

## Le colate di fango e detrito lungo il versante costiero tra Bagnara Calabria e Scilla (Reggio Calabria): valutazioni di suscettibilità

Marco Bonavina<sup>1</sup>, Francesca Bozzano<sup>2</sup>, Salvatore Martino<sup>2</sup>\*, Annamaria Pellegrino<sup>3</sup>,  
Alberto Prestininzi<sup>2</sup>, Riccardo Scandurra<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Collaboratore esterno – Via Roccantica 18, Roma

<sup>2</sup> Università di Roma “La Sapienza” – Centro di Ricerca CERI, Valmontone, Roma.

<sup>3</sup> Autorità di Bacino Regionale, Regione Calabria

<sup>4</sup> Collaboratore esterno – Via V. Picardi 4, Roma

\* Autore di riferimento – salvatore.martino@uniroma1.it, P.le A.Moro 5 - 00185 Roma

*Mud flows along coastal slopes between Scilla and Bagnara Calabria villages (Reggio Calabria, Italy): susceptibility analysis*

**ABSTRACT:** During the last five years the coastal area (Fig.1) between Bagnara Calabria and Scilla villages (RC) has been affected by numerous mud flow events that involved some structures and infrastructures (Fig.2) such as the Favazzina village, the Salerno-Reggio Calabria highway, the coastal national road SS18 and the SNAM gas pipeline (Figg. 3,4). Detailed geological, geomorphological, hydrogeological (Figg. 1, 2 ; Tab. 1) and laboratory (Tab. 2) data have been collected. All over the coastal area metamorphic rocks outcrop overlapped, in transgression, by plio-pleistocene sandstones and quaternary coarse deposits of marine terraces (Fig.1). The mud flows were produced by translational landslides involving the superficial and weathered part of the metamorphic substratum; they occurred upslope to the channels, concomitant with very intense rainfalls. The landslide masses were channelled and fluitized by stream waters. The here reported reconstructions pointed out that the involved volume are of about 1000 m<sup>3</sup>, with 3D safety factors (Fig. 5, Tab. 3) that are close to the unit when saturation conditions are imposed for the superficial blanket. The solid percentages into the debris masses in the detachment area are very close or up to 60% in agreement with Pierson & Costa (1987) classification. The following susceptibility elements have been considered for both the 2001 and the 2005 mud flow events: intense weathered cover above the metamorphic substratum, deep eroded gullies, pluviometric conditions, man-made trackways upslope modifying the natural drainage network. In the considered coastal area an high susceptibility to mud flow phenomena has been also recognised for the Prajalonga and the Mancusi channels (Fig. 1) due to the observed geological and geomorphological features as well as to the land use conditions.

*Key terms:* mud flow, coastal slope stability, Calabria

*Termini chiave:* colate di fango e detrito, stabilità versanti costieri, Calabria

### Riassunto

Il tratto di costa tra Bagnara Calabria e Scilla (RC) che ospita la ferrovia, l'autostrada Salerno-Reggio Calabria, la statale tirrenica SS18, l'abitato di Favazzina e diverse infrastrutture, è stato interessato negli ultimi anni da colate di fango e detrito. Il 12 Maggio 2001 una colata, incanalatasi nel vallone Favagrega, ha danneggiato la stazione SNAM del metanodotto, la ferrovia e la strada statale, causando il deragliamentò dell'ICN Torino-Reggio Calabria mentre una seconda colata, da un vallone adiacente, ha investito l'autostrada presso la Galleria Brancato. Il 31 Marzo 2005 un analogo fenomeno si è attivato dal vallone adiacente all'abitato di Favazzina, provocando danni a gran parte dello stesso, alla strada statale ed alla ferrovia e causando il deragliamentò dell'ICN Reggio Calabria-Milano.

Gli studi condotti a seguito di tali eventi hanno evidenziato diversi fattori di controllo delle colate di fango e detrito nell'area compresa tra Bagnara Calabria e Scilla, tra i quali le elevate acclività dei versanti costieri, la preesistenza di incise valli, i considerevoli spessori di coltri alterative e colluviali, il regime pluviometrico ed i numerosi interventi antropici, quali sentieri, tagli e disordinate reti di drenaggio delle acque di scolo superficiale.

Nell'intero tratto costiero affiora un substrato paleozoico di orto e paragneiss sul quale, in trasgressione, poggiano arenarie plio-pleistoceniche e ghiaie-sabbiose dei terrazzi marini quaternari.

L'analisi dei meccanismi di innesco e propagazione delle colate porta a ritenere che la loro origine si debba a scorrimenti traslazionali nelle coltri di alterazione alle testate dei valloni, innescati da intense precipitazioni,

concentrate in poche ore; i detriti, incanalandosi nelle valli, aumentano il contenuto in solido ed acqua, dando origine a colate di fango e detrito. Valutazioni preliminari portano a ritenere che i volumi distaccatisi alle testate siano dell'ordine dei 1000 m<sup>3</sup> ai quali corrispondono fattori di sicurezza tridimensionali prossimi all'unità già in condizioni di quasi totale saturazione. Le percentuali di solido e liquido della massa di frana risultano rispettivamente di circa 60% e 40% che, secondo la classificazione di Pierson & Costa (1987), consentono di classificare i flussi detritici al momento del distacco come "debris flow".

Nonostante le forti analogie riscontrate in tutti i valloni

dell'intero tratto costiero, specifiche condizioni geologico-geomorfologiche e di uso del suolo, portano a ritenere alcuni di essi particolarmente suscettibili ai fenomeni recentemente verificatisi.

### 1. Assetto geologico strutturale dell'area

In corrispondenza del tratto costiero compreso tra Bagnara Calabria e Scilla (RC) affiorano termini metamorfici del basamento paleozoico consistenti in gneiss, gneiss occhiadini e scisti biotitici esposti ad una degradazione subaerea più o meno profonda (Fig.1).

