

- Lollino P., Elia G., Cotecchia F., Mitaritonna G. (2010). Analysis of landslide reactivation mechanisms in Daunia clay slopes by means of limit equilibrium and FEM methods. Proc. GeoFlorida 2010, Advances in Analysis, Modelling & Design, West Palm Beach, Florida. pp. 3155–3164.
- Lollino P., Santaloia F., Amorosi A., Cotecchia F. (2011). Delayed failure of quarry slopes in stiff clays: the case of the Lucera landslide. *Géotechnique*, 61 (10): 861-874.
- Matsui T., San K.C. (1992). Finite element slope stability analysis by shear strength reduction technique. *Soils & Foundations*, 32(1): 59-70.
- Morgenstern N.R. (1995). The role of analysis in the evaluation of slope stability. Landslides, Bell (ed.), Balkema, Rotterdam, ISBN 905410032X.
- Morgenstern N.R. & Price V.E. (1965). The analysis of the stability of general slip surface. *Géotechnique*, 15, 239-247.
- Pedone G., Cotecchia F., Vitone C. (2012). Caratterizzazione idraulica di Flysch argillosi sede di escursioni piezometriche stagionali innescenti movimenti di frana. Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica, IARG, Padova, 2-4- Luglio.
- PLAXIS^{2D} (2008). Reference manual. Version 9.0.
- Potts, D.M., Dounias G.T. & Vaughan P.R. (1990). Finite element analysis of progressive failure of Carsington embankment. *Géotechnique*, 40, 70-101.
- Potts, D. M., Kovacevic, N. & Vaughan, P. R. (1997). Delayed collapse of cut slopes in stiff clay. *Géotechnique*, 47 (5): 953-982.
- Santaloia, F., Cotecchia, F., Polemio, M. (2001). Mechanics of a tectonized soil slope: influence of boundary conditions and rainfalls. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 34, 165-185.
- Scrocca, D., Carminati, E. & Dogliosi, C. 2005. Deep structure of the southern Apennines, Italy: Thin-skinned or thick-skinned? *Tectonics* 24, 1–20.
- Troncone A. (2005). Numerical analysis of a landslide in soils with strain-softening behaviour. *Géotechnique*, 55 (8): 585-596.
- Vitone C. & Cotecchia F. (2011). The influence of intense fissuring on the mechanical behaviour of clays. *Géotechnique* 61 (12): 1003 – 1018.
- Zienkiewicz, O.C., Taylor R.L. & Zhu J.Z. (2005). *The Finite Element Method: its basis and fundamentals*. Elsevier, 6th Edition,

II.4.7 Applicazione di metodi avanzati all'area di Montaguto (AV)

[a cura di L. Cascini, S. Di Nocera, M. Calvello, G. M. Grimaldi, F. Matano]

Inquadramento fisiografico e geologico dei luoghi

Il sistema franoso di Montaguto (Figura II.4.130a) si sviluppa lungo il settore del versante in sinistra idrografica del Torrente Cervaro, ubicato circa 2km ad ovest dell'omonimo centro abitato. Questo settore è compreso tra il crinale de "la Montagna", avente quota massima di 956m s.l.m., ed il fondovalle, dove il letto del torrente scorre a quota 401m s.l.m. La morfologia e l'idrografia sono alquanto articolate con un forte controllo strutturale. Il settore alto del versante presenta una generale esposizione verso W-SW, con reticolo idrografico e crinali secondari orientati all'incirca in direzione SW-NE, mentre la parte medio-bassa del versante è esposta verso Sud, con reticolo idrografico e crinali secondari orientati all'incirca in direzione NNW-SSE. La cartografia topografica dell'IGM evidenzia che, nel corso dei decenni, il reticolo idrografico della parte alta del versante afferisce alternativamente al Torrente dei Tre Confini, che confluisce nel Torrente Cervaro a circa 1 km a monte dell'area in esame, oppure al Fosso Nocelle, che si sviluppa in sinistra orografica del sistema franoso e, in parte, fino ad interessare il cumulo di frana.

Dal punto di vista geologico-strutturale l'area ricade nella parte settentrionale della struttura tettonica, definita nel 1964 "Sinclinale pliocenica di Panni" da Crostella & Vezzani (1964) e dal Servizio Geologico d'Italia (1964), (Figura II.4.131). La struttura tettonica, che si sviluppa lungo il T. Lavella a sud del T. Cervaro e si chiude verso nord all'altezza del rilievo de la Montagna, è interpretata in Crostella & Vezzani (1964) come un'ampia piega sinclinalica, avente in asse, orientato NW-SE, depositi argilloso-sabbiosi di età pliocenica della Formazione di Panni (Servizio Geologico d'Italia, 1964). Lungo i fianchi della piega vengono rilevate successioni calcareo-clastiche e marnoso-argillose di età miocenica del Flysch di Faeto (Crostella & Vezzani, 1964). Sul fianco occidentale della struttura sinclinalica, a nord del torrente Cervaro, lungo la parte bassa del Vallone Tre Confini, sono riportate successioni prevalentemente argilloso-marnose di età miocenica della Formazione di Toppo Capuana (Crostella & Vezzani, 1964).

L'area è stata, inoltre, oggetto di studi stratigrafico-strutturali, da parte di Pescatore et al. (1996) e Basso et al. (2002), che hanno riconosciuto complessi sistemi strutturali compressivi, costituiti da sovrascorrimenti est-vergenti e pieghe-faglie inverse retrovergenti del Pliocene medio, e strutture tettoniche tensili quaternarie, ad orientamento appenninico ed antiappenninico. Queste strutture più recenti hanno completamente disarticolato l'originario assetto strutturale della sinclinale, condizionando fortemente sia la circolazione idrica superficiale e profonda e sia l'evoluzione morfodinamica del settore di Montaguto.

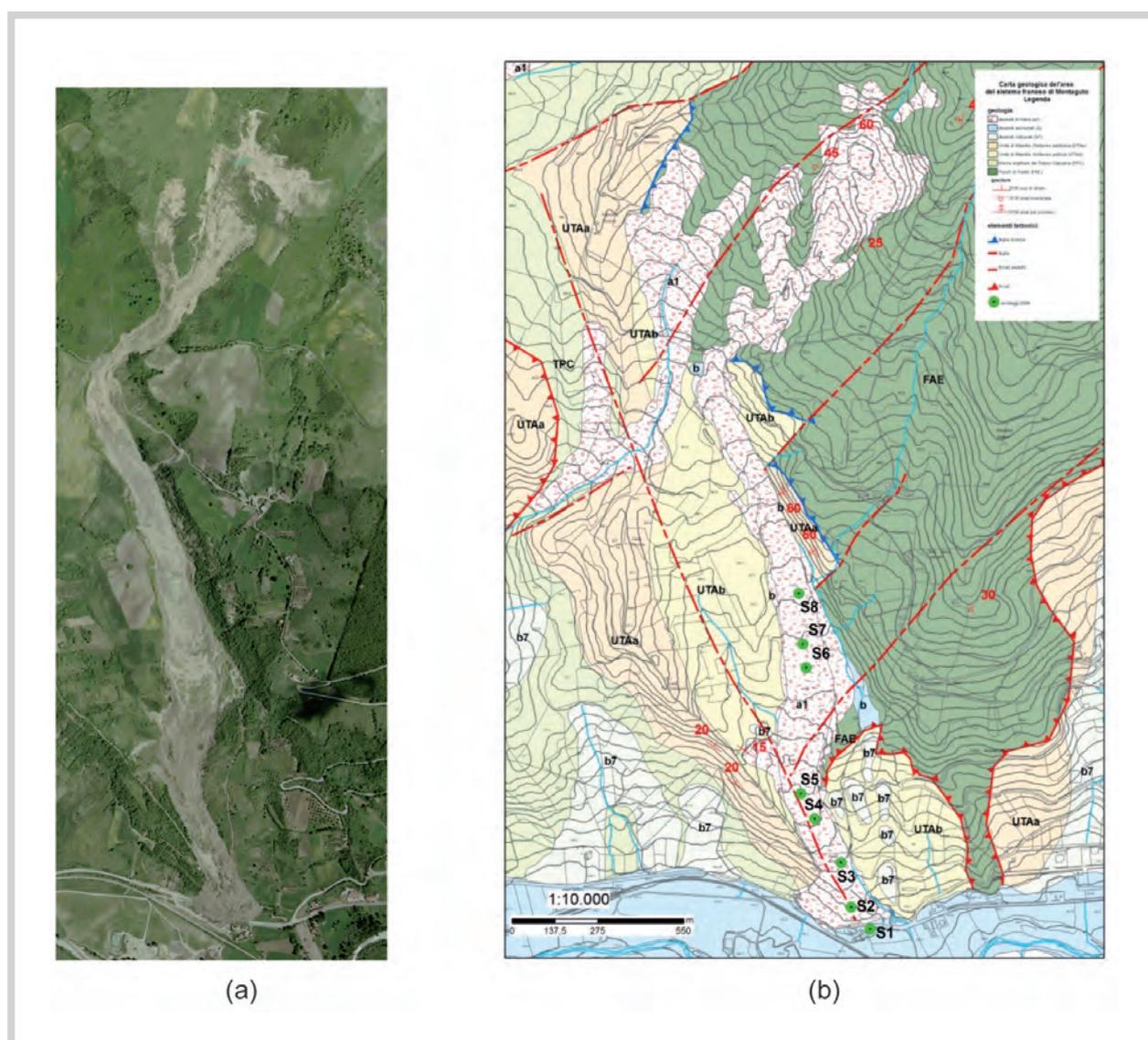


Figura II.4.130. Il sistema franoso di Montaguto: a) ortofoto del 2006 (fonte: Avioriprese); b) geologia dell'area, legenda: deposito di frana (a1); depositi alluvionali (b); depositi colluviali (b7); Unità di Altavilla: litofacies arenaceo-sabbiosa (UTAA) e litofacies pelitico-siltosa (UTAB); Marne argillose del Toppo Capuana (TPC); Flysch di Faeto (FAE).

