti, 2000). A parte l'esiguità dei finanziamenti disponibili, ragioni tecniche impongono spesso, come unica opzione praticabile, la convivenza con il rischio: non è infatti semplice reperire luoghi idonei ad ospitare i paesi da trasferire, e gli abitanti sono in genere fortemente legati ai luoghi di origine da motivazioni socio-culturali ed economiche. In tali casi, una volta identificati correttamente tipo ed estensione del fenomeno d'instabilità e compresi i relativi fattori causali, si rende necessario adottare idonee azioni di mitigazione e/o riduzione del rischio. A tal fine, le investigazioni di campagna, l'interpretazione dei dati disponibili (ad es. foto aeree, test *in situ* ed in laboratorio), e le tecniche di calcolo, modellazione ed analisi cartografica sono strumenti indispensabili per poter acquisire la necessaria base di conoscenza.

Sfortunatamente, alcuni tipi di movimenti di versante (ad es. scivolamenti superficiali di terreno, colate detritiche, crolli di roccia) sono caratterizzati da attivazioni immediate, precursori scarsi o poco evidenti, ed alte velocità di propagazione (con conseguente elevata capacità distruttiva). La localizzazione delle zone di origine di tali fenomeni è difficile da prevedere con adeguata preci-

sione – anche se il contesto geomorfologico tipico di tali tipi di instabilità è ben conosciuto. D'altra parte, fenomeni di instabilità di maggiore estensione (es. scivolamenti di roccia o terreno, colamenti di terreno, ecc.) interessano generalmente le stesse zone ripetutamente: le brevi fasi di mobilitazione si ripetono ciclicamente, comunemente innescate da evidenti cause esterne (come precipitazioni, terremoti, o azioni antropiche), e producono spostamenti piuttosto limitati; talvolta, l'area interessata da una riattivazione franosa può risultare significativamente allargata rispetto alla fase precedente. In tutti i casi suddetti, l'approccio basato sulla mitigazione può efficacemente contribuire alla gestione del rischio da frana (cfr. Campbell, 1975; Dai *et al.*, 2002).

Quando si ha a che fare con la potenziale riattivazione di un esteso movimento di versante che minaccia un'area urbanizzata, la mitigazione del rischio può essere essenzialmente basata, nel breve termine, sulla combinazione di: i) tecniche innovative di monitoraggio dei principali fattori di controllo, ii) raccolta in tempo reale di dati *in situ*, e trasferimento ad un centro di elaborazione, iii) modellazione matematica. In questo modo, può essere acquisita una conoscenza più approfondita del fenomeno, come base propedeutica per migliorare la pianificazione urbana e per approcciare correttamente la riduzione del rischio con lavori di protezione e di stabilizzazione del versante (Anderson *et al.*, 2008).

A tale proposito, possono essere definite delle utili relazioni tra fattori causali misurabili e comportamento di un dato fenomeno d'interesse. Un modello attendibile per prevedere sia i meccanismi d'innescio sia l'evoluzione di una frana può essere implementato sulla base di dati raccolti attraverso un adeguato sistema di monitoraggio dei fattori di controllo più significativi (es. piogge, livelli piezometrici, spostamenti superficiali / profondi).

Nei casi in cui l'instabilità di versante possa manifestarsi con un preavviso molto ridotto, diventa inoltre fonda-

mentale adottare tecniche capaci di rilevare tempestivamente i segnali di pericolo imminente (cfr. Ramesh, 2009). I sistemi di acquisizione e trasferimento dati via GSM, in tempo reale, ad una centrale di elaborazione sembrano essere i più appropriati quando le trasmissioni via cavo sono impraticabili o non possono essere adottate (es. a causa di ristrettezze economiche). In tal modo, può essere quindi implementato un idoneo sistema di supporto per la gestione dell'emergenza.

In Figura 1 è riportato, a titolo di esempio, lo schema di un sistema di sorveglianza per la gestione di emergenze geo-idrologiche. Essenzialmente, esso consiste nella: 1) integrazione fra sistemi di misura automatici in continuo e rilievi periodici *in situ*; 2) acquisizione e pre-elaborazione in tempo reale delle informazioni, e successiva analisi mediante idonei modelli matematici; 3) supporto di consulenza tecnico-scientifica da parte di Enti di Ricerca e professionisti rivolto all'Autorità di Protezione Civile. Per favorire la partecipazione e la responsabilizzazione della popolazione, nonché per limitare i costi delle azioni di sorveglianza, è inoltre opportuno coinvolgere nelle attività periodiche di sopralluogo alcuni gruppi di volontari, coordinati dai tecnici dell'Amministrazione locale e specificamente addestrati dai consulenti tecnico-scientifici. Nel presente lavoro vengono analizzate le recenti fasi di mobilitazione della frana in località San Rocco (Fig. 2), nel territorio di San Benedetto Ullano in provincia di Cosenza, prendendo in considerazione le evidenze di campagna ed i dati acquisiti in tempo reale attraverso un sistema speditivo di monitoraggio, per mezzo di una analisi parametrica all'equilibrio limite. Il movimento di versante è stato innescato alla fine di gennaio 2009 da precipitazioni prolungate, manifestando spostamenti significativi per un periodo di tre mesi, che hanno minacciato il margine meridionale del paese e danneggiato le principali infrastrutture di trasporto (Iovine *et al.*, 2009). Nei successivi otto mesi, la frana è rimasta sospesa (o ha mostrato