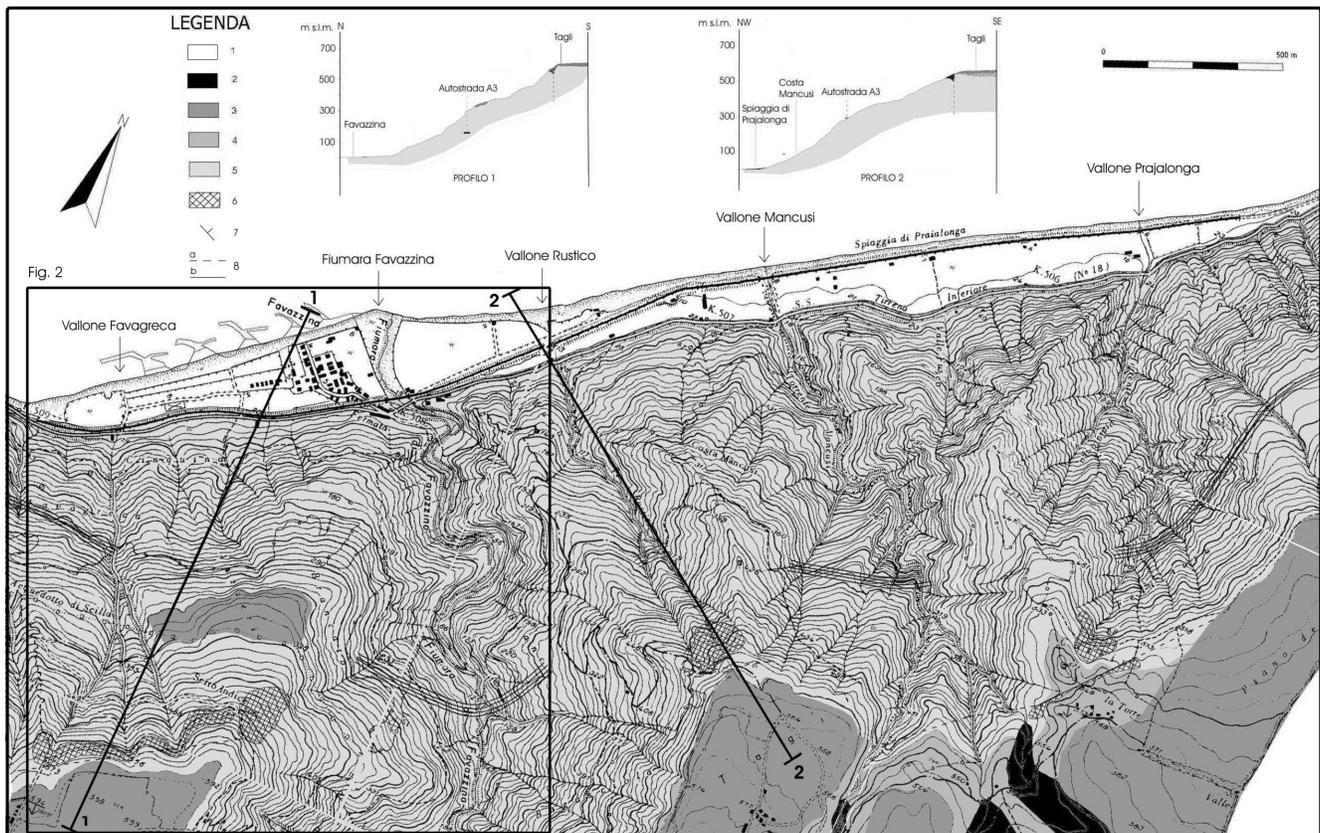


Fig.1 – Schema geologico dell'area: 1) depositi di piana costiera, 2) alluvioni, 3) depositi ghiaioso-sabbiosi dei terrazzi quaternari, 4) sabbie ed arenarie plioceniche, 5) substrato metamorfico costituito da gneiss, paragneiss ed ortogneiss, 6) substrato metamorfico intensamente alterato, 7) giacitura degli strati, 8) faglia certa (a) e presunta (b). Il riquadro corrisponde all'area di Fig. 2.

*Geological sketch of the studied area: 1) coastal plain deposits, 2) alluvia, 3) coarsely sands of the quaternary marine terraces, 4) pliocenic sands and sandstones, 5) metamorphic substratum, 6) intensely weathered metamorphic substratum, 7) attitude of beds, 8) certain (a) and uncertain (b) fault. The square indicate the area shown in Fig. 2.*

Le coltri di alterazione presentano in genere uno spessore variabile da una decina di centimetri a qualche metro, che aumenta in corrispondenza della sommità dei versanti e diminuisce, a luoghi annullandosi, nelle incisioni vallive.

La successione sedimentaria al di sopra del basamento metamorfico presenta numerose lacune deposizionali, essendo rappresentata essenzialmente da sabbie ed arenarie

pleistoceniche e da depositi ghiaioso-sabbiosi continentali, distribuiti a diverse quote su più ordini di terrazzi marini; a testimonianza dell'evoluzione tettonica recente della zona, caratterizzata da un intenso sollevamento polifasico (Ghisetti, 1981).

Il settore studiato rientra nell'horst di Campo Piale, compreso tra il graben longitudinale del Mesima ed il graben trasversale dello Stretto di Messina (Ghisetti, 1981).

Entrando in maggiore dettaglio nel merito dei depositi, quelli pliocenici sono costituiti da sabbie addensate e arenarie debolmente cementate con occasionali intercalazioni conglomeratiche di colore bruno-giallastro o chiaro. Tali depositi giacciono in discordanza sul sottostante basamento ercinico, presentano una potenza variabile da alcune decine di metri fino a circa 100 m ed una giacitura generalmente suborizzontale con pendenze comunque inferiori ai 15°. I depositi dei terrazzi marini pleistocenico-olocenici sono costituiti, invece, da ghiaie e sabbie brunorossastre in giacitura suborizzontale (con pendenza fino a 5°), ricoprono estese spianate presenti a diverse quote, e giacciono in discordanza o al di sopra dei depositi pliocenici o direttamente sul substrato metamorfico.

Dal punto di vista idrogeologico possono essere distinte:

- le formazioni cristalline caratterizzate da una rilevante permeabilità secondaria per uno spessore stimabile di 30-50 m, dovuta sia alla intensa fratturazione sia allo stato di alterazione;
- le formazioni sedimentarie, costituite da sabbie e ghiaie, caratterizzate, invece, da un'elevata permeabilità primaria ed entro cui, in corrispondenza delle estese spianate morfologiche, si localizzano falde sospese al di sopra del substrato metamorfico. Tali falde hanno uno scarso interesse idrogeologico sia per la limitata estensione delle aree di alimentazione, sia per il carattere di stagionalità dei deflussi; entro i primi 50 m di substrato, invece, risiedono piccoli acquiferi locali molto discontinui.

## 2. Caratteri geomorfologici dell'area

L'area considerata è caratterizzata dalla presenza, a partire dai 600 m di quota s.l.m., di alti morfologici con sommità subpianeggianti che risultano delimitati da versanti molto acclivi con pendenze medie di 30° fino ad un massimo di circa 40°; tali versanti, talora terrazzati, sono solcati da valloni profondamente incisi, con bacini di alimentazione di limitata estensione; partendo da Bagnara Calabria i valloni considerati nel presente lavoro sono il Vallone Prajalonga, il Vallone Mancusi, il Vallone Rustico ed il Vallone Favagrea. Tali valloni presentano profondità variabili da 10 a oltre 100 m, lunghezze da 300 a circa i 1000 m e dislivelli di circa 300 m; i dati morfometrici relativi ai valloni presi in esame, basati sui dati topografici della Carta Tecnica della Calabria 1:10000, sono sinteticamente riportati in Tabella 1.

L'analisi morfometrica dei valloni ha evidenziato che:

1) l'area dei bacini imbriferi è compresa tra 0,42 e 6,19 km<sup>2</sup>;

2) la distribuzione delle pendenze dei bacini, presenta un massimo nell'intervallo 36° - 38° ed un minimo nell'intervallo 6° - 10° mentre la pendenza media dell'asta principale varia tra 21° e 28°, ed è massima nel Vallone Favagrea.

3) i versanti dei valloni, ad eccezione del Vallone Rustico, si presentano in generale asimmetrici con pendenze medie in destra idrografica comprese tra 12° - 18°, ed in

sinistra idrografica comprese tra 4° - 19°.