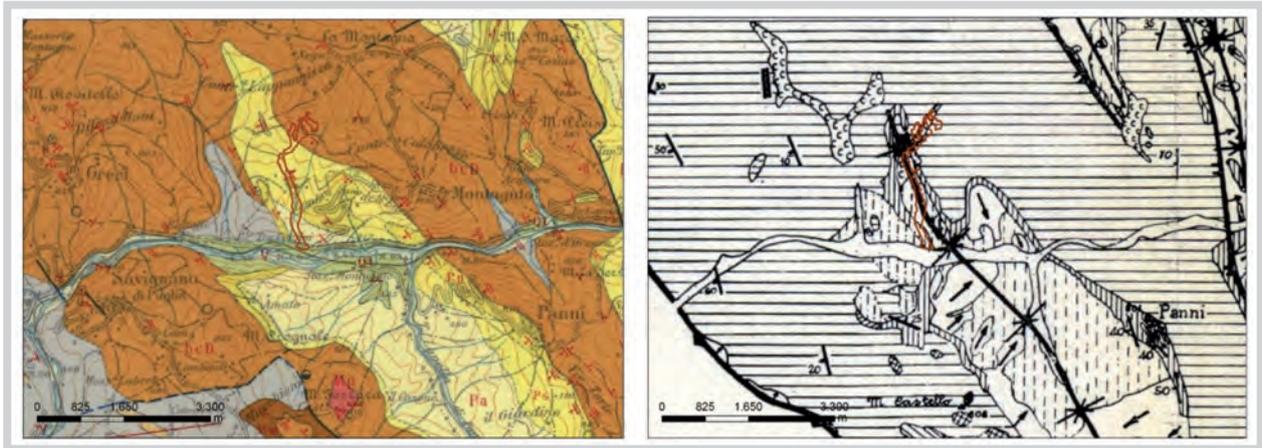


Figura II.4.131

Confronto tra lo stralcio del Foglio geologico n° 174 "Ariano Irpino" in scala 1:100.000 (Servizio Geologico d'Italia, 1964) e la carta geologica dell'Appennino Foggiano in scala 1:200.000 (Crostellà & Vezzani, 1964).

Geologia dell'area della frana di Montaguto

Le unità stratigrafiche affioranti nel tratto di versante interessato dal sistema franoso sono principalmente tre: il Flysch di Faeto, le Marne argillose del Toppo Capuana e l'Unità di Altavilla, alle quali si aggiungono i depositi quaternari alluvionali del T. Cervaro nel fondovalle (Figura II.4.130b). La formazione del Flysch di Faeto è costituita da due principali litofacies. La litofacies calcareo-marnosa è costituita da alternanze di calcareniti torbiditiche, calcilutiti e marne biancastre con intercalazioni di argille marnose verdine e calciruditi bioclastiche. La litofacies argilloso-marnoso-calcareo è costituita da alternanze di marne, marne argillose e argille verdine, e subordinati calcari marnosi, calcilutiti e calcareniti. Lo spessore complessivo affiorante è di circa 200-300 m. Le successioni sono riferibili al Miocene. La formazione delle Marne Argillose del Toppo Capuana (Crostellà e Vezzani, 1964) è costituita da argille marnose e marne argillose, talora siltose, con rari e sottili livelli di calcilutiti; la deposizione è avvenuta in ambiente bacinale. L'unità presenta un limite inferiore graduale e parzialmente eteropico latero-verticale con l'unità FAE. Lo spessore affiorante è di circa 100-150m; l'età è riferibile al Miocene superiore. L'Unità di Altavilla comprende successioni arenaceo-pelitiche del Messiniano che poggiano, mediante superfici di discordanza angolare (*unconformity*) sulle Unità di Faeto e di Toppo Capuana. Nell'area sono state preliminarmente distinte due litofacies: una litofacies arenaceo-sabbiosa in posizione basale ed una litofacies pelitica in posizione superiore. I depositi alluvionali del T. Cervaro sono caratterizzati da ghiaie e ghiaie sabbiose localmente addensate o pedogenizzate di età Pleistocene superiore-Olocene, da riferire ad alluvioni incise o terrazzate presenti sia in destra che in sinistra del T. Cervaro. Sulla base dei rilievi di superficie lo spessore di tali depositi è stato valutato non superiore a 15 m. Sono, inoltre, largamente diffusi lungo il fondovalle e le principali aste torrentizie i depositi alluvionali recenti e attuali di età compresa tra l'Olocene e l'Attuale, costituiti da ghiaie e ghiaie sabbiose con lenti di sabbie e di limi, che occupano aree del letto fluviale e settori di golena soggetti ad evoluzione per gli ordinari processi fluviali. Nell'ambito di tali depositi sono stati inseriti anche depositi di conoide torrentizia attiva.

Evoluzione storica del sistema franoso

L'evoluzione nel tempo del sistema franoso è stata studiata facendo riferimento alla cartografia topografica recente e storica dell'intera area (fonti: www.sportellocartografico.regione.campania.it, www.atlanteitaliano.it, www.igmi.org) oltre che alle ortofoto reperite. In particolare, la cartografia storica utilizzata è quella degli anni 1876, 1890, 1955, 1980, 1986, 1998, 2003, alla quale si è aggiunta la cartografia di dettaglio relativa agli anni 2006 e 2009. Le ortofoto si riferiscono alle levate del 1994, 1998, 2006. Le risultanze di tutte le elaborazioni svolte sono qui di seguito sintetizzate.

Le prime notizie storiche relative a fenomeni di dissesto lungo la strada statale all'altezza di Montaguto risalgono al 1763 (fonte: Il Mattino, ediz. Avellino del 20/7/2009; cfr. Vincenzo Grasso - Montaguto e la lezione dei Borbone), quando si ha notizia di sopralluoghi ed interventi effettuati dai tecnici dei Borboni per la presenza di una "lama" che rischiava di compromettere la carreggiata della strada regia, impegnando anche il corso del Torrente Cervaro. Per quanto riguarda l'idrografia, la Carta idrografica IGM, edizione 1890 in scala 1:100.000, evidenzia che, all'epoca, il reticolo idrografico dell'attuale sistema franoso di Montaguto (Fosso Montagna) si sviluppava fino alla quota di 956m s.m.m. del rilievo "la Montagna" (Figura II.4.132a) e catturava lungo il percorso verso valle anche il Fosso Nocelle; pertanto, era presumibilmente sede di un intenso trasporto solido per le cospicue portate idriche che in esso confluivano. Il collegamento tra il Fosso Nocelle ed il Fosso Montagna non appare, viceversa, così chiaro sulla tavoletta in scala 1:25.000 della Carta topografica IGM, edizione 1955, che mette in un luce un più articolato smaltimento delle acque provenienti dal Fosso Montagna con possibile recapito verso ovest e, in particolare, nel bacino del T. dei Tre Confini (Figura II.4.132b). Con riferimento all'analisi morfologica, la Carta topografica IGM del 1955 consente di evidenziare: lo sviluppo retrogressivo, in loc. Panizza, di un fenomeno franoso esterno al sistema franoso di Montaguto, probabilmente attivato dall'incisione alla base della confluenza tra il Fosso Montagna ed il T. Tre Confini; ampie concavità di versante nella parte alta del Fosso Montagna, da mettere in relazione a fenomeni di scorrimento; intensi processi erosionali, sia lungo tutta l'asta torrentizia e sia in alcuni settori dei versanti, al di sotto di quota 650 m s.l.m.m.; due conoidi in corrispondenza degli sbocchi, rispettivamente, del Fosso Nocelle e del fosso nel fondovalle del T. Cervaro; cospicui depositi torrentizi ghiaioso-sabbiosi lungo alcuni tratti del torrente Nocelle. Il confronto tra quanto riportato in precedenza e la "Carta geologica dell'Appennino Foggiano" in scala 1:200.000 di Crostella & Vezzani (1964) evidenzia che nell'intervallo di tempo trascorso fino al 1964, si è sviluppato un fenomeno franoso con continuità da quota 860 m s.l.m.m. a quota di circa 500 m s.l.m.m. lungo il Fosso Montagna fino ad oltre la confluenza con il Fosso Nocelle, il cui cumulo ha ricoperto le forme ed i depositi pre-esistenti. Da testimonianze raccolte in loco il periodo di sviluppo del fenomeno franoso dovrebbe corrispondere al biennio 1957-58 (Figura II.4.133a). Dopo una fase iniziale parossistica, il movimento franoso ha continuato a svilupparsi lentamente almeno fino al 1980, quando è iniziata una fase di stasi o di limitata attività durante la quale, come documentato dalla cartografia IGM del 1980, si registra il ripristino della confluenza tra il Fosso Montagna ed il Fosso Nocelle, pur conservandosi il collegamento con il Torrente dei Tre Confini. Nel corso del decennio successivo si protrae la fase di quiescenza/scarsa attività del fenomeno franoso, come documentato dalla morfologia che si osserva agli inizi degli anni '90 (Figura II.4.133b) quando l'evoluzione della frana esterna al sistema franoso interrompe presumibilmente il collegamento idraulico tra il Fosso Montagna ed il Torrente dei Tre Confini, facendo confluire un maggior apporto idrico all'interno del Fosso Nocelle. Successivamente, l'ortofoto IT2000 e la Carta Tecnica Regionale della Campania, riferibili al 1998, documentano come la frana esterna al sistema franoso continua il suo sviluppo verso la valle del T. dei Tre Confini e, nel settore di monte del Fosso Montagna, continuano ad ampliarsi lentamente i fenomeni di scorrimento e si unifica il canale della colata, che evolve fino alla quota 650 m s.l.m.m. In tale settore si stabilizza la connessione dei due tratti del reticolo idrografico (Fosso Montagna e Fosso Nocelle) e si accentuano i processi di erosione. Infine, il cumulo quiescente risulta debolmente inciso dal reticolo idrografico del Fosso Nocelle, mentre nel settore a valle si accentuano i fenomeni di erosione calanchiva nei depositi pelitici dell'UTAb. Questa condizione morfologica si conserva quasi inalterata, almeno fino all'ottobre del 2002, come è stato possibile osservare dalle immagini satellitari disponibili in rete sul sito Google Earth™.