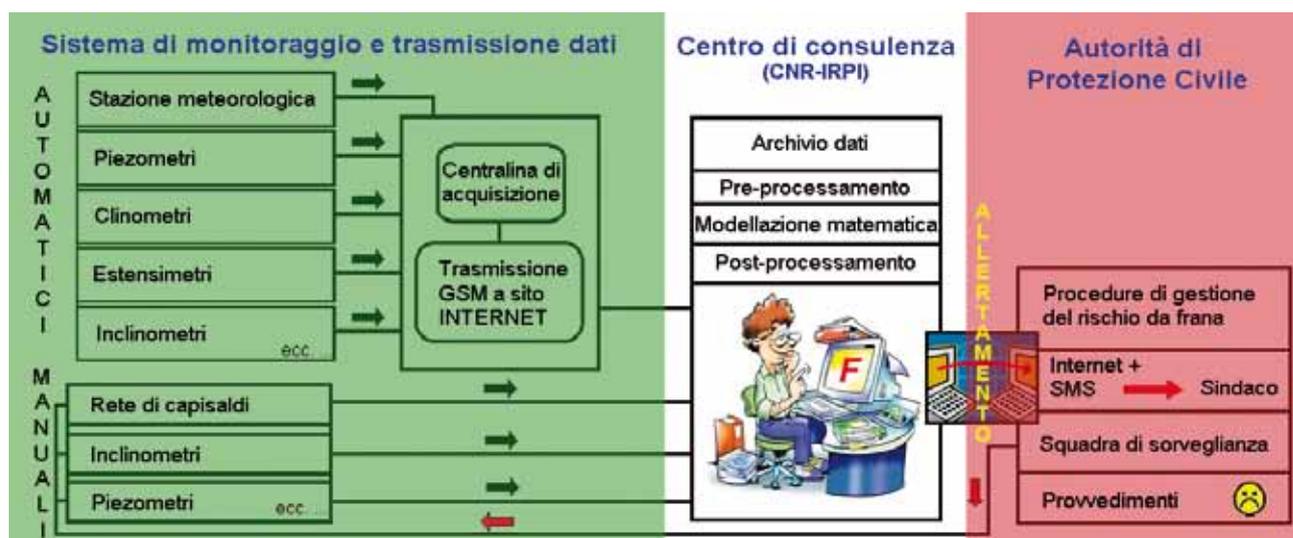


Figura 1 • Schema di sistema integrato di sorveglianza, con evidenziate: la componente locale strumentale della rete di controllo, di tipo automatico e manuale (sfondo verde); la componente remota di archiviazione, pre-elaborazione in tempo reale, ed analisi (sfondo bianco); la componente remota di Protezione Civile, responsabile dell'adozione dei provvedimenti (sfondo rosso).

solo movimenti localizzati e poco significativi). Ancora una volta a causa di piogge eccezionali, una nuova fase di mobilitazione è cominciata alla fine di gennaio 2010, seguita dopo alcuni giorni dal collasso della porzione medio-bassa del corpo franoso: come nella precedente fase di attivazione, il movimento è iniziato nel settore centrale del versante, dove il livello piezometrico ha raggiunto la superficie del pendio, e progressivamente si è esteso nelle settimane successive, causando seri danni alle infrastrutture.

Per supportare l'Autorità di Protezione Civile, sin dalle primissime fasi della crisi geo-idrologica è stato adottato un approccio di tipo empirico. È stata infatti definita una serie di procedure basilari, idonee a verificare le condizioni evolutive del fenomeno, basate sulla verifica in campagna di alcuni indicatori. Inoltre, attraverso un sistema "essenziale" di monitoraggio in tempo reale, sono stati registrati gli spostamenti superficiali in alcuni siti significativi e le precipitazioni. Successivamente, è stato affinato lo schema geologico del versante, mediante una serie di fori di sondaggio attrezzati con inclinometri e piezometri. I dati disponibili sul fenomeno in oggetto sono ancora limitati, e riferiti ad un periodo di osservazione ridotto (i.e.

(Fig. 3a). L'Arco rappresenta un cuneo di accrezione, costituito da una serie di unità tettoniche ofiolitifere del Giurassico-Cretaceo inferiore, sormontate da scaglie di basamento Ercinico e pre-Ercinico (Amodio-Morelli *et al.*, 1976). Durante l'Oligocene-Miocene inferiore, tali unità sovrascorsero sui terreni Mesozoici della Catena Appenninica. A partire dal Miocene medio, le fasi di sovrascorimento e progressiva migrazione dell'Arco Calabro verso SE si combinarono con l'apertura del Bacino Tirrenico. Una fase tettonica trascorrente interessò l'area dal tardo Miocene al Quaternario (Tansi *et al.*, 2007). Durante il tardo Pliocene-Quaternario inferiore, l'Arco fu smembrato da faglie dirette: in particolare, a partire dal Pleistocene medio, una fase estensionale regionale, orientata WNW-ESE, interessò l'area producendo un intenso sollevamento tettonico differenziato, ed originando la cosiddetta "rift-zone calabro-sicula" (Monaco & Tortorici, 2000) – la cui porzione più settentrionale corrisponde al citato *graben* del F. Crati.

Come conseguenza di tali vicissitudini geodinamiche, le unità litologiche che costituiscono l'Arco Calabro sono comunemente caratterizzate da un sistema pervasivo di fratture che ha favorito lo sviluppo di severi processi



**Figura 2** • Veduta panoramica del margine meridionale di San Benedetto Ullano (CS) interessato dall'attivazione franosa oggetto del presente lavoro. Nella foto, sono riconoscibili: la chiesa di San Rocco (al fianco sx del settore maggiormente deformato), il cimitero (al fianco dx del settore maggiormente deformato), l'edificio "P" (alla base del versante). Gli edifici visibili all'estremità dx della foto hanno mostrato evidenze minori di dissesto in occasione delle recenti fasi di mobilitazione gravitativa.

fasi recenti di attivazione ed evoluzione). Pertanto, le analisi all'equilibrio limite sono state realizzate in termini di elaborazioni parametriche rispetto alle variazioni della falda (Iovine *et al.*, 2010).

I risultati ottenuti, descritti brevemente in questa nota, risultano coerenti con le evidenze riscontrate in campagna durante le fasi di mobilitazione ed evidenziano il ruolo delle variazioni del livello di falda nella destabilizzazione del fenomeno d'instabilità considerato.

## 2. L'AREA DI STUDIO

Il movimento di versante ha interessato la località San Rocco, a sud del centro storico di San Benedetto Ullano (SBU). Il sito è localizzato nella parte settentrionale dell'Arco Calabro, sul fianco sinistro del *graben* del F. Crati

alterativi (Guzzetta, 1974). L'effetto combinato del disturbo tettonico, del sollevamento differenziato, dei processi erosivi e di alterazione chimico-fisica ha condizionato l'assetto fisiografico della regione, favorendo lo sviluppo di diffusi movimenti di versante di vario tipo ed estensione.

Insieme ai terremoti, gli eventi meteorici rappresentano in Calabria il principale fattore innescante dei movimenti franosi (Sorriso-Valvo, 1985): questi ultimi determinano, infatti, serie condizioni di rischio in gran parte della regione (cfr. e.g. Carrara *et al.*, 1977; 1979; Sorriso-Valvo, 1985; Crescenzi *et al.*, 1996; Iovine & Merenda, 1996; Iovine *et al.*, 1996; Iovine & Petrucci, 1998; Ferrari *et al.*, 2000; Tansi *et al.*, 2005).

L'abitato di San Benedetto Ullano è situato a 450 m s.l.m. (Fig. 3b), alla base del fianco orientale della Catena

Costiera, lungo il margine sinistro del *graben* del F. Crati. L'area è attraversata da una faglia con orientamento N-S, appartenente alla *rift-zone* calabro-sicula, che si estende per circa 30 km da San Fili a San Marco Argentano. Lungo questa faglia, le rocce metamorfiche (prevalentemente gneiss, scisti e filladi) della Catena Costiera, affioranti più ad ovest, vengono poste in contatto laterale con i sedimenti (soprattutto conglomerati, sabbie e argille) di riempimento del *graben* del F. Crati, posti più ad est (CASMEZ, 1967).