4) i dislivelli dei valloni sono compresi tra 558 e 482 m, il massimo è riferito al Vallone Favagrea ed il minimo al Vallone Prajalonga.

Infine, una stretta e discontinua fascia pressoché subpianeggiante, intensamente antropizzata, resta compresa tra il mare e la base dei versanti, raggiungendo la sua massima larghezza (circa 300 m) presso la località costiera di Favazzina.

All'evoluzione tettonica recente ed al relativo sollevamento polifasico (Miyachi et al., 1994) si devono le elevate energie del rilievo dell'intero settore prospiciente l'attuale linea di costa.

Lungo il transetto Gambarie - Scilla (Miyachi et alii, 1994), sono stati individuati almeno dodici ordini di terrazzi marini, il primo dei quali si ritrova attualmente a 1350 m s.l.m., in corrispondenza dei Piani di Aspromonte.

Nel tratto costiero in esame gli ordini di terrazzi presenti sono: quello di Scilla, a quota 180 m s.l.m. (X° ordine, circa 121±7 con depositi a *Strombus bubonius*), quello dei Piani di Melia e dei Piani di Tagli-Runci-Solano a quota 600 m s.l.m. (IV° ordine, circa 950 ka con depositi sommitali a *Globorotalia truncatulinoides* e *Hyalinea balthica*) e quello dei Piani di S. Anastasio-S. Domenica a quota 750 m s.l.m. (III° ordine).

In particolare, in corrispondenza degli alti morfologici corrispondenti al IV ordine di terrazzamento marino il rilievo conserva morfologie relitte generatesi prima del sollevamento; tali morfologie, modellate da un lungo periodo di erosione sub-aerea, comprendono numerose paleovalli fluviali. Il fatto che non siano stati ancora del tutto cancellati gli antichi tratti morfologici prova che i processi morfogenetici, oltre ad essere molto recenti, hanno agito con estrema rapidità e possono essere correlati alla documentata attività neotettonica dell'intera area (Ferranti et al., 2005).

Lungo l'intero tratto costiero considerato, l'elevata pendenza e la presenza di estese coltri di alterazione costituiscono un fattore predisponente all'innescio di fenomeni gravitativi.

In corrispondenza dei versanti che raccordano le superfici terrazzate con il mare e lungo le incisioni vallive i fenomeni franosi più diffusi sono rappresentati da crolli e da frane complesse, del tipo scorrimento traslazionale-colata che interessano sia il substrato metamorfico sia le coltri di alterazione e delle quali tratta il presente lavoro.

L'area in esame presenta un'intensa antropizzazione che interessa soprattutto la stretta piana costiera dove sorgono l'abitato di Favazzina e trovano sede la statale tirrenica SS18 e la tratta ferroviaria Gioia Tauro-Reggio Calabria. Inoltre, alla quota di circa 250 m s.l.m. lungo i versanti costieri, è localizzata la sede in galleria e viadotti dell'autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria. Infine, a sud di Favazzina è presente il Terminale SNAM che costituisce il punto di arrivo del "Gasdotto Mediterraneo Italia" proveniente dalla Sicilia.

### 3. Recenti eventi di colata rapida di fango e detrito

#### 3.1 Evento del 12 Maggio 2001

In seguito alle piogge del giorno 11 Maggio 2001 ed al violento temporale abbattutosi nelle prime ore del mattino

del 12 Maggio 2001, si è attivata una colata di fango e detrito che, a partire da quota 570 m s.l.m., ha interessato il bacino del Vallone Favagrega (Figg. 2, 3).

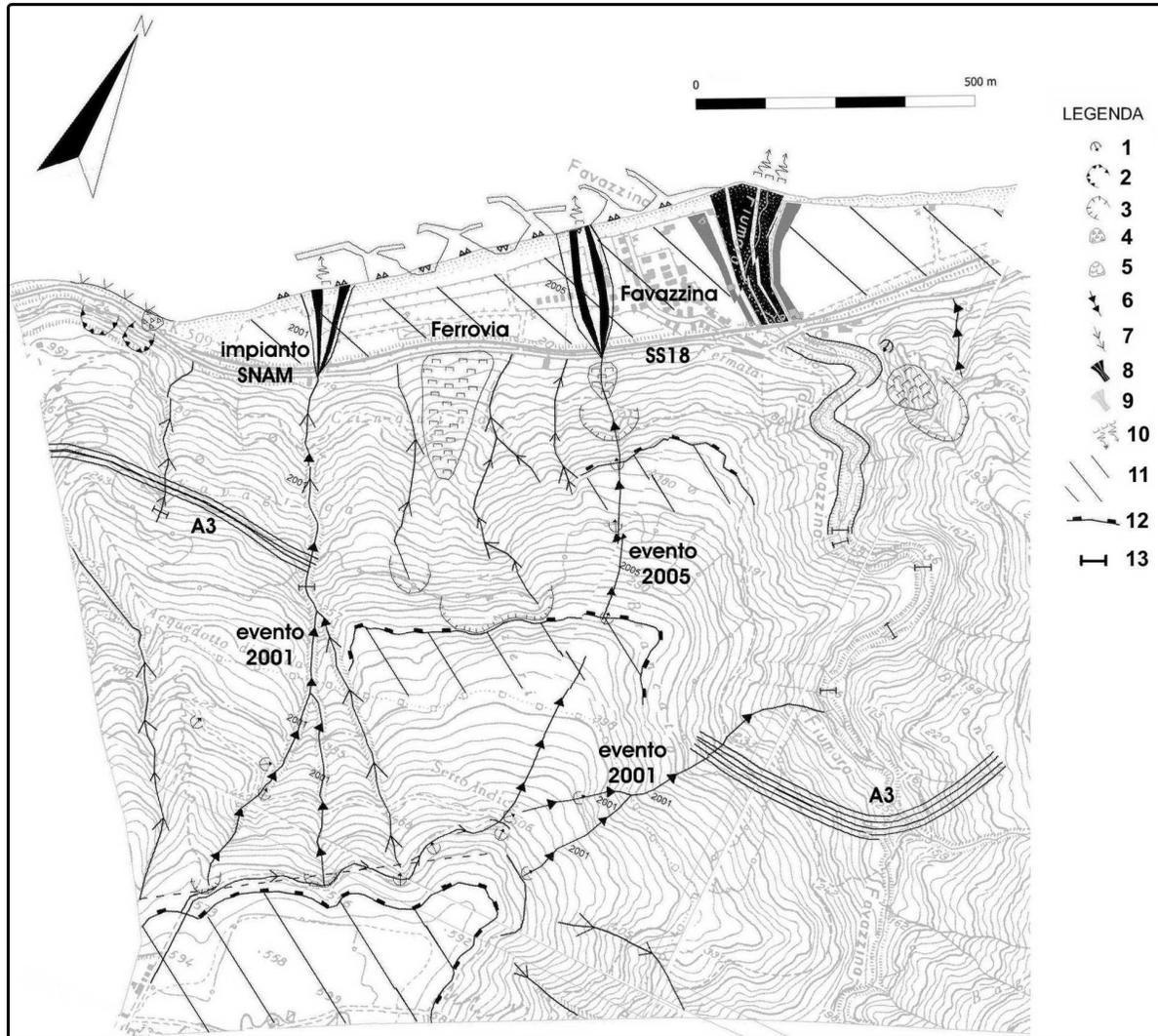


Fig. 2 – Schema geomorfologico: 1) frana non cartografabile, 2) scarpata di crollo, 3) scarpata di scorrimento rototraslazionale, 4) corpo di frana per crollo, 5) corpo di frana per scorrimento rototraslazionale, 6) colate di fango e detrito del 2001 e del 2005, 7) fossi in approfondimento, 8) conoide di deiezione attiva, 9) conoide di deiezione inattiva, 10) direzione del trasporto solido, 11) superficie di spianamento marino, 12) orlo di scarpata marina, 13) briglia, 14) lineamento tettonico.