I fenomeni noti come l'evento franoso del 2006 rientrano nella dinamica di evoluzione dei versanti in precedenza esposta e si sono, in realtà, sviluppati nel corso di alcuni anni, per quanto riguarda i movimenti di primo distacco nella zona di alimentazione principale, e nel corso di alcuni mesi, per quanto riguarda l'evoluzione delle masse dislocate da monte fino alla zona del cumulo di frana attuale che interessa la Strada Statale 90 delle Puglie. L'analisi dell'ortofoto ORCA documenta che nel corso del 2003-2004 il fenomeno franoso si è riattivato nel suo complesso e con continuità da quota 830m s.l.m.m. lungo il Fosso Montagna (Figura II.4.134a) fino la confluenza con il Fosso Nocelle, incanalandosi nel tratto terminale di quest'ultimo fino alla quota di circa 460m s.l.m.m. Il cumulo della frana di colata attiva ha ricoperto tutte le forme ed i depositi di frana pre-esistenti. Il fenomeno si è continuato a sviluppare lentamente verso valle fino al 31 gennaio 2006, allorquando il fronte della frana distava circa 100 m dalla strada statale e 200 m dalla linea ferroviaria (Figura II.4.134b). Nei mesi successivi, il movimento franoso ha continuato ad avanzare verso il fondovalle

raggiungendo nel mese di maggio la sede della strada statale (Figura II.4.134c), con conseguente interruzione della viabilità. Una valutazione dei volumi che si sono complessivamente mobilitati nel corso degli ultimi anni si è ottenuta comparando due modelli digitali di terreno (con maglia 10x10m), derivanti rispettivamente dalla Carta Tecnica Regionale della Campania, in scala 1:5.000 (volo del 1998), e dalla cartografia in scala 1:1.000 del 2006, successiva all'interruzione della Strada Statale 90 delle Puglie. I risultati conseguiti mettono in luce una dislocazione complessiva di terreno, da monte verso valle, di circa 1 milione di m³. Anche l'analisi del deflusso delle acque superficiali è stata svolta con l'ausilio delle carte topografiche del 1998 e del 2006. Preliminarmente, si sono estratti dalla cartografia gli elementi riferibili ai corpi idrici superficiali; così operando si sono evidenziate le rilevanti modifiche indotte dall'evento franoso del 2006 sul regime delle acque superficiali nella zona del cumulo di frana, che ha a sua volta impedito il naturale deflusso delle acque superficiali a diversi sottobacini del fosso Nocella, sia in destra e sia in sinistra orografica. Successivamente, dai modelli digitali di terreno è stato possibile ricavare, utilizzando appositi algoritmi di valutazione, i percorsi di drenaggio ed i punti di ristagno principali nei due anni di riferimento e valutare le variazioni delle direzioni di deflusso superficiale precedenti e successive al complesso evento franoso del 2006. Il confronto (Figura II.4.135) indica che i cambiamenti più significativi hanno interessato sia la zona di alimentazione del fenomeno sia quella di accumulo, ovvero le aree dove le variazioni della superficie topografica sono più rilevanti.

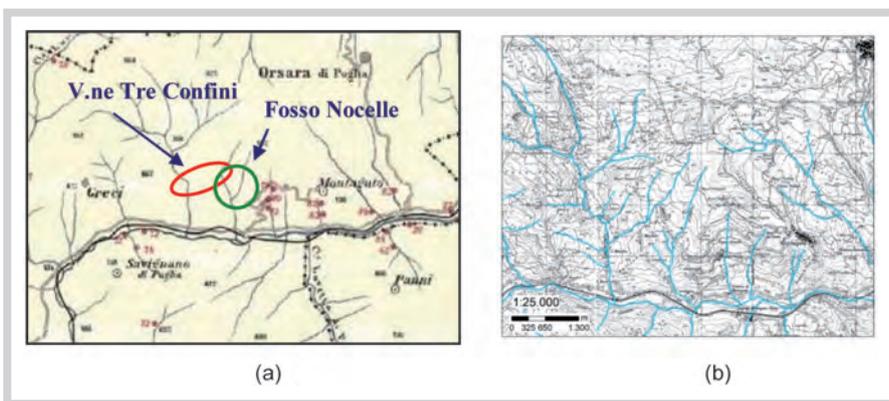


Figura II.4.132
 (a) Stralcio della Carta idrografica IGM in scala 1:100.000 (F° 174 Ariano di Puglia), edizione 1890 (la linea rossa indica mancanza di collegamento, la linea verde una connessione idrografica); (b) stralcio delle Tavole in scala 1:25.000 della Carta topografica IGM (F°174 Ariano Irpino), edizione 1955, con la segnalazione della rete idrografica evidenziata.

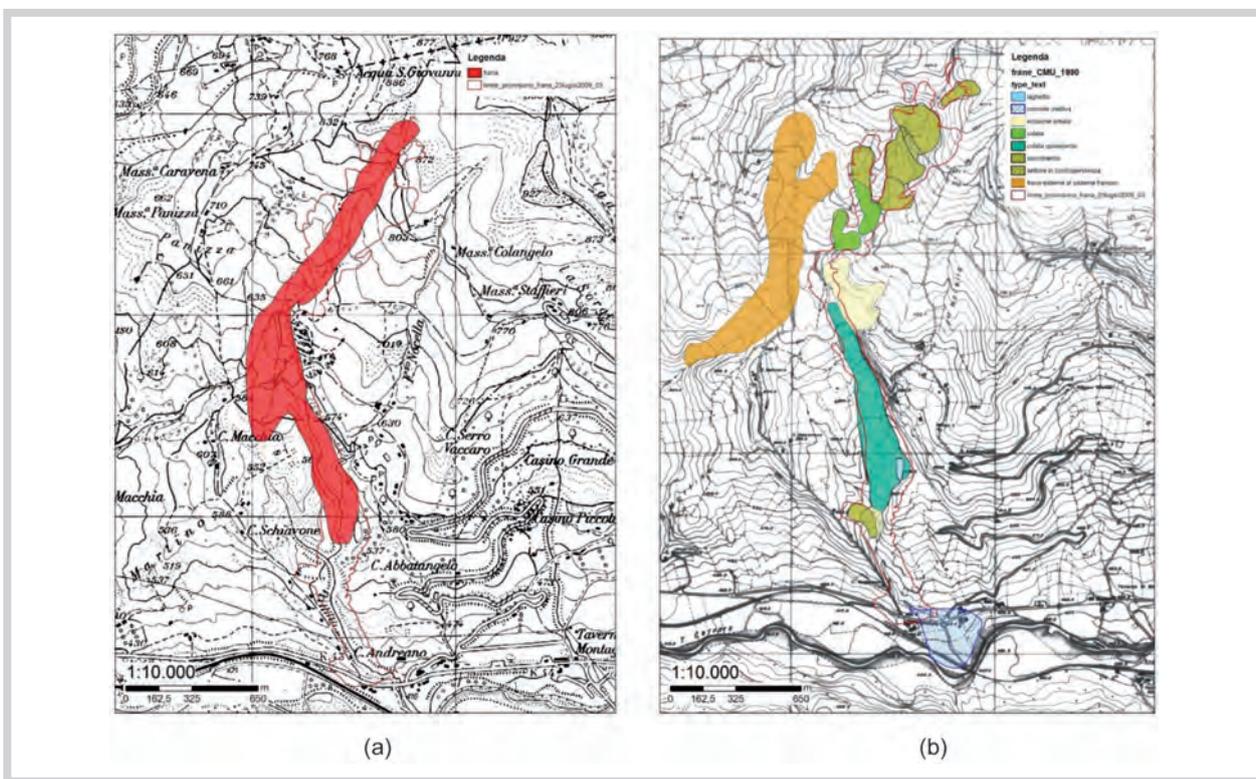


Figura II.4.133
 (a) Fenomeno franoso del 1957-58 riportato sulla base topografica IGM del 1955 in scala 1:25.000; (b) carta morfologica dei presunti fenomeni erosivi e di dissesto in atto intorno al 1990.

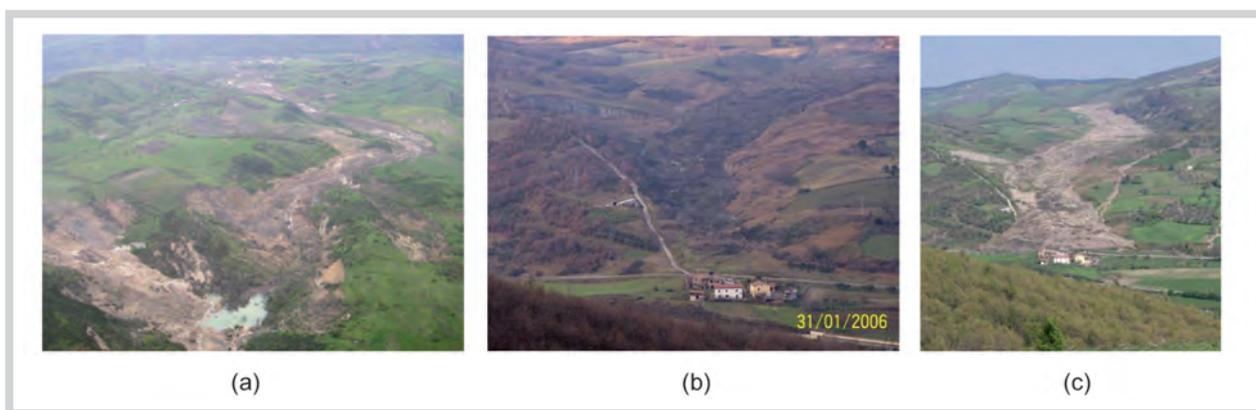


Figura II.4.134

(a) Veduta aerea dell'area di nicchia di monte del sistema franoso nel maggio 2006; (b) foto della zona del cumulo nel gennaio 2006, (c) foto della zona del cumulo nel maggio 2006 (fonte: DPCN).