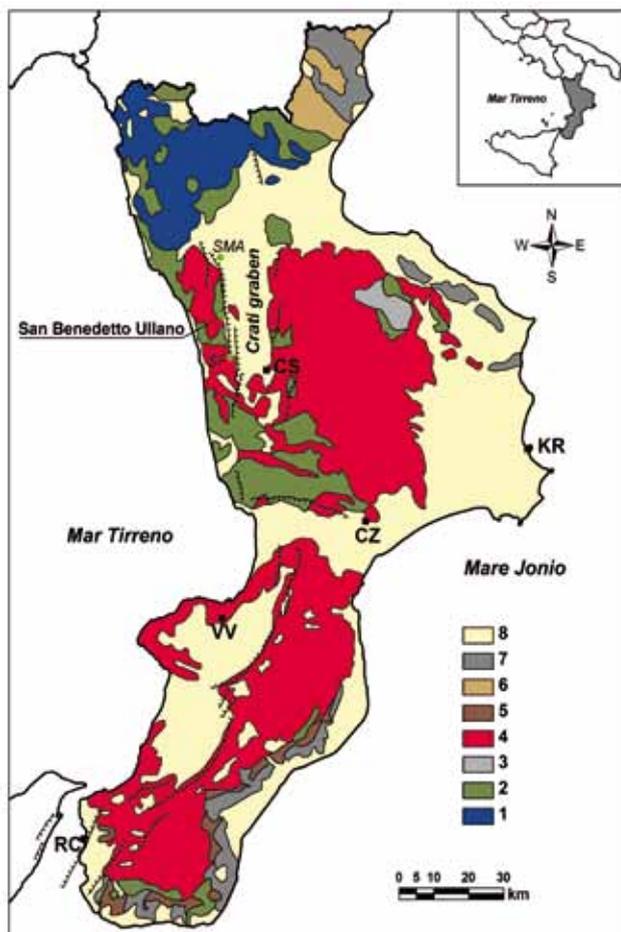
La fisiografia incide fortemente sulle caratteristiche climatiche dell'area di studio, come evidenziato da Versace *et al.* (1989) per le diverse "sottozone pluviometriche" omogenee della Calabria (Fig. 4a): abbondanti precipitazioni annuali si registrano solitamente nei dintorni di SBU, che risulta essere una delle zone più piovose dell'intera regione (Fig. 4b). Le precipitazioni medie annue e mensili nella stazione pluviometrica più vicina, situata a Montalto Uffugo (circa 4 km a SE di SBU), sono riportate in Tab. 1.

### 3. IL CASO DI STUDIO

#### 3.1 Attivazione del 28 gennaio 2009

Durante l'autunno-inverno 2008/09, la Calabria è stata interessata da condizioni atmosferiche severe; i maggiori quantitativi di pioggia si sono verificati tra dicembre e gennaio, ma precipitazioni intense erano state registrate già in novembre e sono continuate fino alla fine di marzo. Nelle vicinanze di SBU, le piogge cumulate da novembre a marzo hanno superato il doppio del valore medio stagionale; durante i 2-3 mesi antecedenti la mobilitazione in oggetto, i valori cumulati sono stati molto vicini ai primi 2 eventi critici registrati a Montalto Uffugo dal 1921 (Iovine *et al.*, 2009). In Figura 5, sono rappresentate le caratteristiche idrologiche della stagione piovosa 2008/2009 nel settore NW della regione, in termini di rapporti tra cumulate (per diversi periodi di aggregazione) e i rispettivi valori medi. In Figura 6, per l'intero periodo considerato nel presente studio (settembre 2008-giugno 2010), sono riportate le precipitazioni giornaliere, con evidenziati gli eventi pluviometrici più severi in termini di cumulata ed intensità. Negli ultimi 10 giorni che hanno preceduto l'attivazione del gennaio 2009, sono state registrate precipitazioni superiori a 500 mm. Comparando i massimi storici (nel periodo 1921-2006) di pioggia cumulata su 30-60-90-120 giorni (Fig. 7a) ed i valori medi mensili (Fig. 7b) con le precipitazioni registrate durante l'autunno-inverno 2008/09, si nota come queste ultime superino i valori massimi per aggregazioni di 74 giorni o più, e le piogge mensili superino abbondantemente i valori medi.

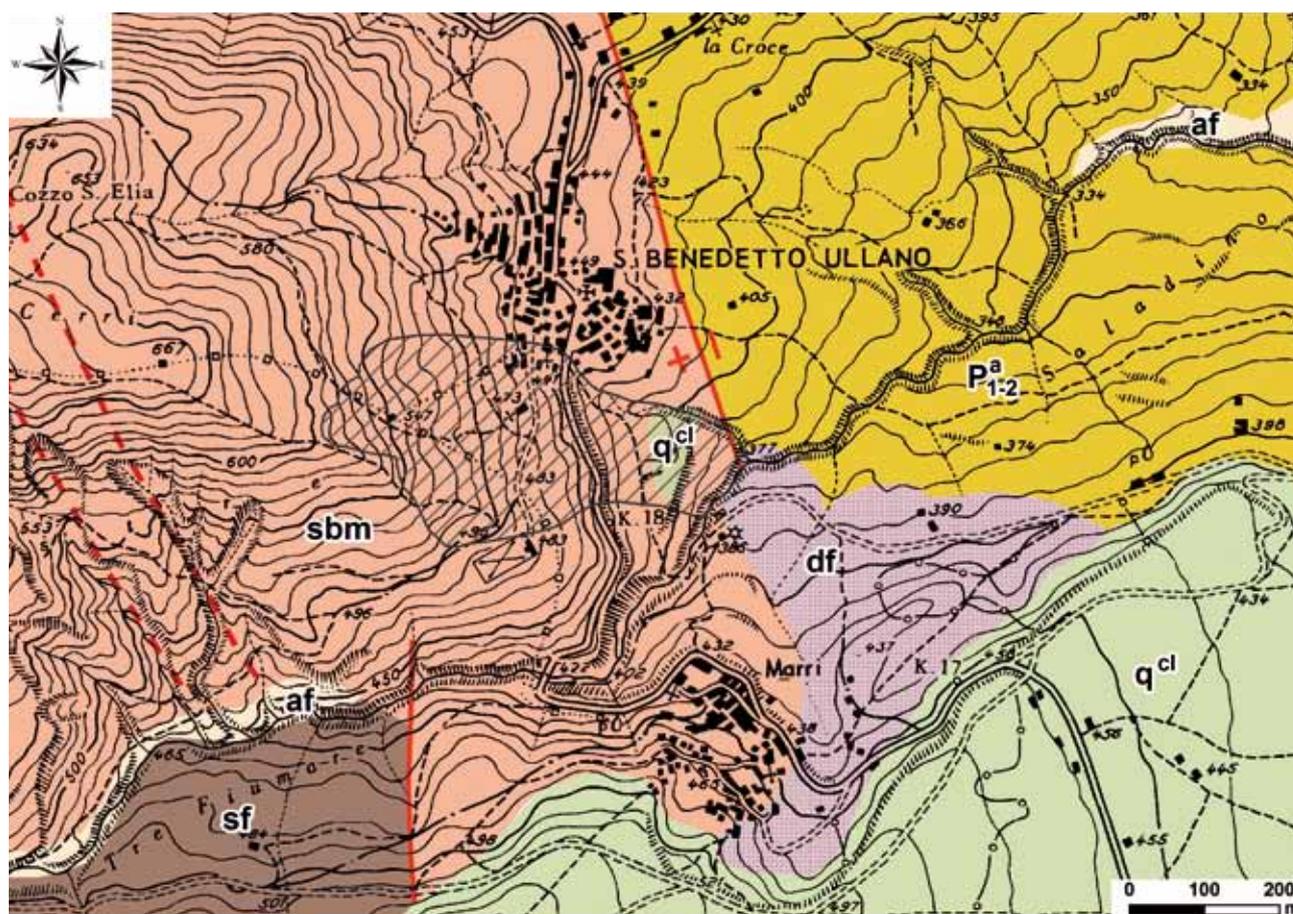
Il 28 gennaio 2009, una serie di fessure erano state segnalate dagli abitanti lungo la rete stradale, nel settore compreso tra la chiesa sconsacrata di San Rocco ed il cimitero (Fig. 8). Dal 5 febbraio, a causa delle ulteriori precipitazioni, il fenomeno si era propagato verso monte, nell'area boschiva: la scarpata principale si era sviluppata appena al di sopra del paese (a circa 590 m s.l.m.), al margine orientale di "Piano dei Cerri" (667 m s.l.m., cfr. Fig. 3b). Le fratture delimitanti il fianco sinistro della frana erano riconoscibili presso la citata chiesa di San Rocco,