*Geomorphological sketch: 1) no remarkable landslide, 2) fall scarp, 3) sliding scarp, 4) fall mass, 5) slide mass, 6) 2001 and 2005 mud flows, 7) gully, 8) active alluvial fan, 9) no-active alluvial fan, 10) solid charge direction, 11) marine terrace, 12) scarp of marine terrace, 13) backlope, 14) tectonic lineament.*

La colata ha prodotto ingenti danni a numerose infrastrutture quali l'impianto del "Gasdotto Mediterraneo Italia" della SNAM, la sede stradale della statale SS18 ed i binari ferroviari, causando il deragliamento del treno Espresso 895 Roma – Reggio Calabria ed alcuni feriti.

Due frane traslazionali si sono innescate alla testata del Vallone Favagrega rispettivamente a circa 570 e 550 m

s.l.m. in corrispondenza di due incisioni che si congiungono a circa 300 m s.l.m.; entrambi i distacchi si sono localizzati all'altezza di una strada sterrata che costeggia il versante (Fig.5).

I movimenti di frana a cinematiso traslazionale sono evoluti in colate rapide di fango e detrito; la colata principale, che ha avuto origine a circa 570 m s.l.m., ha

percorso il canale per una lunghezza di circa 975 m ricevendo l'apporto della colata secondaria attivatasi a circa 550 m s.l.m.. Determinante nell'evoluzione del fenomeno è stata l'azione delle acque incanalatesi nel vallone a causa

della corrivazione concentrata lungo la strada sterrata a monte delle testate, all'epoca priva di adeguati sistemi di regimentazione dei deflussi.

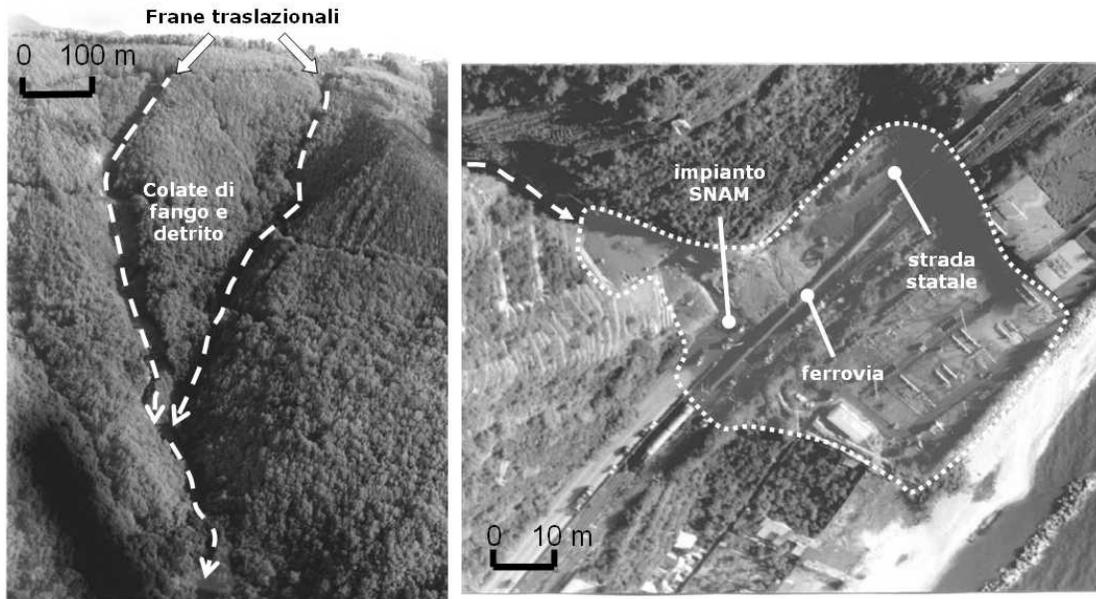


Fig. 3 – Colate di fango e detrito nel Vallone Favagrega del 12 Maggio 2001: area di distacco delle coltri di alterazione, canali di flusso ed area di accumulo.

*Mud flow in the Favagrega Channel occurred on 12<sup>th</sup> May 2001: detachment area of the weathered cover, flow channels and depositional area.*

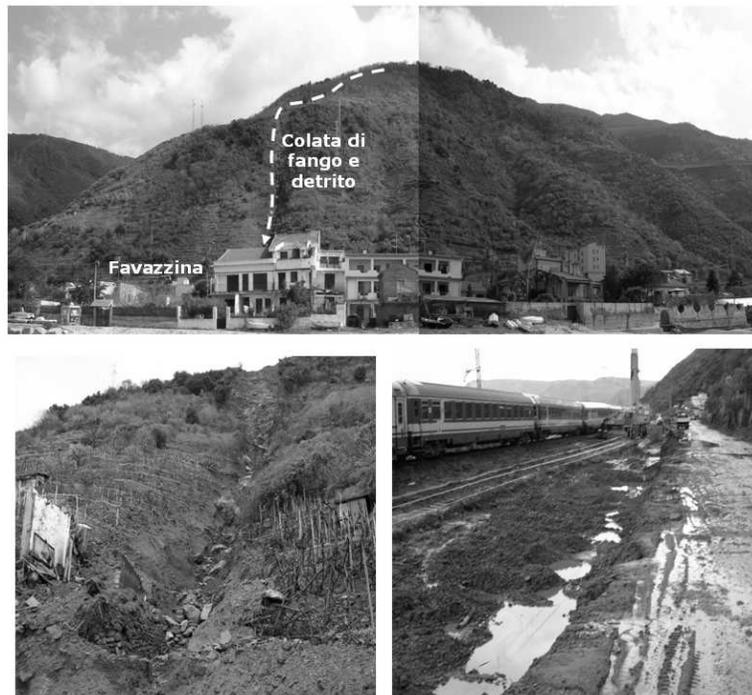


Fig. 4 – Colata di fango e detrito del 31 Marzo 2005 presso Favazzina: vista del canali di flusso (con particolare) e danni causati sulla sottostante piana costiera.