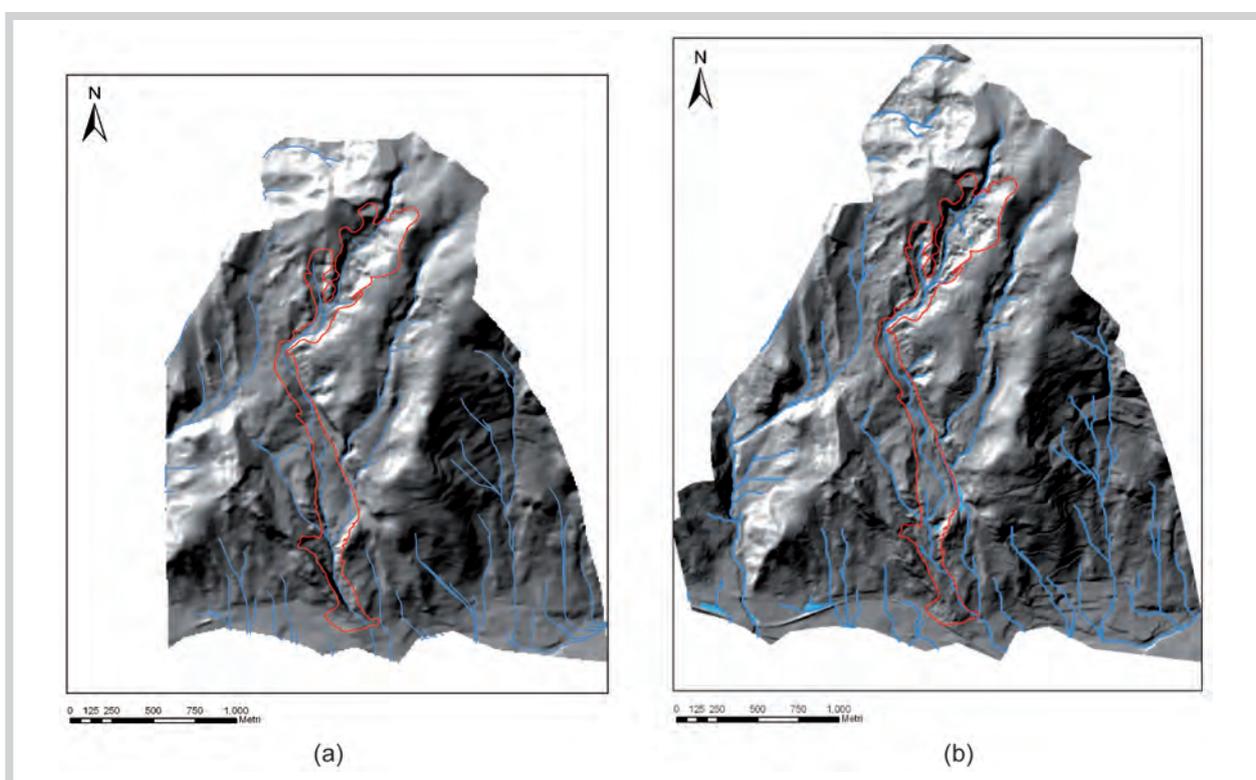


Figura II.4.135

Elaborazione hill-shade del DEM (10x10m) e linee di deflusso delle acque superficiali da: (a) cartografia in scala 1:5000 del 1998, (b) cartografia in scala 1:5000 del 2006

L'evento di crisi del 2009 e le indagini disponibili

I fenomeni noti come l'evento franoso del 2009 sono stati studiati ed analizzati dagli scriventi, nei mesi di giugno e luglio 2009, nell'ambito di una consulenza specialistica, svolta per la Struttura Commissariale Unificata Settore Programmazione Interventi di Protezione Civile della Regione Campania, finalizzata alla progettazione di interventi di somma urgenza resisi necessari a seguito della riattivazione del piede del sistema franoso che ha comportato una nuova interruzione della Strada Statale 90 delle Puglie. Come per le riattivazioni precedenti, la dinamica di evoluzione del sistema franoso è stata complessa e la nuova fase di attività del fenomeno, iniziata nell'anno idrologico 2008-2009, è proseguita nell'anno idrologico successivo. In questo caso, però, oltre che dalla risposta dei terreni a variazioni di condizioni idrauliche al contorno l'evoluzione del fenomeno è stata probabilmente condizionata anche dagli interventi antropici

realizzati in regime di “emergenza” ed iniziati, nella parte bassa del sistema franoso, prima del conferimento del succitato incarico di consulenza agli scriventi. Ciò premesso, le risultanze riportate nel seguito di questo articolo si riferiscono al solo evento di crisi del giugno-luglio 2009 e non considerano lo sviluppo del fenomeno successivo alla data del 4 agosto 2009, ovvero al termine del lavoro di consulenza svolto per la Struttura Commissariale.

Con riferimento alle indagini disponibili sono stati reperiti, per il periodo antecedente al 2009, sia la cartografia storica, per l’analisi dell’evoluzione del sistema franoso, sia le risultanze di una campagna di indagini realizzata dalla Società TecnIn S.p.A. nel 2006 nella parte bassa del sistema franoso (8 sondaggi a carotaggio continuo - indicati con la sigla S1-S8 in Figura II.4.131 - ed una serie di prove di laboratorio su campioni indisturbati). Nel 2009 sono stati, inoltre, effettuati: (i) un rilievo da aereo con camera fotogrammetrica e con LIDAR, necessario alla restituzione di prodotti cartografici aggiornati, rispettivamente per un’area inglobante i rilievi che concorrono alla alimentazione o al deflusso delle acque superficiali e profonde del sistema franoso (con restituzione in scala 1:2.000) e per un’area di dimensioni più ridotte inquadrante le aree direttamente interessate dai dissesti occorsi nel corso degli ultimi anni, con restituzione in scala 1:1.000 (Figure II.4.136a); (ii) un rilievo topografico di dettaglio di alcune sezioni significative del cumulo di frana (Figure II.4.136b); (iii) numerosi sopralluoghi e rilievi della circolazione idrica superficiale e sub-superficiale, questi ultimi svolti sia in proprio e sia da una società di consulenza specializzata (Hydrodata S.p.A).

La valutazione del cinematisimo e dei volumi di terreno mobilitati dal fenomeno franoso durante l’evento di crisi è stato preliminarmente effettuato confrontando lo stato dei luoghi successivo alla fase di riattivazione del 2006 con quello del luglio 2009 (Figura II.4.137a). Il confronto tra le due cartografie mette in luce la dislocazione verso valle di notevoli volumi di terreno che, in parte, sono presenti nelle porzioni alte del canale di frana e, in parte, hanno invaso il cumulo del 2006, incrementandolo di 250.000 mc circa. Tale circostanza è confermata dai rilievi topografici effettuati nella parte bassa del sistema franoso nel luglio 2009. Alla stesso periodo si riferisce il quadro di sintesi, riportato in Figura II.4.137b e descritto nel seguito, delle complesse fenomenologie in atto.

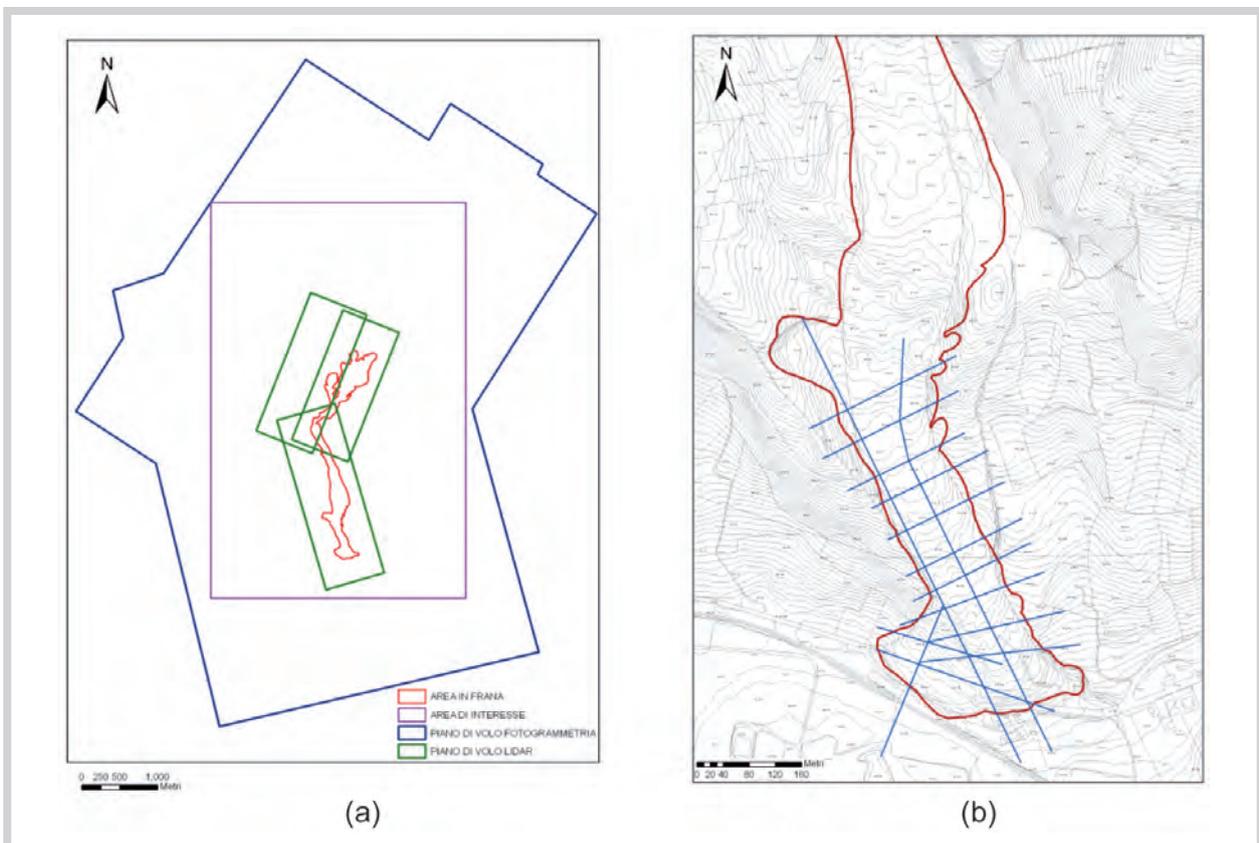


Figura II.4.136

(a) Area di interesse dei voli aerofotogrammetrico e LIDAR con indicazione dell’area di impronta del sistema franoso (in rosso);
 (b) tracce delle sezioni rilevate dal rilievo topografico nella zona del cumulo