**Figura 3a** • Ubicazione dell'area di studio e principali complessi litologici della Calabria (da Sorriso-Valvo, 1993, mod.). Legenda: 1) unità carbonatiche; 2) unità metamorfiche di grado da molto basso a basso, a tratti con ofioliti; 3) sequenze sedimentarie tipo flysch; 4) unità metamorfiche di grado da intermedio ad alto, e rocce intrusive; 5) depositi torbiditici, prevalentemente a grana grossa; 6) falde flyschoidi, in prevalenza marnoso-argillose; 7) falde flyschoidi, a struttura caotica; 8) unità sedimentarie autoctone; CS) Cosenza; CZ) Catanzaro; KR) Crotone; RC) Reggio di Calabria; VV) Vibo Valentia. I cerchietti verdi indicano l'ubicazione di San Benedetto Ullano, San Marco Argentano (SMA), e San Fili (SF). In nero, sono inoltre riportate le principali strutture tettoniche appartenenti alla rift-zone calabro-sicula (da Monaco & Tortorici, 2000, mod.).

mentre il fianco destro sfiorava il cimitero. Il piede della frana minacciava un edificio privato, situato subito a valle della base del versante (cfr. "P" in Fig. 8); nuove fratture si erano intanto estese fin nei pressi del torrente Marri, presumibilmente correlate ad una frana secondaria (scivolamento di terreno).

Il 13 febbraio 2009, un segmento di scarpata (alto 40 cm e lungo 30 m) costituito da un sistema irregolare di fratture si era manifestato nel settore più elevato del pendio, in seguito ad una modesta nevicata. Nelle settimane seguenti, le fratture si erano allungate ed allargate ulteriormente, ed altre si erano aperte anche al di fuori del settore inizialmente interessato dalla destabilizzazione. Nel complesso, l'attivazione dell'inverno 2008/09 ha se-



**Figura 3b** • Mappa geologica dell'area di studio (da CASMEZ, 1967, mod.). Legenda: af) depositi alluvionali (Olocene); df) detriti di frana (Olocene); qcl) depositi conglomeratici di antichi terrazzi fluviali (Pleistocene); Pa1-2) argille marnose grigio-blu (Miocene inf.-medio); sbm) gneiss e scisti biotitici a granato, contenenti localmente abbondante granito e vene di pegmatite, fino a costituire zone migmatitiche (Paleozoico); sf) scisti filladici grigi, con rare intercalazioni di calcare ed arenite, e vene di quarzo (Paleozoico). L'area ombreggiata in nero delimita il settore minacciato dalla frana in località San Rocco. Sono inoltre riconoscibili la strada comunale per il cimitero, la chiesa di San Rocco, e la strada provinciale per Marri (SP 31).

riamente danneggiato la strada comunale per il cimitero e quella provinciale (SP 31) per Marri. Sulla base di ripetuti e accurati rilevamenti geomorfologici di campagna, effettuati sin dai primi stadi di attivazione, è stata progressivamente delineata l'evoluzione della frana, delimitando via via l'area potenzialmente interessata (cfr. Fig. 8). In Figura 9 sono riportati alcuni esempi di evidenze di dissesto riscontrate in campagna nel corso della fase di mobilitazione gravitativa del 2008/09.

Dal 31 gennaio 2009 sono stati fissati alcuni capisaldi sul corpo di frana ed ai suoi margini; nelle settimane successive, il loro numero è stato integrato e la loro ubicazione progressivamente adeguata sulla base dello sviluppo osservato del fenomeno. La cinematica superficiale del movimento di versante è stata monitorata attraverso frequenti misure ai capisaldi, effettuate manualmente da una squadra di volontari. I dati di pioggia sono stati reperiti dal sito web del Centro Funzionale Multirischi della Regione Calabria (<http://www.cfcalabria.it>); a partire dall'11 febbraio 2009, è stata inoltre installata una stazione meteorologica ed è stata implementata una rete di monitoraggio dotata di estensimetri a filo ad alta precisione. Gli strumenti suddetti sono stati organizzati in siste-

ma (ADs) di raccolta e trasferimento dati in tempo reale via GSM ad una stazione di pre-elaborazione in remoto. La frequenza delle misure è stata impostata in funzione dei valori di pioggia e di spostamento superficiale registrati.

Il sistema di controllo ADs ha permesso di registrare spostamenti significativi ( $\geq 1$  cm/mese) in corrispondenza di 2 o più estensimetri fino al 17 aprile; tali spostamenti sono continuati in corrispondenza di 1 solo estensimetro fino al 4 maggio. L'attività è proseguita con minore velocità (pochi mm/mese) durante la tarda primavera e fino all'estate 2009, quando l'emergenza è stata considerata conclusa. Anche se caratterizzati da un comportamento abbastanza complesso, gli spostamenti superficiali sono risultati generalmente coerenti tra di loro, mostrando un rapporto chiaro con le piogge, con risposte quasi immediate (circa 12-24 h) per piogge eccedenti i 30 mm/giorno (Fig. 10a).