*Mud flow close to Favazzina village occurred on 31<sup>th</sup> March 2005: flow channels (detailed view) and damages induced downslope to the channel.*

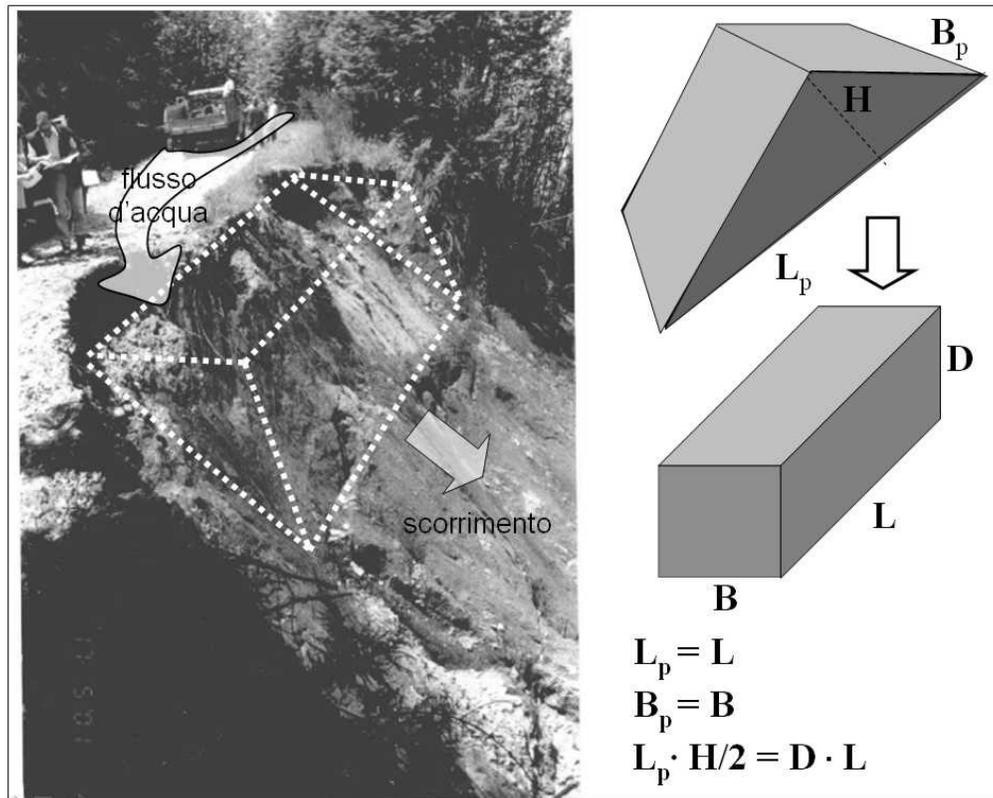


Fig. 5 – Area di distacco alla testata del Vallone Favagrega come si presentava il giorno dopo la colata del 12 Maggio 2001 (sinistra). Schematizzazione del prisma di distacco e del parallelogramma equivalente utilizzato per l’analisi di stabilità tridimensionale (destra). *Detachment area upslope to the Favagrega Channel the day after the 12<sup>th</sup> May 2001 mud flow event (left). Detachment volume and equivalent volume used for the 3D slope stability analysis (right).*

In concomitanza con gli eventi del Vallone Favagrega, una seconda colata rapida di dimensioni più modeste, si è attivata lungo un fosso a monte dell’Autostrada A3 sul versante in sinistra idrografica della Fiumara Favazzina, invadendo la corsia nord della sede autostradale all’altezza dell’imbocco della galleria Brancato. La colata si è innescata a quota circa 350 m s.l.m. ed anche in questo caso ha ricevuto significativi apporti dal deflusso concentrato lungo una strada sterrata di mezza costa.

### 3.2 Evento del 31 Marzo 2005

La sera del 31 Marzo 2005 una colata di fango e detrito, avvenuta tra le ore 19.45 e le ore 20.15 lungo un vallone a monte dell’abitato di Favazzina ha causato l’interruzione della strada statale SS18 e della linea ferroviaria. Pochi minuti dopo l’evento franoso il treno ICN Reggio Calabria-Milano C.le, partito alle 19.40 da Reggio di Calabria C.le, ha deragliato (Figg.2, 4).

Un tecnico dell’ANAS ha osservato l’accumularsi del fango e del detrito sulla sede stradale della SS18 all’altezza della stazione ferroviaria di Favazzina dichiarando che “è avvenuto ad una velocità non particolarmente elevata”.

L’evento franoso si è attivato a seguito delle forti precipitazioni avvenute nella giornata del 31 Marzo 2005.

La colata si è attivata alla quota di circa 370 m s.l.,

associata a distacchi di coltri detritiche poste al di sopra degli gneiss affioranti ed ha parzialmente utilizzato un impluvio naturale preesistente ma completamente vegetato prima dell’evento di frana. Il flusso detritico ha eroso dal fondo e dalle pareti del canale, prendendo ulteriormente in carico detrito di versante e coltri di alterazione (entrapment). Nel suo tratto terminale, ovvero in prossimità della SS18, il canale di flusso ha assunto una direzione rettilinea con sezione a V di ampiezza non superiore a 5m e profondità di circa 3m, mentre lungo il tratto intermedio (tra 250 e 200m s.l.m.) il canale ha in parte sfruttato una preesistente traccia di sentiero.

L’area di deposito si è estesa per circa 40000 m<sup>2</sup> dalla sede stradale della SS18 fino alla costa, includendo la sede ferroviaria e parte dell’abitato di Favazzina. Il deposito, costituito da una matrice limoso-sabbiosa rossastra, contenente abbondanti clasti da centimetrici a decimetrici e scarsi blocchi di dimensione metrica, ha raggiunto un’altezza di circa 60-70 cm all’interno dell’abitato di Favazzina. Nell’intera area di accumulo è stata osservata una elevata perdita di acqua dal detrito depositato, a testimonianza di una possibile fluidificazione. Inoltre, durante le giornate del 1 e del 2 Aprile 2005, si è osservata una torbida litoranea residua

Tab. 1 – Analisi morfometrica dei valloni nel tratto costiero presso l’abitato di Favazzina:  $\theta$  = inclinazione del fondo alveo,  $\Delta H$  = differenza di quota in asse al vallone, L = lunghezza planimetrica del vallone.

*Morphometric analysis of the channels close to Favazzina village:  $\theta$  = dip angle along the channel,  $\Delta H$  = difference in elevation of the channel, L = length of the channel.*

	tratto di monte			tratto intermedio			tratto di valle			quota alla testata (m s.l.m.)	Ltot (m)
	$\theta$ (°)	$\Delta H$ (m)	L(m)	$\theta$ (°)	$\Delta H$ (m)	L (m)	$\theta$ (°)	$\Delta H$ (m)	L (m)		
Favagrega	30	242	410	25	125	380	18	191	330	558	1120
Rustico	33	188	484	26	200	240	22	132	460	520	1184
Mancusi	38	190	370	24	218	420	10	112	523	520	1313
Prajalonga	31	302	404	23	165	428	13	150	395	482	1227

L’origine della colata di fango e detrito di Favazzina è stata individuata a monte della stessa, in località Serro Indice (Fig. 2), dovutamente ad un reticolo incontrollato di deflussi di acque superficiali. Subito dopo l’evento del 31 Marzo tale reticolo risultava costituito nel suo tratto iniziale dalle canalette artificiali realizzate a seguito degli eventi di colata del 2001 e nel tratto successivo da un solco naturale di deflusso, lungo circa 400 m e profondo circa 1m, prodottosi sia a causa della locale interruzione delle canalette artificiali per effetto di dissesti superficiali del riporto stradale sia per la terminazione delle stesse canalette a nord del Vallone Favagrega. Dal sentiero, ad una quota di circa 550 m s.l.m., un’incisione ha convogliato le acque di deflusso verso il sottostante ripiano posto tra 350 e 400 m s.l.m.. A partire da questo punto le acque di scorrimento superficiale sono defluite nel vallone alla testata del quale la sera del 31 Marzo 2005, si è attivata la colata di fango e detrito che a raggiunto Favazzina.