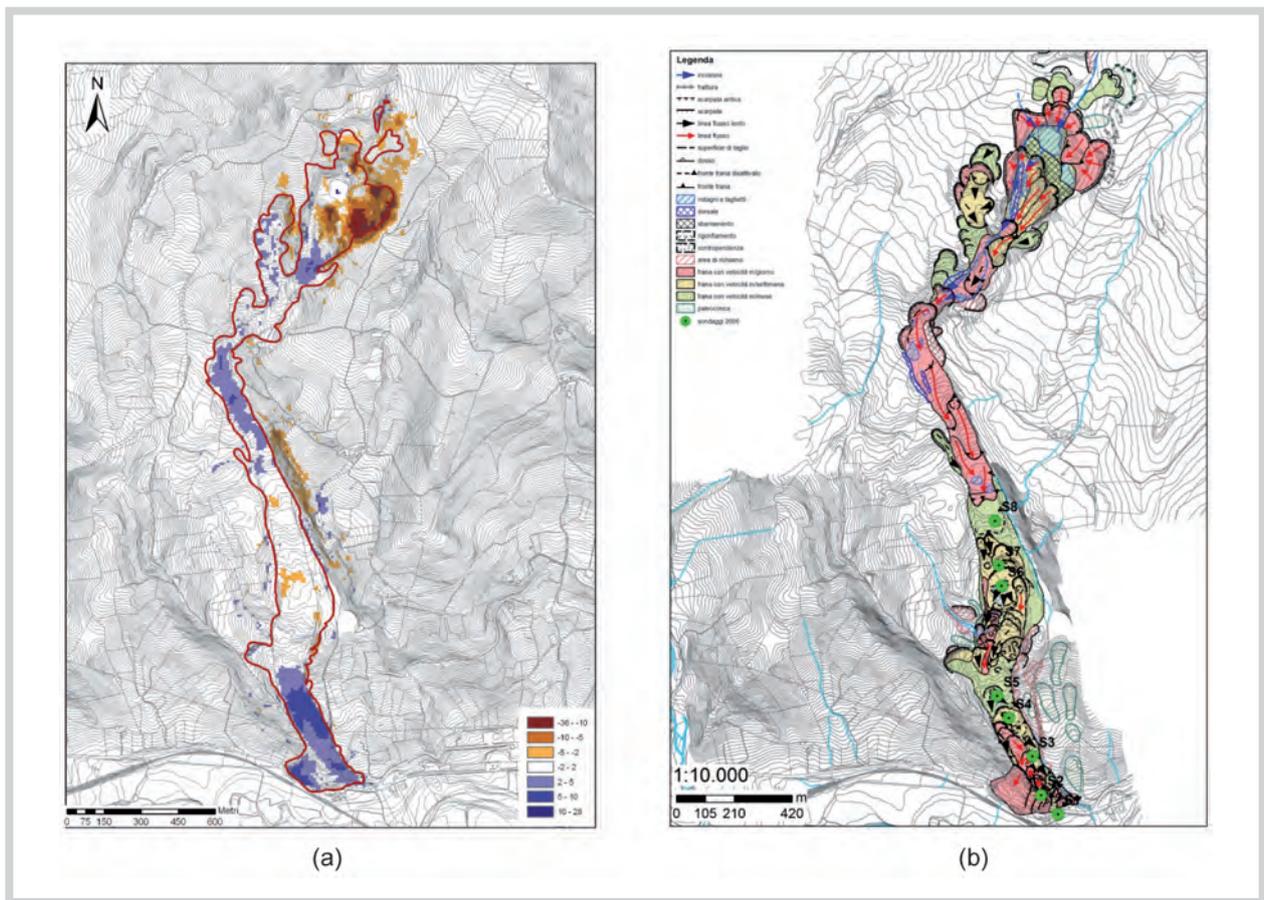


Figura II.4.137 - L'evento franoso del 2009: (a) confronto tra i DEM 10x10m ottenuti da cartografia del 2009 e del 2006, con indicazione dei bordi del canale di frana principale; (b) elementi morfologici del sistema franoso.

Per quanto riguarda la zona di alimentazione, a monte del coronamento principale è stata individuata un'area sede di intensa erosione e, nel settore della nicchia e nei settori laterali all'incisione che alimenta il lago, sono stati osservati numerosi distacchi con ampie superfici di scorrimento fresche, numerose fratture di richiamo beanti e vari blocchi e porzioni di strati prossimi al distacco ormai privi di copertura vegetale protettiva, con volume variabile da alcune decine fino a centinaia/migliaia di metri cubi. A valle dell'area della nicchia principale sono strati rinvenuti due laghetti, riforniti sia dalla circolazione superficiale e sia da uno o più orizzonti sorgentizi, alcuni dei quali osservati a monte del coronamento. I due laghi erano contenuti da uno sbarramento costituito da strati strutturati calcareo-marnoso-argillosi ruotati in contropendenza e da deposito di frana, rappresentato da grossi blocchi di calcari marnosi e pezzame di strato ciottoloso di varie dimensioni immerso in una abbondante matrice argillosa. Dal confronto della veduta aerea dell'area di nicchia di monte della frana nel 2006 con la situazione del luglio 2009, si è potuto notare un ampio allargamento dell'area di nicchia oltre che dimensioni e profondità maggiori del laghetto principale. A valle dello sbarramento, è stato individuato un salto di una decina di metri al di sotto del quale era presente un ulteriore laghetto di dimensioni più limitate che, dopo un breve percorso in parte nascosto dai depositi di frana, riemergeva dando origine lungo il percorso a limitati ristagni d'acqua. La vallecola laterale in destra del canale principale di frana si presentava fortemente evoluta con la presenza di ingenti volumi di terreno dello spessore di varie decine di metri che, seppure con velocità di pochi cm/anno, si dirigeva verso la confluenza con la valle principale sottostante. Il tratto superiore del canale di frana principale risultava riempito da terreni di frana in evoluzione, costituiti da grossi blocchi rocciosi immersi in una matrice prevalentemente argillosa con uno spessore massimo dell'ordine di varie decine di metri che, nel trasporto verso valle, venivano disfatti dall'azione delle acque correnti e dal meccanismo di trascinamento. A valle del gomito del canale di frana si è osservata la sovrapposizione di una colata attiva - prevalentemente argillosa, molto plastica e con rari inclusi lapidei - sui cumuli stratificati riferibili ai passati eventi franosi del 2003-06 e del 1957-58. Nella parte bassa del canale era in atto la sovrapposizione di un

livello di spessore metrico di materiale di frana prevalentemente fangoso “fresco” su di un cumulo di frana vegetato ed interessato da una fitta rete di fratture. Nell'area del cumulo di frana, la situazione è stata, nel corso del mese di luglio 2009, in continua evoluzione. In questo contesto, caratteri comuni del sistema franoso nella parte alta del cumulo sono stati movimenti superficiali secondo la linea di massima pendenza, evidenziati da piccoli rigonfiamenti, locali contropendenze e presenza di alcune fratture, ortogonali alla linea di massima pendenza. Nella parte media, si è osservato un fenomeno complessivo di franamento dei terreni più superficiali. Infine, nella parte bassa sono stati osservati: una importante nicchia di frana, di circa 130 m di larghezza, in arretramento ed allargamento sul versante in sinistra fino al fosso laterale; una colata superficiale, caratterizzata da una velocità dell'ordine di qualche metro al giorno, che si sviluppa tra due solchi bene incisi; fenomeni di rigonfiamento del corpo franoso, sia lungo il fianco destro della colata principale che in sinistra del piede del cumulo di frana, con conseguente obliterazione del sottostante canale laterale.

L'analisi del cinematismo del sistema franoso, unitamente al sistematico insuccesso dei provvedimenti empirici adottati per la regimentazione delle acque superficiali durante la fase di crisi precedente al nostro studio -che sistematicamente hanno finito per aggravare le condizioni di stabilità dei versanti, accelerandone l'evoluzione- ha evidenziato la sua stretta connessione con una adeguata comprensione dell'andamento, nello spazio e nel tempo, del deflusso delle acque. In tale ottica vanno inquadrati i numerosi rilievi della circolazione idrica superficiale e sub-superficiale svolti che hanno consentito di individuare: importanti laghetti (in blu), numerose zone di ristagno superficiale (in azzurro) ed un deflusso idrico superficiale pressochè continuo su una distanza di 3 km circa, dal lago di monte fino alla zona del piede del sistema franoso, a circa 350m di quota più in basso (Figura II.4.138a). Ulteriori indagini di campo sono state, inoltre, effettuate al fine di caratterizzare le dinamiche di apporto e di deflusso idrico delle acque superficiali nella zona di interesse attraverso: (i) rilievo batimetrico del lago presente nella zona di alimentazione del sistema franoso; (ii) misure di portata, sia delle acque superficiali e sia delle sorgenti che alimentano l'intero sistema franoso, con particolare riguardo agli affioramenti sorgentizi diffusi nel settore di testata; (Figura II.4.138b). Con riferimento al rilievo batimetrico del lago presente nella zona di alimentazione del sistema franoso, condotto con ecoscandaglio da un gommone gonfiabile, esso ha mostrato un vaso caratterizzato da una profondità media 2.5 m (profondità massima di 7.2 m) ed un volume di circa 13.500 m³ (Figura II.4.139). Con riferimento alle misure di portata, esse sono state eseguite in tutti i punti di rilievo nell'arco temporale di alcune ore ed in condizioni di tempo secco e possono, pertanto, essere considerate come rappresentative, nei giorni di misura, dell'afflusso idrico nel corpo frana. Le portate rilevate sono, in tutto il sistema, sempre inferiori al litro per secondo. Non si è, altresì, osservato alcuno sfioro del lago stesso, ma esclusivamente piccole risorgive con una portata complessiva del medesimo ordine dell'attuale afflusso sorgentizio al bacino (0.6 l/s). Nel successivo settore del sistema franoso, il limitato flusso superficiale si divide in due flussi scarsamente definiti e verosimilmente instabili nel tempo. Più a valle, in questo stesso settore, si è osservata la presenza di numerosi rivoli dispersi con valori delle portate di ruscellamento estremamente bassi che non sembra subire variazioni rilevanti, se non a seguito di evaporazione delle frequenti aree di ristagno. A quote inferiori, il sistema franoso è alimentato da nuovi apporti laterali, per deflusso sia superficiale sia sorgivo. I principali contributi derivano, in sinistra idrografica, dall'imbrifero di alimentazione del lago inferiore scolante nel fosso Nocella e, in destra idrografica, da un bacino con impluvio “sbarrato” dal corpo di frana dove si osserva la sistematica formazione di aree umide paludose. Per quanto riguarda la parte bassa del sistema franoso, il deflusso complessivo appare, comunque, inferiore alla somma dei singoli contributi per le perdite legate a evapotraspirazione, dispersione dei flussi, frequente presenza di estesi ristagni, come confermato dai valori crescenti della conducibilità elettrica specifica nel tratto di valle.