Durante la fase di mobilitazione, sono state osservate nuove emergenze sorgentizie temporanee, anche all'interno di alcuni edifici; le sorgenti preesistenti, ubicate sul corpo di frana e nei dintorni, hanno invece mostrato un notevole incremento di portata. Nella parte centra-

le del versante, la falda ha evidentemente intercettato la superficie del terreno. Sulla base del comportamento cinematico registrato nel corso dell'intera fase di mobilitazione, le condizioni di stabilità del versante devono essere rimaste abbastanza precarie anche durante le fasi di quiescenza intermittente. L'infiltrazione delle precipitazioni è stata sicuramente favorita dalla elevata permeabilità della copertura detritica e dalle fratture aperte dalla stessa frana, permettendo un rapido innalzamento della superficie freatica.

Tra maggio e luglio 2009, sono stati realizzati 5 pozzi esplorativi (attrezzati con 1 piezometro *open-pipe* e 4 inclinometri) che hanno consentito di ricavare ulteriori informazioni sul tipo di materiale, sulle variazioni nel tempo del livello delle acque sotterranee, e sugli spostamenti profondi del pendio. Tali informazioni – unitamente alla distribuzione spaziale delle fratture, al loro assetto e dimensione, e alle evidenze cinematiche riconosciute in campagna – hanno permesso di interpretare le caratteristiche rilevate come prova di un singolo, vasto movimento di versante.

La frana in località San Rocco ha incluso un movimento franoso inattivo, già riportato nella Carta del rischio di frana formulata dall'Autorità di Bacino regionale (PAI, 2001). Il fenomeno - almeno nella sua parte centrale - rappresenta una parziale riattivazione di una frana inedita ancor più vasta, ma inattiva, che interessa l'intero versante del centro storico (cfr. Fig. 8).

Gli spessori mobilizzati nel corso di tale attivazione, variabili da 15 a 35 m, sono costituiti per lo più da terreni colluviali, derivati dagli gneiss migmatitici fratturati ed alterati

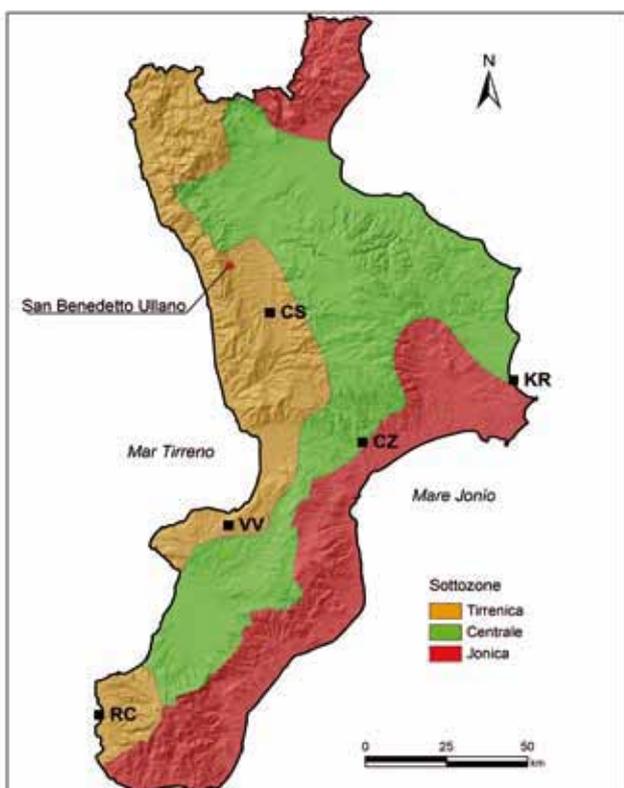


Figura 4a • *Suddivisione della Calabria in sottozone pluviometriche omogenee (da Versace et al., 1989).*

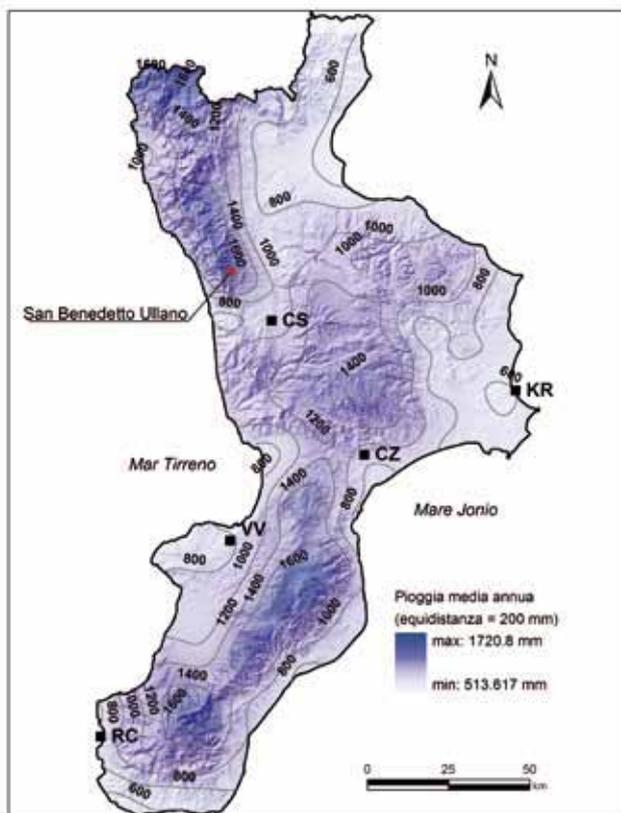


Figura 4b • *Precipitazioni medie annue in Calabria (stazioni con numerosità dei dati ≥ 20 anni).*

e dagli scisti biotitici della Catena Costiera. Le evidenze relative alle superfici di rottura sono migrate nel tempo dalla parte centrale del versante verso i fianchi, nell'area boscata a monte, e verso valle, oltre il citato edificio "P". Una sezione schematica del versante (Fig. 11) è stata tracciata sulla base delle informazioni raccolte (si veda anche § 4).

Sin dalle prime fasi dell'emergenza, in mancanza di una conoscenza sufficientemente dettagliata del fenomeno di studio, è stato adottato un approccio empirico e semplificato di analisi per supportare l'Amministrazione comunale nella gestione del rischio. Il sistema "integrato" di sorveglianza (ADs), descritto da Iovine et al. (2009), si basa su dettagliate indagini geomorfologiche di campo, combinate con analisi incrociate dei dati idrologici e degli spostamenti superficiali, e delle evidenze raccolte nel corso di perlustrazioni periodiche effettuate da un gruppo di volontari (all'uopo addestrati dagli scriventi, e coordinati dall'Ufficio tecnico del comune), come schematizzato in Tab. 2. I dati raccolti grazie al sistema ADs hanno permesso di controllare nel tempo l'evoluzione del fenomeno, fino al suo sostanziale arresto. Per la gestione dell'emergenza, il sistema ha fornito informazioni tempestive che hanno consentito all'Autorità di Protezione Civile di valutare l'opportunità di attivare o meno le procedure previste per le diverse fasi di attività. Dette procedure sono essenzialmente basate sulle velocità degli spostamenti misurati alla superficie del versante, oltre che sulla misura delle piogge giornaliere e di altre evidenze morfologiche, e sono state definite conside-