### 3. Analisi dei dati pluviometrici relativi ai recenti eventi di colata rapida di fango e detrito

La fascia di versante oggetto di studio ricade nell’area pluviometricamente omogenea dello Stretto T4 (Versace et alii, 1989), che comprende la fascia tra Bagnara Calabria e Pellarò. Da una prima analisi dei dati di pioggia di durata oraria riferiti agli ultimi 50 anni, registrate ai pluviografi delle stazioni interne all’area omogenea T4 e reperite presso il Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN), risultano piuttosto frequenti eventi di forte intensità. Il carattere parossistico di questi eventi è evidenziato dall’analisi delle precipitazioni massime nell’arco delle 12 h e 6 h; in alcuni centri sono stati registrati quantitativi di pioggia elevati, anche nell’arco di 1 h e 3 h, a indicazione del fatto che in diversi casi, durante l’episodio alluvionale, la sequenza perturbata è caratterizzata da violenti impulsi

intervallati da momenti di relativa calma.

Nell’attivazione delle colate di fango e detrito nel tratto costiero tra Bagnara Calabria e Scilla un ruolo fondamentale ha avuto la quantità di pioggia eccezionale caduta. Il 12 maggio nel bacino del vallone Favagrega, si è verificato un evento pluviometrico di durata pari a 2 ore e 40 minuti. Il pluviogramma registrato alla stazione di Scilla, a circa quattro chilometri di distanza a 73 m s.l.m., mostra un’altezza di pioggia complessivamente precipitata di 19,6 mm, con intensità massima di 36,6 mm/ora registrata in 20’ e di 12,8 mm/ora nell’ora più gravosa. Dalle evidenze sul terreno si può ipotizzare, comunque, che la quantità di pioggia caduta sulla porzione di versante in esame sia stata eccezionale e di gran lunga superiore a 20 mm, come hanno evidenziato i numerosi solchi di neoformazione ad erosione concentrata.

Anche l’evento di colata del 31 marzo 2005 si è verificato in seguito alle abbondanti piogge; l’analisi dei dati pluviometrici della stazione di Scilla anche in tale occasione, ha mostrato un’altezza di pioggia complessivamente precipitata di 13,6 mm, con intensità massima di 8,2 mm/ora nell’ora più gravosa.

### 4. Analisi delle condizioni di stabilità delle coltri eluviali e di alterazione alle testate dei valloni

Le coltri eluviali e di alterazione alle testate dei valloni a monte di Favazzina, interessati dai recenti eventi di colata rapida di fango e detrito, sono state caratterizzate in laboratorio mediante la determinazione delle caratteristiche fisiche e granulometriche, dei limiti di consistenza e dell’angolo di resistenza al taglio in condizioni residue del materiale, ricostituito in laboratorio ad un indice dei vuoti pari a 0.6; i risultati sono sinteticamente riportati nella Tabella 2.

Tab. 2 – Parametri fisici e meccanici e proprietà indici misurati in laboratorio su campioni di arenarie plioceniche provenienti dal bacino della Fiumara Favazzina.

*Physical parameters and mechanical properties obtained by laboratory tests on pliocenic sandstones sampled in the Favazzina valley.*

$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	e	$\phi_{cv}$ (°)	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	W <sub>LL</sub>	W <sub>LP</sub>	IP	A
26.6	0.6	30	12.29	68.91	8.95	9.85	32.7	27.4	5.3	0.44

Per l'analisi delle condizioni di stabilità delle coltri eluviali e di alterazione alle testate dei valloni sono state prese in considerazione le condizioni verificatesi in concomitanza con l'evento del Maggio 2001 che ha interessato il Vallone Favagrega per il quale è stata possibile una migliore ricostruzione delle geometrie e delle volumetrie dei depositi distaccatisi nonché una quantificazione delle acque di deflusso corrivate dalla strada sterrata di mezza costa.

A tal fine si è proceduto secondo lo schema seguente:

1) determinazione del volume di terreno distaccatosi dalla testata del singolo vallone ( $V_t$ );

2) determinazione del volume di solido distaccatosi dalla testata del singolo vallone ( $V_s$ );

2) determinazione del volume d'acqua contenuto nella coltre eluviale e di alterazione franata, ritenuta satura al momento del distacco ( $V_{wt}$ );

3) determinazione del volume d'acqua di corrivazione giunta alla testata del vallone in concomitanza al distacco ( $V_{ws}$ );

4) calcolo della percentuale di solido al momento del distacco ottenuta a partire dal rapporto  $V_s / (V_s + V_{wt} + V_{ws})$ .

Il volume di terreno distaccatosi dalla singola testata è risultato pari a 1137.5m<sup>3</sup> ed è stato valutato a partire dalla geometria dei prismi di distacco determinata in sito a seguito degli eventi del 2001 (Tab. 3); il volume del solido distaccatosi è stato determinato assumendo un indice dei vuoti di 0.6, in analogia a quello misurato in laboratorio su provini di sabbie quarzose plioceniche originatesi dall'erosione del substrato gneissico campionate nel bacino della F.ra Favazzina, ed risultato pari a 710.9m<sup>3</sup>. Il volume d'acqua contenuta nel terreno ritenuto saturo al momento del distacco è risultata, di conseguenza, pari a 426.6 m<sup>3</sup>.

Per la determinazione del volume di acqua giunta alla testata del singolo vallone al momento del distacco si è determinata un'area di ruscellamento efficace della strada sterrata di mezza costa prima dell'evento del 2001 pari a 1155m<sup>2</sup>, considerando la massima intensità di pioggia di 36.6 mm/20', calcolata per l'evento pluviometrico del 12 Maggio 2001, sono stati quindi quantificati i volumi d'acqua nell'area di ruscellamento efficace in 10', 20', ed 1h che sono risultati rispettivamente di 7.04, 14.09 e 42.27 m<sup>3</sup>. Pertanto, considerando le acque convogliate dalla sede stradale nell'ipotesi che la massima intensità dell'evento abbia avuto una durata di 10' e 20', le percentuali di solido al momento del distacco alla testata del singolo vallone risultano superiori al 60% mentre divengono prossime al 60% nell'ipotesi che la massima intensità dell'evento abbia avuto una durata di 1h. In riferimento a Pierson & Costa (1987) tale percentuale è sufficiente a classificare la colata di fango e detrito al momento del distacco come un "debris flow".