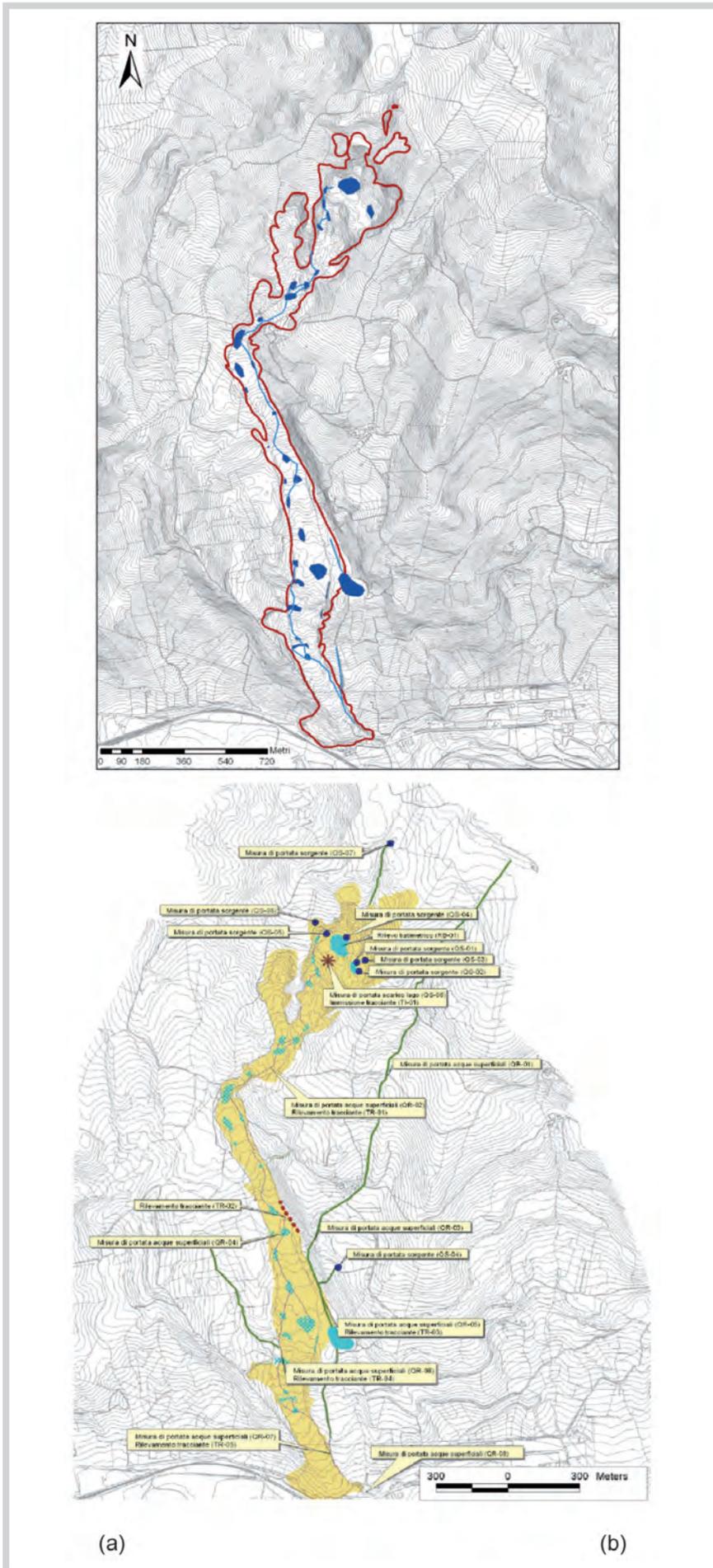


Figura II.4.138

(a) Rilievo della circolazione idrica superficiale (deflussi superficiali in blu, laghi e zone di ristagno in azzurro); (b) localizzazione dei punti di misura dei rilievi in sito effettuati dalla Società Hydrodata S.p.A.

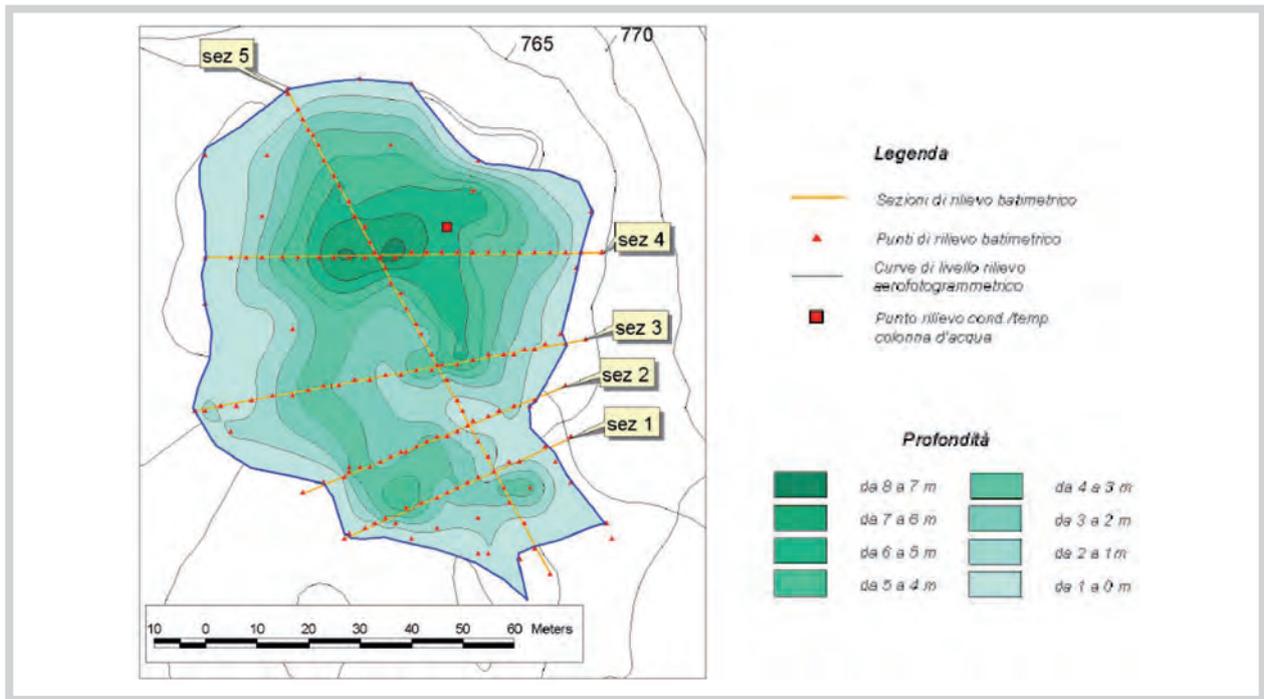


Figura II.4.139
 Risultati del rilievo batimetrico del lago effettuato dalla Società Hydrodata S.p.A. in data 21/07/2009.

Interpretazione delle fenomenologie presenti nella parte bassa del sistema franoso

Modello geologico del sottosuolo

Il primo passo per l'inquadramento dei molteplici dissesti che hanno coinvolto il sistema franoso di Montaguto, ed in particolare il cumulo dell'evento franoso del 2006, tra i mesi di giugno e luglio 2009, è stato la messa a punto di un adeguato modello geologico sulla base della molteplicità di dati raccolti nel corso dei sopralluoghi effettuati e dalle stratigrafie degli 8 sondaggi disponibili. L'analisi morfologica della parte bassa del sistema franoso, unitamente a considerazioni geologico-strutturali, ha evidenziato che il corpo di frana, nel settore a monte della q. 485 m s.l.m.m. è costituito dai cumuli stratificati degli eventi franosi del 2003-2006 e del 1957-58, mentre a valle di q. 485 m s.l.m.m. dal solo cumulo dell'evento 2003-2006. L'analisi delle stratigrafie dei sondaggi ha evidenziato che nel settore compreso tra quota 550 m s.l.m.m. e quota 420 m s.l.m.m., il corpo di frana ha uno spessore variabile tra 12 m e 29,5 m. Inoltre, in questo stesso settore, il corpo di frana si sviluppa su un substrato profondo, continuo ed omogeneo, costituito essenzialmente da una successione di argille siltose sottilmente stratificate, con sottili e subordinate intercalazioni decimetriche di siltiti argillose, da riferire alla litofacies pelitica dell'Unità di Altavilla. Tra il corpo di frana ed il substrato è presente un livello di ghiaie e sabbie, e talora di sabbie limose, di spessore variabile da 1,5 m a 4-5 m. Questa unità litologica ha uno sviluppo più o meno continuo e va riferita a depositi torrentizi che hanno occupato la valle, ancor prima che la stessa fosse interessata dall'arrivo dei cumuli di frana.

I dati in precedenza elencati sono stati utilizzati per ricostruire alcune sezioni stratigrafiche significative (Figura II.4.140). La sezione geologica longitudinale evidenzia la geometria della sovrapposizione del cumulo dell'evento 2003-2006 su quello più antico (1957-58). Il cumulo geometricamente più alto è presente lungo tutto lo sviluppo del profilo con spessori crescenti da circa 5 m fino a circa 20 m; il cumulo riferibile all'evento 1957-58 è presente a monte della q. 485 m s.l.m.m., con spessori fino a 27 m. Il dettaglio stratigrafico riportato evidenzia, inoltre, che i fenomeni osservati nel corso dei sopralluoghi del mese di luglio tra la quota 540 m s.l.m.m. e la quota 505 m s.l.m.m., sono essenzialmente da mettere in relazione con lo smantellamento dei terreni più superficiali che, nel 2006, hanno sormontato i cumuli stratificati delle frane fino all'evento 1957-58, assumendo maggiori spessori nei settori laterali. A tale riguardo si osserva che le condizioni di stabilità che hanno contraddistinto, nei decenni passati, i cumuli di frana antecedenti all'evento 2006, sono da mettere in relazione, presumibilmente, con la presenza dello strato drenante alla

base del materiale di frana che ha localmente prodotto un abbassamento del livello piezometrico e, quindi, un incremento delle forze stabilizzanti. Condizione questa che è venuta meno a seguito dell'evento del 2006 che ha causato, ovunque, un rilevante innalzamento della falda e che può essere alla base degli spostamenti registrati, tra Novembre 2006 e Gennaio 2007, nell'inclinometro S6. Nella Figura II.4.140 è riportata, inoltre, una sezione trasversale passante per il sondaggio S4, nella quale sono indicati il profilo attuale ed il profilo topografico preesistente all'evento del 2006. Il profilo morfologico della sezione della valle risulta visibilmente asimmetrico, per la presenza del crinale arenaceo-sabbioso che delimita in destra orografica il cumulo di frana. In sinistra orografica l'andamento morfologico del profilo del versante è coerente con i caratteri litostratigrafici della successione argillosa dell'Unità di Altavilla. L'andamento regolare e quasi rettilineo del profilo del versante in destra orografica, oltre a confermare la presenza di litologie più resistenti all'erosione, sembra documentare la presenza di una faglia a prevalente componente verticale, ad andamento SSE-NNW, che avrebbe dislocato l'originaria formazione, mettendo a contatto la successione argillosa con la sottostante successione arenacea.