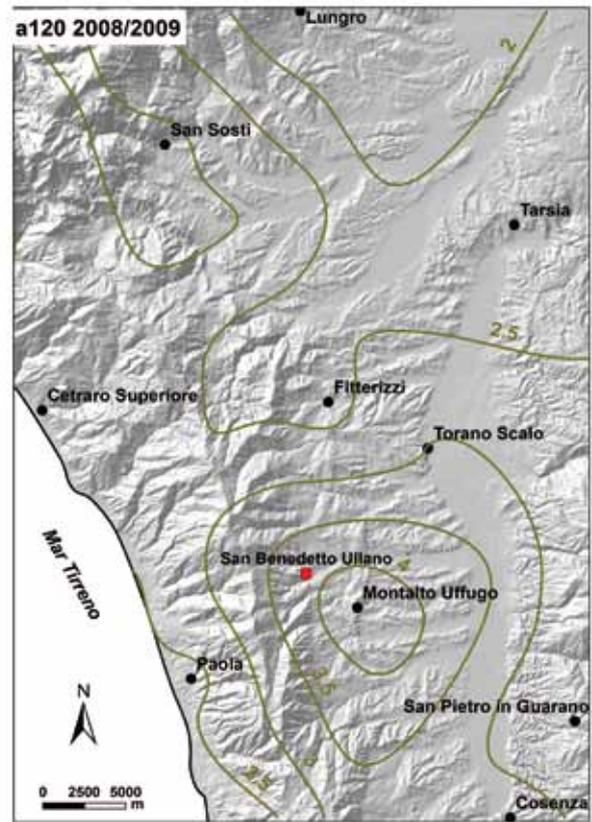
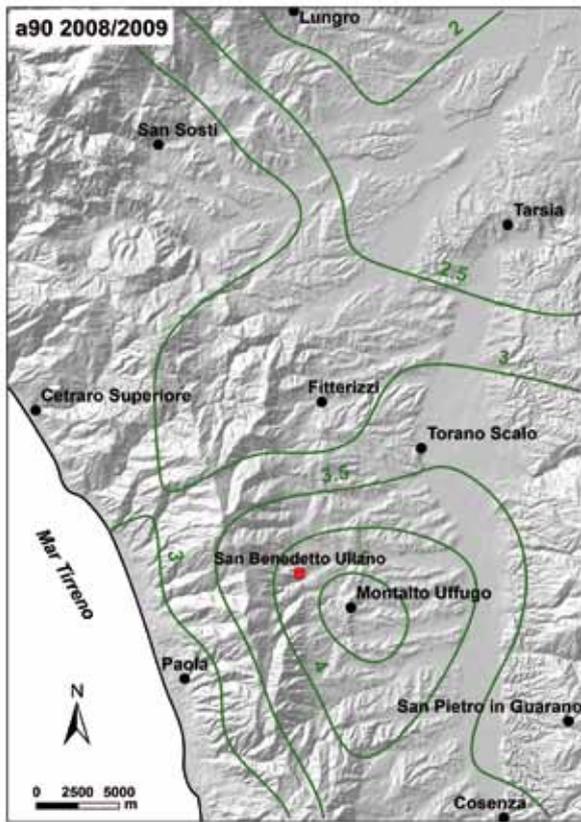
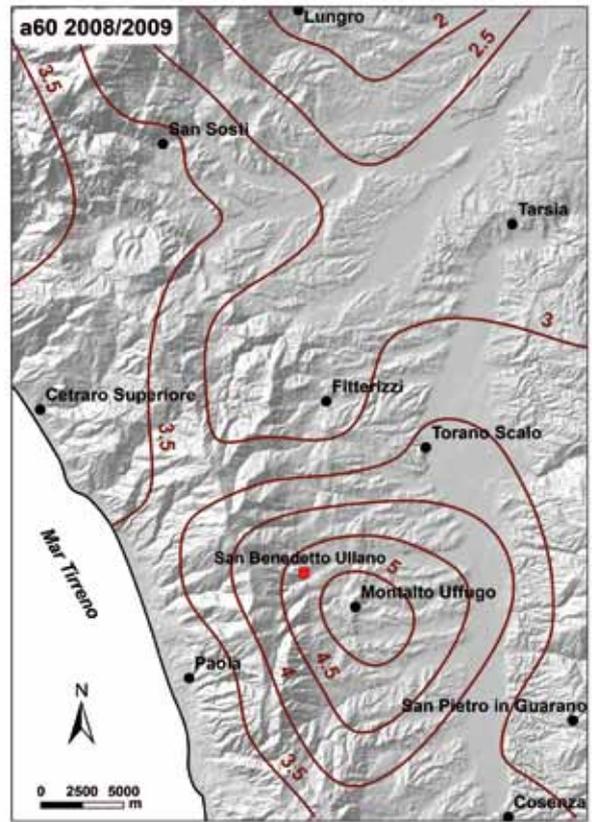
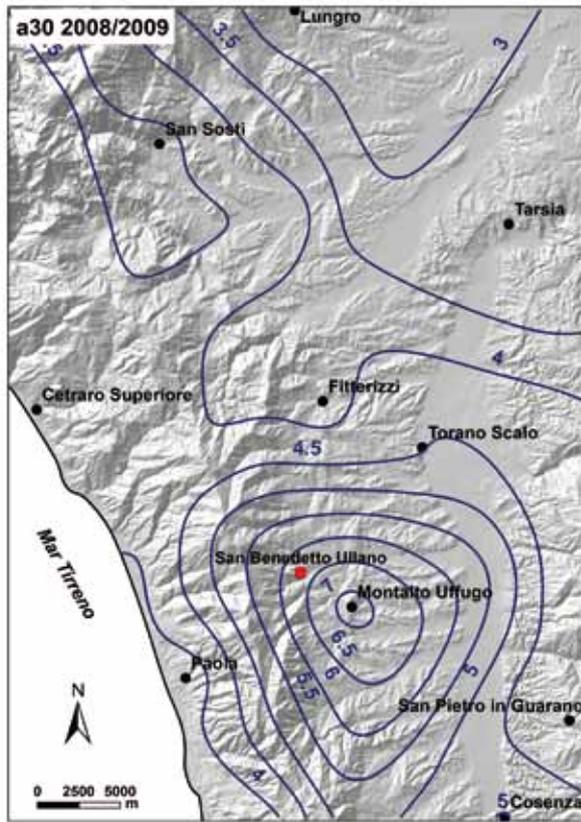
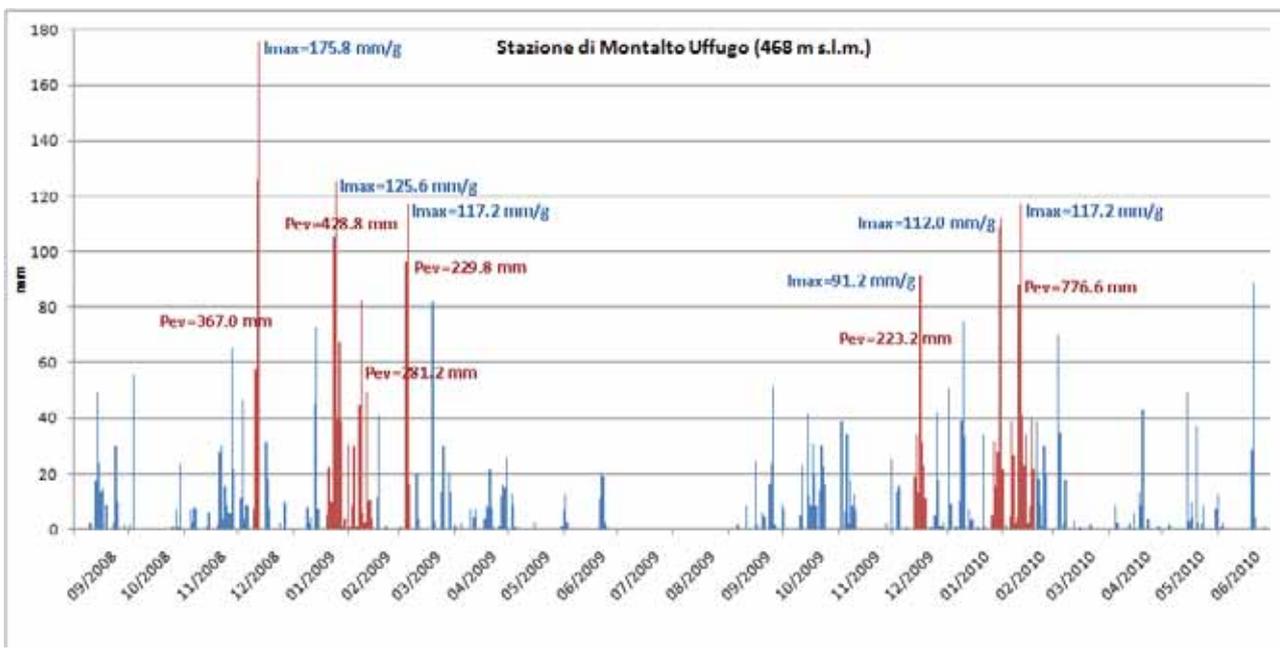