In aggiunta a ciò sono state valutate le condizioni di stabilità pre-evento 2001 del volume di coltre eluviale e di alterazione distaccatosi dalla singola testata del Vallone Favagrega. A tale scopo è stata utilizzata l'analisi

all'equilibrio limite 3D proposta da Hutchinson (1994) per il caso semplice dello scivolamento rettilineo di un blocco avente la soluzione generale nella forma:

$$F_2 = \frac{(\gamma - n\gamma_w) \tan \phi'_r}{\gamma \tan \alpha + n^2 \gamma_w D / 2L}$$

$$F_3 = \frac{(\gamma - n\gamma_w) \tan \phi'_r + KD / B (\gamma \sec^2 \alpha - n^2 \gamma_w) \tan \phi'_r}{\gamma \tan \alpha + n^2 \gamma_w D / 2L}$$

$$\frac{F_3}{F_2} = 1 + \frac{KD}{B} \left[ \frac{\gamma \sec^2 \alpha - n^2 \gamma_w}{\gamma - n\gamma_w} \right]$$

con  $\alpha$  = angolo del pendio; K = coefficiente di pressione orizzontale del terreno in sito;  $\gamma$  = peso dell'unità di volume medio del blocco;  $\gamma_w$  = peso per unità di volume dell'acqua;

$\phi'_r$  = angolo di resistenza al taglio;  $D/B = \frac{\text{spessore}}{\text{larghezza}}$ ; F2

= fattore di sicurezza bidimensionale; F3 = fattore di sicurezza tridimensionale.

In particolare, per n=0 si ha il caso secco in cui le equazioni generali acquistano la forma:

$$F_2 = \frac{\tan \phi'_r}{\tan \alpha}$$

$$F_3 = \frac{\tan \phi'_r}{\tan \alpha} \left[ 1 + \frac{KD}{B} \sec^2 \alpha \right]$$

$$\frac{F_3}{F_2} = 1 + \frac{KD}{B} \sec^2 \alpha$$

Mentre per n=1 si ha il caso saturo in cui le equazioni generali acquistano la forma:

$$F_2 = \frac{(\gamma - \gamma_w) \tan \phi'_r}{\gamma \tan \alpha + \gamma_w D / 2L}$$

$$F_3 = \frac{(\gamma - \gamma_w) \tan \phi'_r + KD / B (\gamma \sec^2 \alpha - \gamma_w) \tan \phi'_r}{\gamma \tan \alpha + \gamma_w D / 2L}$$

$$\frac{F_3}{F_2} = 1 + \frac{KD}{B} \left[ \frac{\gamma \sec^2 \alpha - \gamma_w}{\gamma - \gamma_w} \right]$$

Tuttavia, per riportare la geometria prismatica del volume distaccatosi al parallelogramma dell'approccio di Hutchinson, senza modificare le condizioni di resistenza disponibile offerta dal blocco, è stata ottenuta un parallelogramma equivalente avente volume totale (L x B x D) pari a quello del prisma (L<sub>p</sub> x H/2 x B<sub>p</sub>) distaccatosi dalla testata del Vallone Favagrega ed equivalenti superfici laterali e di base. Lo schema di Fig. 5 illustra il procedimento fin qui descritto.

Tab. 3 – Valori attribuiti ai parametri utilizzati per l’analisi di stabilità tridimensionale nei valloni Favagrega, Rustico e Prajalonga e fattori di sicurezza 3D e 2D ottenuti.

*Assigned values of the parameters for the 3D slope stability analysis of the Favagrega, Rustico and Prajalonga channels and 2D and 3D obtained safety factors.*

	$\alpha$ (°)	$\phi_r$ (°)	K	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	secco		saturo		$Vw_t$ (m <sup>3</sup> )	$Vt$ (m <sup>3</sup> )	$Vs$ (m <sup>3</sup> )	1h	20'	10'	1h	20'	10'
					FS <sub>3</sub>	FS <sub>2</sub>	FS <sub>3</sub>	FS <sub>2</sub>				Vw <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )	Vw <sub>e</sub> (m <sup>3</sup> )	Vw <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )	% solido	% solido	% solido
Favagrega	30	30	0.5	25.6	1.09	1.00	0.70	0.60	426.6	1137.5	710.9	42.3	14.1	7.0	60.3	61.7	62.1
Rustico	28	30	0.5	25.6	1.20	1.08	0.76	0.65	225.0	600.0	375.0	27.5	9.2	4.6	59.8	61.6	62.0
Prajalonga	30	30	0.5	25.6	1.08	1.00	0.67	0.60	787.5	2100.0	1312.5	30.7	10.3	5.1	61.6	62.2	62.3

I valori del fattore FS<sub>3</sub> e del rapporto FS<sub>3</sub>/FS<sub>2</sub>, nell’ipotesi di terreno secco e saturo, indicano una precaria stabilità delle coltri eluviali e di alterazione alle testate del Vallone Favagrega prima dell’evento di frana del 12 Maggio 2001 che tendono alla completa instabilità nelle ipotesi di saturazione delle coltri. I valori attribuiti ai parametri delle equazioni di Hutchinson ed i risultati ottenuti nelle differenti ipotesi sono sinteticamente riportati in Tabella 3; tali risultati confortano l’ipotesi che condizioni di quasi totale saturazione comportino il distacco della massa.

## 5. Discussione

L’analisi delle condizioni geologiche e geomorfologiche relative ai Valloni Prajalonga, Mancusi, Rustico e Favagrega, compresi nel tratto costiero tra gli abitati di Bagnara Calabria e Scilla, pone in evidenza che per i soli Valloni Prajalonga e Rustico sembrano sussistere ad oggi condizioni predisponenti ad eventi di colata di fango e detrito con attivazione alle testate dei valloni stessi dovutamente alle seguenti condizioni di analogia con i valloni Favagrega e di località Serro Indice che hanno già dato luogo rispettivamente agli eventi del 12 Maggio 2001 e del 31 Marzo 2005:

- 1) presenza di una estesa coltre d’alterazione alla testata del vallone;
- 2) forti pendenze del profilo longitudinale del versante del vallone;
- 3) presenza di una strada di costa che può corrivare le acque piovane durante eventi di eccezionale intensità e incanalarle nel vallone.

Pertanto, per entrambi i valloni è stata effettuata una determinazione delle eventuali percentuali di solido e liquido al momento del distacco di coltri eluviali e di alterazione, stimando le potenziali volumetrie coinvolte, determinando le rispettive superfici di corrivazione efficace lungo le strade sterrate di mezza costa ed assumendo come ipotesi eventi pluviometrici di intensità pari a quella verificatasi nel Maggio 2001. In entrambi i casi le determinazioni portano a ritenere che, analogamente a quanto ottenuto in back analysis per il Vallone Favagrega, le percentuali di solido all’eventuale distacco siano superiori o circa uguali al 60%, come sinteticamente riportato in Tabella 3, a conferma che anche in questi casi, secondo Pierson & Costa (1987), le colate potenzialmente attivabili

al momento del distacco sono da considerarsi dei debris flow.