La piovosità nell'area di studio

Uno studio preliminare della piovosità è stato svolto sulla base dei dati pluviometrici (forniti dalla Struttura Commissariale) relativi alle piogge cumulate giornaliere registrate nei pluviometri di Ariano Irpino (AV) e Savignano (FG). Per entrambi i pluviometri si disponeva delle misure da settembre 2002 a maggio 2009. I risultati delle analisi svolte sono illustrati nella Figura II.4.141. L'anno idrologico 2008-2009 si configura, per entrambi i pluviometri, come l'anno più piovoso della serie. I dati storici evidenziano, inoltre, che non sono rare, nella zona di interesse, precipitazioni alla fine dell'anno idrologico, vale a dire nei mesi di luglio e agosto. I grafici che mostrano l'andamento giornaliero delle piogge cumulate a 30, 60, 90, 180 e 360 giorni evidenziano come, in questa area, le piogge cumulate fino a 3 mesi presentano, sistematicamente, i loro picchi durante la stagione invernale. La stagione primaverile del 2009 è risultata, però, particolarmente critica con riferimento alle cumulate di più lungo periodo ed in particolare alla cumulata a 6 mesi. L'analisi della distribuzione media su base mensile delle piogge registrate ha consentito di stimare un afflusso medio annuo di circa 717 mm, con precipitazioni maggiori concentrate nel periodo invernale e valori minimi di afflusso tra giugno e agosto in quasi tutti gli anni considerati. Naturalmente, per una definizione più accurata della piovosità nell'area, oltre a queste valutazioni di carattere preliminare sarebbero necessarie analisi più dettagliate che considerino, tra l'altro, i periodi di ritorno delle piogge oltre che il ruolo della climatologia e delle barriere orografiche.

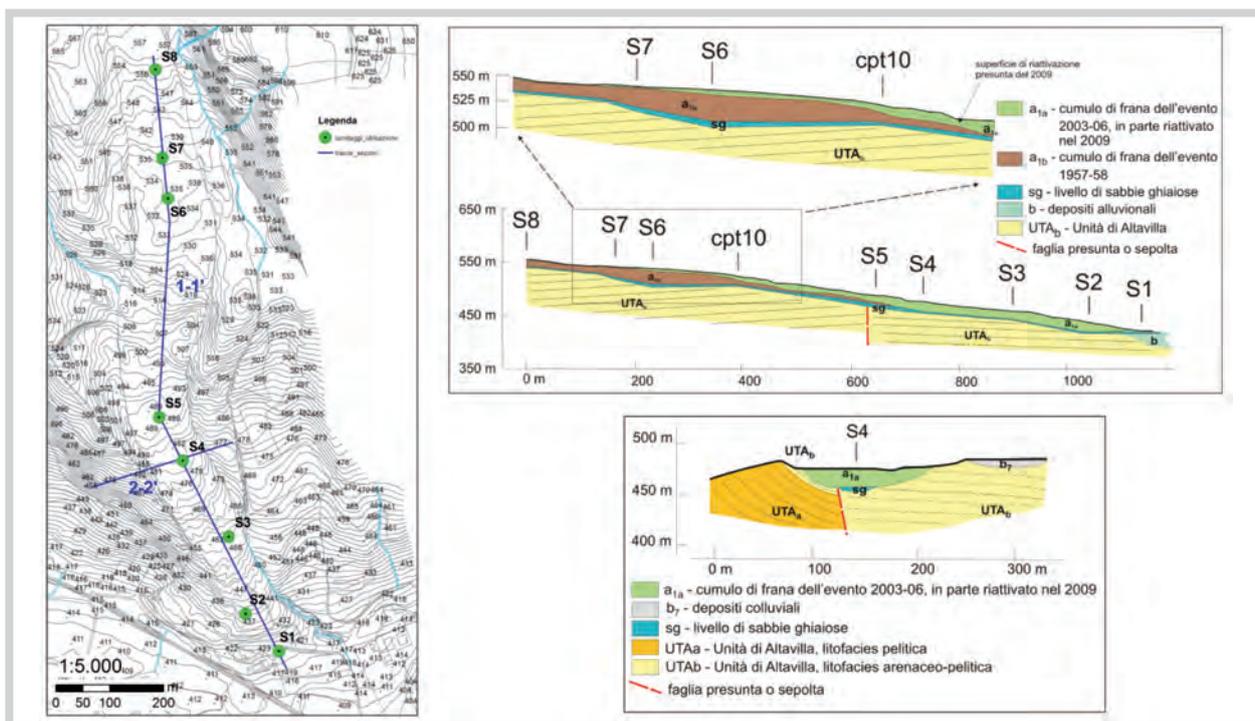


Figura II.4.140
Planimetria della parte bassa del sistema franoso e sezioni geologiche significative

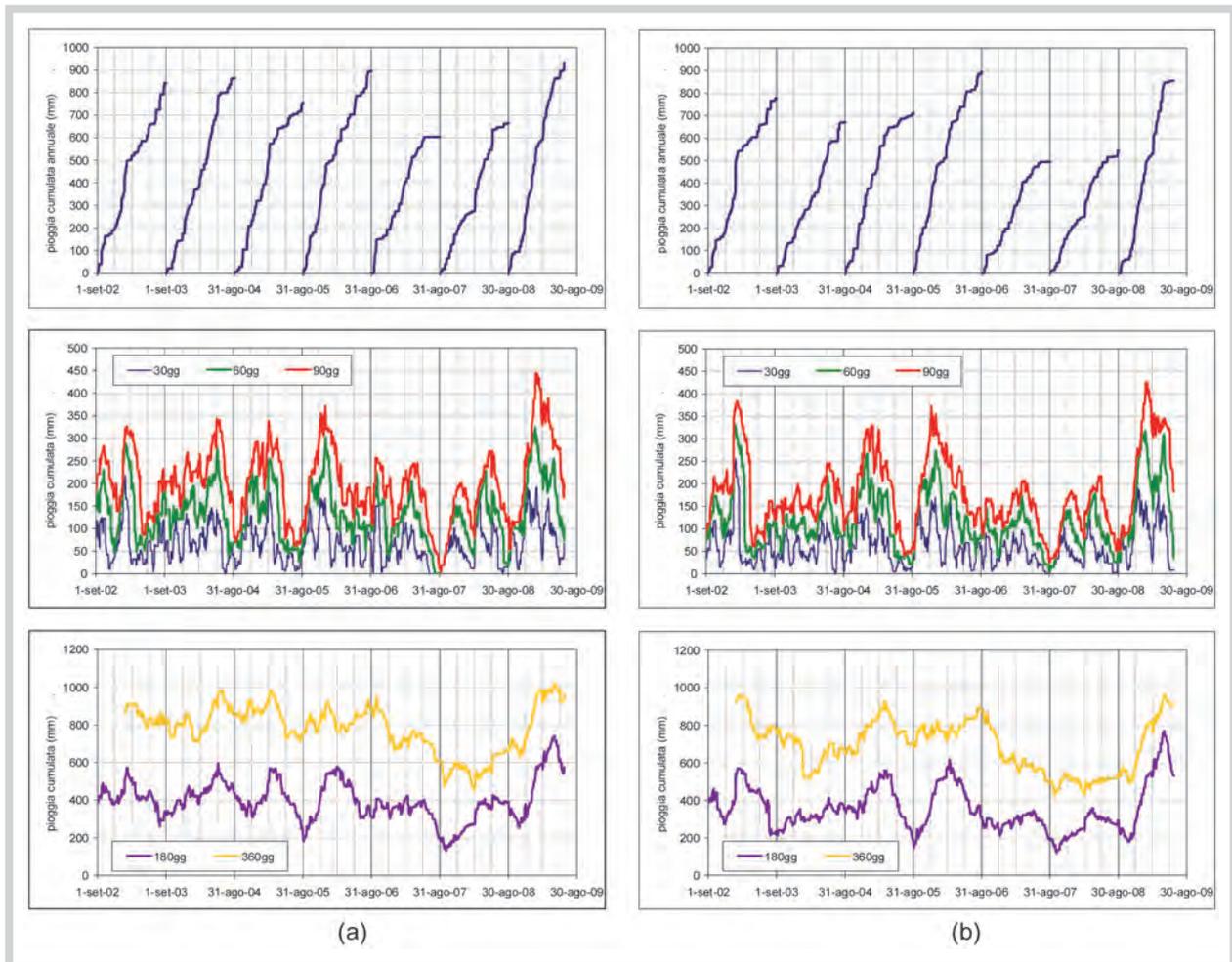


Figura II.4.141

Pioggie cumulate da registrazioni pluviometriche per il periodo settembre 2002 - maggio 2009 relative alle stazioni di misura di (a) Ariano Irpino e (b) Savignano

Il deflusso delle acque superficiali

Ai fini dell'analisi del deflusso delle acque superficiali, l'area di interesse è stata suddivisa in sottobacini idrografici (Figura II.4.142). L'area totale del bacino entro il quale si sviluppa il sistema franoso di Montaguto, indicata in Figura come B06, è di circa 2,7 km². Poiché durante i rilievi in sito del mese di luglio è stato riscontrato un afflusso di acque superficiali e sub-superficiali estremamente contenuto in relazione alle portate di deflusso valutabili sulla base del regime pluviometrico della zona nei mesi più piovosi, è stata svolta una preliminare analisi idrologica per la valutazione degli apporti al corpo di frana in regime ordinario e di piena. L'analisi è stata preliminarmente impostata sulla base della metodologia sviluppata nell'ambito del progetto VA.PI. (Rossi e Villani 1994), frequentemente adottata in Regione Campania, per la determinazione delle portate di piena critiche basata su regionalizzazioni a scala di bacino idrografico. Successivamente, i meccanismi di trasformazione afflussi-deflussi dell'area sono stati analizzati mediante modelli di corrvazione di tipo concettuale e formule empiriche, più indicate per bacini di modesta estensione come quello in esame. Com'era da attendersi, le portate di piena di riferimento ottenute applicando il modello VA.PI. non sono risultate elevate (inferiori a 5 m³/s per il bacino complessivo in corrispondenza di un tempo di ritorno di 100 anni) in relazione ai valori usualmente attesi per eventi intensi in bacini di questa tipologia, mentre sono significativamente maggiori (circa il doppio per il bacino complessivo, fino a 6-7 volte per i bacini più piccoli) sia le portate determinate mediante il modello cinematico (in cui il processo di corrvazione è stato schematizzato come predominante rispetto a quello di invaso e si è fatto riferimento ad un evento di durata pari al tempo di corrvazione) sia i valori relativi all'applicazione della metodologia VA.PI. corretta attraverso relazioni di tipo empirico (tirate su bacini di tipologia analoga a quelli in esame). Come

ultimo passo dell'analisi, è stata svolta un'elaborazione statistica delle precipitazioni intense registrate su base oraria alla stazione pluviometrica di Ariano Irpino, con l'obiettivo di effettuare un affinamento locale dell'input di precipitazione per il calcolo della portata di progetto. A tal fine è stata presa in considerazione la serie dei massimi annuali di precipitazione per eventi di breve durata (1, 3, 6, 12 e 24 ore), ovvero la tipologia maggiormente critica per il bacino in studio, su un campione di 27 anni di osservazioni (dal 1968 al 1998). Sulla base dei valori ottenuti sono state poi stimate le portate di progetto, secondo la metodologia VA.PI., con l'input di pioggia definito su base locale. I valori della portata di piena ottenuti secondo questa procedura sono riportati in Tabella II.4.16. I valori così ottenuti, che per il bacino complessivo e un tempo di ritorno di 100 anni forniscono una portata al colmo di circa 7,6 m³/s (valore intermedio tra i valori minimo e massimo derivanti dall'applicazione dei metodi descritti in precedenza), possono essere assunti come i valori di portata massima di riferimento per le finalità del presente studio. Su tali basi, e considerando un idrogramma schematico di tipo triangolare (di geometria rappresentativa del pattern più ricorrente delle onde di piena relative a eventi critici per i bacini in esame) con rampa di crescita di durata pari a 2/3 del tempo di corrivazione e rampa di decrescita di durata pari a 5/3 tc, si sono, infine, stimati i volumi idrici del deflusso in gioco nel corso di un evento critico (Tabella II.4.17).