Figura 5 • Caratteristiche idrologiche della stagione piovosa 2008/2009 nel settore NW della Calabria. In blu:  $a_{30}=P_{30}/(PMA/12)$ ; in rosso:  $a_{60}=P_{60}/(PMA/6)$ ; in verde:  $a_{90}=P_{90}/(PMA/4)$ ; in giallo:  $a_{120}=P_{120}/(PMA/3)$ .  $P_{30}$ : valore massimo di precipitazione cumulata su 30 giorni;  $P_{60}$ : valore massimo di precipitazione cumulata su 60 giorni;  $P_{90}$ : valore massimo di precipitazione cumulata su 90 giorni;  $P_{120}$ : valore massimo di precipitazione cumulata su 120 giorni; PMA: precipitazione media annua.

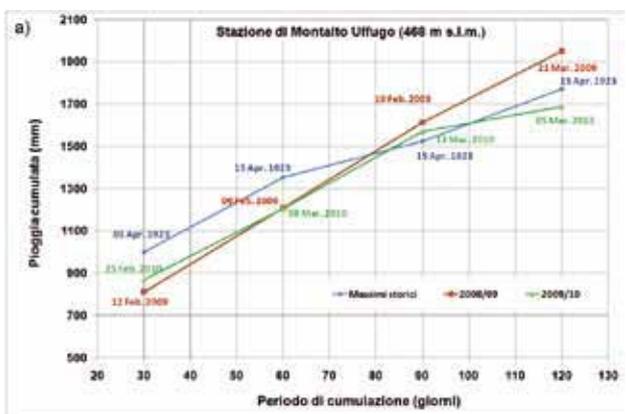
	Set	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	anno
media	70.4	125.1	187.9	220.8	198.1	160.3	132.8	98.9	64.6	27.8	18.3	28.6	1333.6
2008/09	<b>174.8</b>	89.0	<b>216.6</b>	<b>524.4</b>	<b>647.8</b>	<b>335.6</b>	<b>417.0</b>	<b>142.5</b>	26.4	<b>77.8</b>	0.4	0.0	2652.3
2009/10	<b>141.0</b>	<b>247.6</b>	129.6	<b>350.2</b>	<b>575.2</b>	<b>592.2</b>	130.4	90.6	<b>126.0</b>	<b>139.8</b>	-	-	2522.6*

\* somma parziale

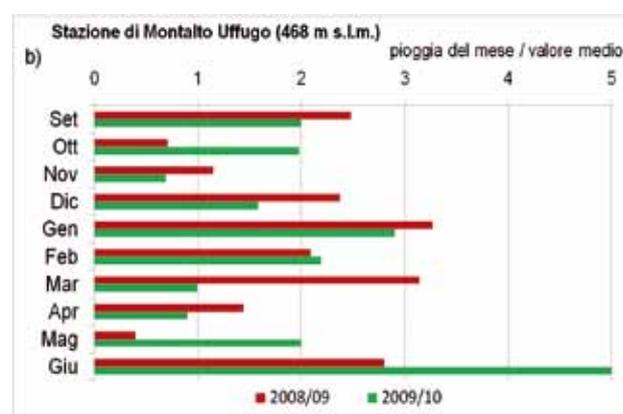
**Tabella 1** • Stazione di Montalto Uffugo (468 m s.l.m.). Prima riga: valori medi nel periodo 1921-2006 (mm); seconda riga: valori del periodo 2008/09 (mm); terza riga: valori dell'autunno-inverno 2009/10 (mm). In grassetto, i valori più elevati rispetto alle medie mensili; il trattino indica l'indisponibilità dei dati alla data di redazione del manoscritto.