In aggiunta, la valutazione delle condizioni di stabilità delle coltri potenzialmente instabili alle testate dei due valloni Prajalonga e Rustico, effettuata secondo l’approccio tridimensionale di Hutchinson (1994), indica condizioni di precaria stabilità che tendono a divenire del tutto instabili nelle ipotesi di completa saturazione delle coltri. I risultati delle analisi condotte su entrambi i valloni ed i parametri attribuiti alle equazioni di Hutchinson sono riassunte in Tabella 3.

Tali valutazioni portano a ritenere che la mancata attivazione di eventi di colata di fango e detrito nei Valloni Rustico e Prajalonga nel Maggio 2001 o nel Marzo 2005, nonostante la loro spiccata suscettività a tali eventi, sia da attribuirsi alla ridotta concentrazione della corrivazione lungo le strade sterrate di mezza costa che, invece, nel presente lavoro è stata considerata sotto le ipotesi più conservative. In particolare, una ragione per una ridotta corrivazione lungo le strade sterrate di mezza costa nei valloni in questione potrebbe essere attribuita all’assenza di tratti asfaltati a monte delle stesse a differenza delle strade sterrate a monte del Vallone Favagrega.

## 6. Conclusioni

Nel presente lavoro sono stati analizzati nel territorio costiero compreso tra gli abitati di Bagnara Calabria e Scilla (RC) i fattori geologico-tecnici ed antropici responsabili di una propensione a fenomeni franosi di tipo colata di fango e detrito analoghi a quelli recentemente verificatisi il 12 Maggio 2001 ed il 31 Marzo 2005, in concomitanza con eventi pluviometrici eccezionali. Si è inoltre effettuata una classificazione di tali eventi e ne sono state esaminate le condizioni di innesco. Risultano particolarmente esposte agli eventi di frana le importanti reti infrastrutturali strategiche ivi presenti, come l’autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria, la tratta ferroviaria Gioia Tauro-Reggio Calabria, la statale tirrenica SS18 ed il “Gasdotto Mediterraneo Italia” della SNAM.

Particolare attenzione è stata rivolta allo studio del fenomeno di debris flow, avvenuto il 12 Maggio del 2001 nel Vallone Favagrega, che presenta strette analogie con il più recente evento del 31 Marzo 2005; l’evento franoso si è innescato a partire da uno scorrimento traslativo, con movimento controllato essenzialmente dal contatto tra

substrato e coltre detritica ed è quindi evoluto in colata di fango e detrito.

Alla testata del Vallone Favagrega mediante analisi tridimensionali della stabilità del pendio condotte con riferimento all'evento del 2001 sono state riscontrate condizioni di stabilità precaria al raggiungimento della quasi totale saturazione. Prendendo in considerazione la classificazione proposta da Pierson & Costa (1987), il fenomeno di colata di fango e detrito del Maggio 2001 è stato classificato al momento dell'innescò come un debris flow con una percentuale in volume di solido maggiore o uguale al 60%; si è dimostrato, inoltre, il ruolo fondamentale svolto dalla corrivazione delle acque piovane lungo le strade sterrate di mezza costa durante l'evento pluviometrico di eccezionale intensità.

In definitiva, si ritiene che, nel tratto costiero considerato, tali fenomeni risultino predisposti:

- dalla presenza di estese coltri di alterazione del substrato cristallino-metamorfoico;
- dall'acclività dei versanti sui quali insistono i valloni profondamente incisi.
- da una inadeguata canalizzazione delle acque di ruscellamento superficiale alle testate del Vallone Favagrega e del vallone a monte di Favazzina, che, in aggiunta all'acqua di saturazione presente all'interno delle coltri eluviali e di alterazione, si sono corriviate riversandosi liberamente nei valloni stessi, rispettivamente durante l'evento pluviometrico del 12 Maggio 2001 e del 31 Marzo 2005.

Nel presente lavoro è stata analizzata anche la possibilità di innescò dei fenomeni di colata di fango e detrito in altri

valloni presenti nel tratto costiero tra Bagnara Calabria e Scilla.

A tale proposito, sono stati considerati i valloni Prajalonga, Mancusi e Rustico; di questi, in particolare, i valloni Prajalonga e Rustico presentano condizioni geomorfologiche e geologiche analoghe a quelle osservate in corrispondenza del Vallone Favagrega; inoltre, il materiale solido già presente all'interno dei valloni ed alle loro testate potrebbe essere rimobilizzato in occasione di eventi pluviometrici critici. Tuttavia, in tali valloni, mancano ad oggi opere antropiche tali da aggravare le condizioni di stabilità delle coltri di alterazione presenti alle testate che favoriscono la corrivazione verso i valloni delle acque piovane.

In conclusione, per mitigare il rischio connesso alle colate di fango e detrito nel tratto costiero esaminato, si ritiene necessaria la messa in sicurezza delle testate dei valloni e la riduzione quantità di materiale mobilizzabile lungo le aste degli impluvi, soprattutto in riferimento alle opere antropiche che li intersecano o ne occupano i tratti terminali. Sarebbe auspicabile, inoltre, un miglioramento dei canali di scolo delle acque per evitare il loro sbocco concentrato alle testate dei valloni.

Infine, data la complessità dei fenomeni in questione, si ritiene che in linea di principio adeguati sistemi di monitoraggio potrebbero costituire un valido supporto alla caratterizzazione dei fenomeni in questione ed all'eventuale individuazione di soglie di allerta ma che in presenza di opere antropiche, che in maniera non controllata concentrano acque superficiali in settori differenti, il significato previsionale di tali soglie possa perdere di validità.

## 7. Bibliografia

- Ferranti, L., Monaco, C., Antonioli, F., Maschio, L., 2005. Holocene footwall uplift rate and geometry of the Scilla fault (southern Calabria) based on raised paleoshorelines. Atti 24° convegno GNGTS, 67-69.
- Ghisetti, F., 1981. Evoluzione strutturale del bacino Plio-Pleistocenico di Reggio Calabria nel quadro geodinamico dell'arco calabro. *Boll. Soc. Geol. It.*, 100 (1981), 433-466.
- Hutchinson, J.N., 1994. Some aspects of the morphological and geotechnical parameters of landslides with examples drawn from Italy and elsewhere. *Geologica Romana*, 30, 1-14.
- Miyauchi, T., Dai Pra, G., Sylos Labini, S., 1994. Geochronology of Pleistocene marine terraces and regional tectonics in the tyrrhenian coast of South Calabria, Italy. *Il Quaternario*, 7(1), 17-34.
- Pierson, T.C., Costa, J.E., 1987. A rheologic classification of subaerial sediment-water flows. In Costa J.E. and Wieczorek G.F. eds., Debris flows/avalanches: Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, VII, 1-12.
- Versace, P., Ferrari, E., Gabriele, S., Rossi, F., 1989. Le aree pluviometricamente omogenee della Calabria sono state individuate in precedenti indagini idrologiche. Valutazione delle piene in Calabria, bozza finale, C.N.R.-I.R.P.I. Rende – *Geodata* 30, Cosenza, dicembre 1989.