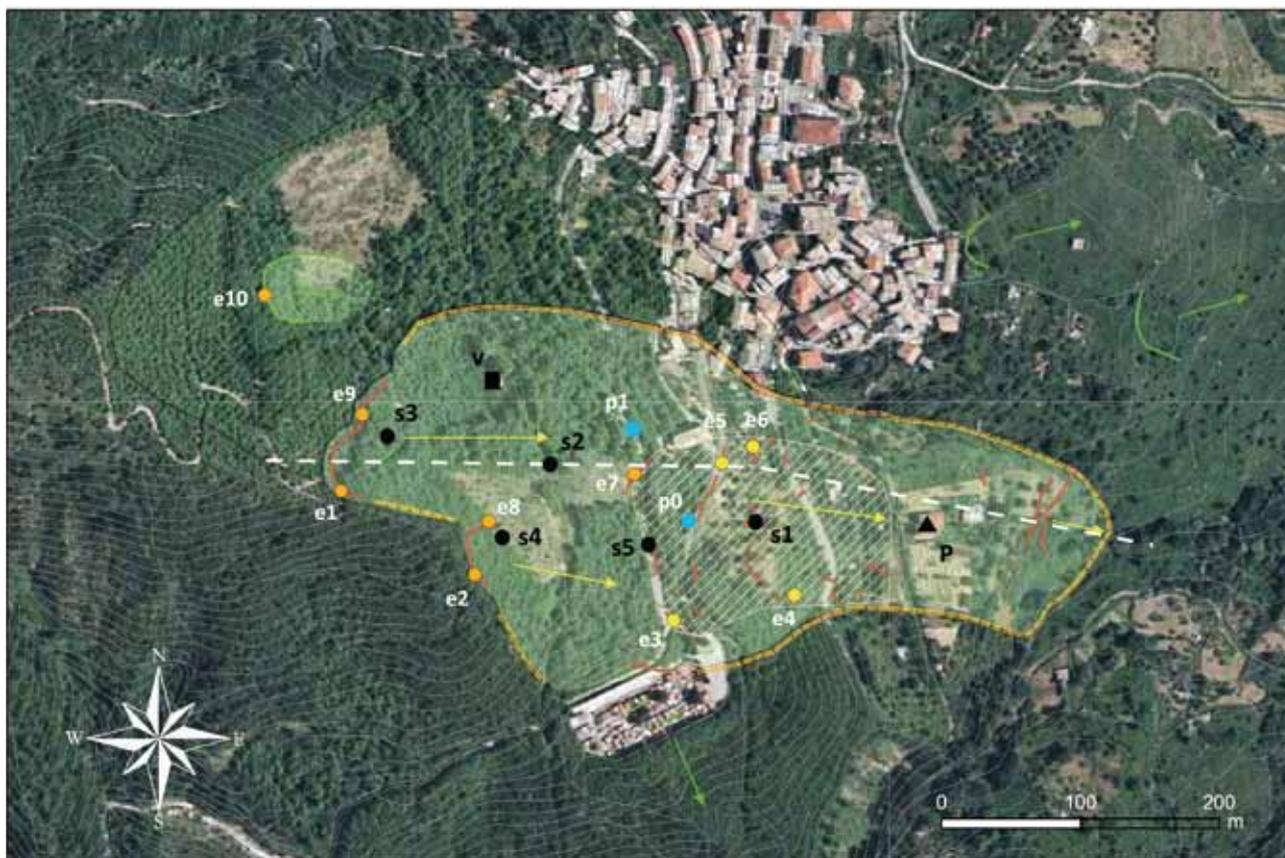
**Figura 6** • Stazione di Montalto Uffugo. Precipitazioni giornaliere nel periodo settembre 2008-giugno 2010. I sei eventi con altezza di pioggia totale massima (Pev) sono evidenziati in rosso. Sono inoltre indicati i sei valori massimi di intensità di pioggia (Imax).



**Figura 7a** • Precipitazioni registrate durante gli anni idrologici 2008/09 e 2009/10, comparate con i massimi storici (periodo 1921-2006) in termini di piogge cumulate.



**Figura 7b** • Precipitazioni registrate durante gli anni idrologici 2008/09 e 2009/10, comparate con le precipitazioni mensili.



**Figura 8** • Schema geomorfologico della frana in località San Rocco (da Iovine et al., 2009, mod.). *Legenda*) in rosso: principali fratture aperte durante la prima fase di mobilitazione (gen.-mag. 2009); area tratteggiata in verde: antica frana inattiva; area tratteggiata in rosa: parte della frana che ha mostrato le maggiori evidenze di mobilitazione in entrambe le attivazioni, con apertura di nuove emergenze sorgentizie; frecce in giallo: verso medio degli spostamenti, come determinato dalle osservazioni di campo; in verde: fratture e verso di movimento di altri fenomeni gravitativi attivi; S1-5: fori di sondaggio perforati nell'estate 2009 (cerchi in nero); e1-10: estensimetri (e1-6 attivi da feb. 2009; e3-6 inattivi da feb. 2010; e7-10 attivi da feb. 2010); p0-1: stazioni pluviometriche (cerchi in blu: p0 attiva da apr. 2009 a feb. 2010; p1 attiva da mar. 2010); triangolo in nero: edificio "P"; quadrato in nero: cisterna dell'acquedotto ("v"); linea tratteggiata in bianco: profilo considerato nelle analisi parametriche (cfr. Figg. 18-22). In S1 è stato installato un piezometro; i fori S2-5 sono stati attrezzati con inclinometri. L'area complessivamente minacciata è evidenziata in verde chiaro, e delimitata da una linea tratteggiata in arancio.

rando le soglie relative alle massime velocità "puntuali" giornaliere, osservate in siti selezionati, come suggerito in letteratura (cfr. Oboni, 1988; Iovine et al., 2006). I criteri per discriminare tra i livelli di allarme hanno tenuto conto anche del fatto che le osservazioni possono riguardare un singolo sito oppure più siti nella zona interessata. Nella procedura, sono stati previsti distinti protocolli automatizzati per informare tempestivamente il sindaco ed i consulenti in merito al variare nel tempo delle condizioni di rischio.

### 3.2 Attivazione del 1 febbraio 2010

Tra l'autunno e gli inizi dell'inverno 2009/10, si sono nuovamente registrate in Calabria abbondanti precipitazioni. Anche in questo caso, la zona più colpita è risultata lungo il fianco interno della Catena Costiera (Fig. 12): qui, nel mese di gennaio, le altezze di pioggia sono state pari al doppio dei valori medi; la media mensile è stata superata ancora nei primi 13 giorni di febbraio. A Montalto Uffugo, sono caduti circa 330 millimetri di pioggia tra il 26 gennaio ed il 1 febbraio; ulteriori precipitazioni

straordinarie hanno totalizzato 320 mm tra il 6 e il 13 febbraio (cfr. Fig. 6). Occorre notare che anche le piogge di settembre, ottobre e dicembre 2009 avevano superato le corrispondenti medie mensili; peraltro, nei successivi mesi di maggio e giugno 2010, le cumulate mensili sono risultate nuovamente eccezionali, fino a 5 volte la media (cfr. Fig. 7).

Fino al gennaio 2010, non erano state segnalate significative evidenze di attività franosa durante i sopralluoghi in campagna. L'ADS aveva segnalato solo lievi movimenti localizzati, in genere a seguito di eventi meteorici (ad es. alla fine dell'estate 2009, nella parte centrale della frana). A seguito di precipitazioni straordinarie (circa 250 mm in 6 giorni), una nuova fase di attivazione veniva osservata tra il 31 gennaio ed il 1 febbraio 2010: la frana si attivava ancora nel settore centrale, tra la strada comunale per il cimitero e la SP 31. Veniva quindi prontamente definita una nuova serie di capisaldi, e venivano organizzati i sopralluoghi periodici e le misure da far effettuare alla squadra di volontari.

Dopo ulteriori 295 millimetri di pioggia in 11 giorni, tra il 10