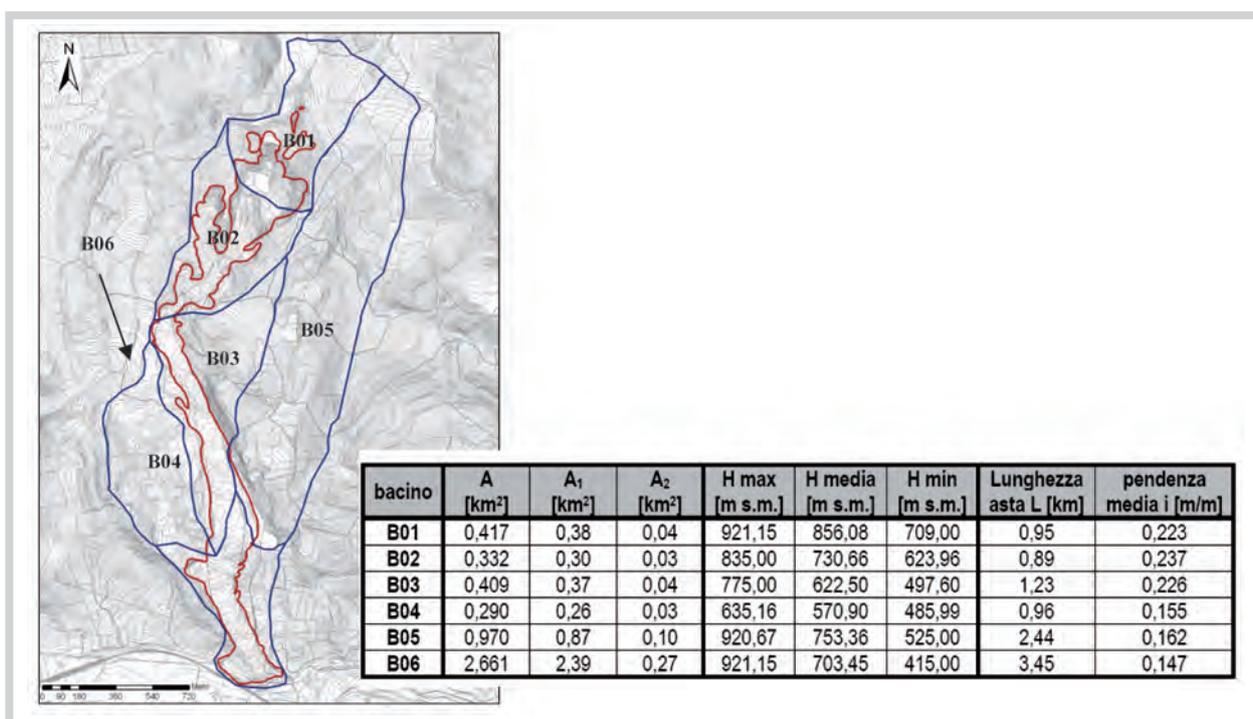


Figura II.4.142. Suddivisione e principali caratteristiche fisiografiche dei sottobacini del bacino idrografico (B06) entro il quale si sviluppa il sistema franoso di Montaguto

Tabella II.4.16. Valori della portata di piena di progetto (m³/s) ottenuti applicando il modello VA.PI. con input di pioggia definito su base locale

codice bacino	tempo di ritorno T [anni]						
	2	5	10	20	50	100	200
B01	0,27	0,40	0,51	0,64	0,82	0,96	1,11
B02	0,21	0,31	0,40	0,49	0,64	0,75	0,86
B03	0,27	0,40	0,50	0,62	0,80	0,94	1,08
B04	0,18	0,27	0,34	0,42	0,55	0,64	0,74
B05	0,70	1,04	1,31	1,63	2,10	2,47	2,84
B06	2,15	3,18	4,02	5,01	6,44	7,58	8,71

Tabella II.4.17. Volumi idrici di deflusso (in m³) stimabili per gli eventi di piena di progetto sulla base dei valori di portata di piena riportati in Tabella II.4.16

codice bacino	tempo di ritorno T [anni]						
	2	5	10	20	50	100	200
B01	777	1.153	1.457	1.814	2.332	2.744	3.155
B02	538	798	1.008	1.256	1.615	1.899	2.184
B03	753	1.116	1.410	1.756	2.258	2.656	3.054
B04	432	640	809	1.007	1.295	1.523	1.752
B05	3.037	4.503	5.690	7.086	9.111	10.717	12.323
B06	15.444	22.899	28.934	36.035	46.331	54.496	62.662

Modello geotecnico

Gli elementi acquisiti nelle fasi precedenti hanno evidenziato con chiarezza le modalità di evoluzione del cumulo di frana, nel quale hanno avuto sede dissesti multipli superficiali intimamente interconnessi tra loro che si modificano nel tempo e nello spazio, talora sovrapponendosi o localmente obliterandosi, essenzialmente in funzione della circolazione idrica superficiale che, nel tempo, ha subito rilevanti modifiche anche in conseguenza degli interventi antropici realizzati all'esterno ed all'interno del cumulo di frana. Il ruolo giocato da tali modifiche sull'evoluzione rapida del cumulo di frana, osservata a partire dalla fine del mese di giugno 2009, è stato analizzato con l'ausilio di un modello geotecnico che consta essenzialmente di due parti. La prima è finalizzata alla ricostruzione del regime delle pressioni neutre, laddove hanno sede i fenomeni di instabilità e non si dispone di misure strumentali in sito; la seconda sviluppa una analisi di stabilità, di tipo parametrico, dei fenomeni franosi in atto e dell'intero cumulo di frana, quest'ultimo potenzialmente sede di superfici di scorrimento più profonde rispetto a quelle che si sono manifestate con sistematicità nell'estate 2009. Le analisi di stabilità si sono svolte in presenza ed in assenza di ponding sul piano campagna, condizioni che possono considerarsi rispettivamente rappresentative dello stato dei luoghi alla data di analisi e dell'assenza di ruscellamento nella zona di interesse. Tutti i calcoli sono stati condotti in condizioni di deformazione piana lungo alcune direttrici principali dei dissesti. Il regime delle pressioni neutre è stato ricostruito, nella condizione di ponding, utilizzando il codice di calcolo agli elementi finiti SEEP/W (GeoSlope, 2004) ed assumendo condizioni di totale saturazione fino alla superficie freatica della falda profonda, posizionata in funzione delle misure piezometriche di cui si disponeva per il periodo Ottobre 2006 - Marzo 2007. Le proprietà idrauliche dei terreni si sono definite in base a dati che risalgono alla campagna di indagine svolta nel 2006. Il regime delle pressioni neutre che scaturisce dai calcoli è stato utilizzato nelle verifiche di stabilità dei fenomeni franosi, sia in atto al momento dell'analisi che potenziali, condotte con il codice di calcolo all'equilibrio limite SLOPE/W (GeoSlope, 2004), attribuendo ai terreni le proprietà fisico-meccaniche desunte dai risultati delle prove di laboratorio del 2006.

Le superfici di scorrimento sono state analizzate con riferimento a diverse situazioni morfologiche occorse nel corso dei mesi di giugno e luglio 2009. Dai risultati delle analisi scaturisce la piena conferma dell'alta suscettibilità del cumulo di frana ad essere smantellato dalla rapida retrogressione di fenomeni di instabilità superficiali piuttosto che da fenomeni franosi profondi, la cui probabilità di innesco aumenta notevolmente con l'inizio della stagione piovosa. D'altra parte, i risultati dei calcoli mettono in luce che i fenomeni franosi, in rapida retrogressione all'interno dell'intero cumulo di frana, sono da mettere in stretta relazione con i consistenti fenomeni di deflusso delle acque superficiali. Come esempio delle numerose analisi eseguite, le Figure II.4.143 e II.4.144, che si riferiscono alla condizione morfologica osservata in data 10 luglio 2009, mostrano chiaramente come il fenomeno franoso al piede in destra orografica (superficie e-e), e le superfici di scorrimento nella parte alta del cumulo (superfici g-g e i-i) siano entrambe caratterizzate da coefficienti di sicurezza minori dell'unità. Molto prossimo all'unità è anche il coefficiente di sicurezza della colata superficiale al piede del sistema franoso in sinistra orografica (superficie f-f), mentre sufficientemente stabile risulta il fenomeno profondo in destra orografica (superficie j-j). Una volta verificata la affidabilità del modello geotecnico che è stato in grado oggettivare, su basi ingegneristiche, la evoluzione dei versanti osservata nel corso dei sopralluoghi, si sono svolte ulteriori verifiche di stabilità nell'area del cumulo di frana, per il quale si sono considerate diverse ipotesi di risagomatura; le verifiche si sono, inoltre,

eseguite considerando la presenza o meno, nelle zone di monte, di opere in grado di captare le acque superficiali. I risultati delle analisi di stabilità effettuate portando in conto gli interventi sia di risagomatura che di captazione delle acque (Figura II.4.145) hanno evidenziato la possibilità di implementare soluzioni di mitigazione del rischio in grado di restituire all'intero versante idonee condizioni di sicurezza.

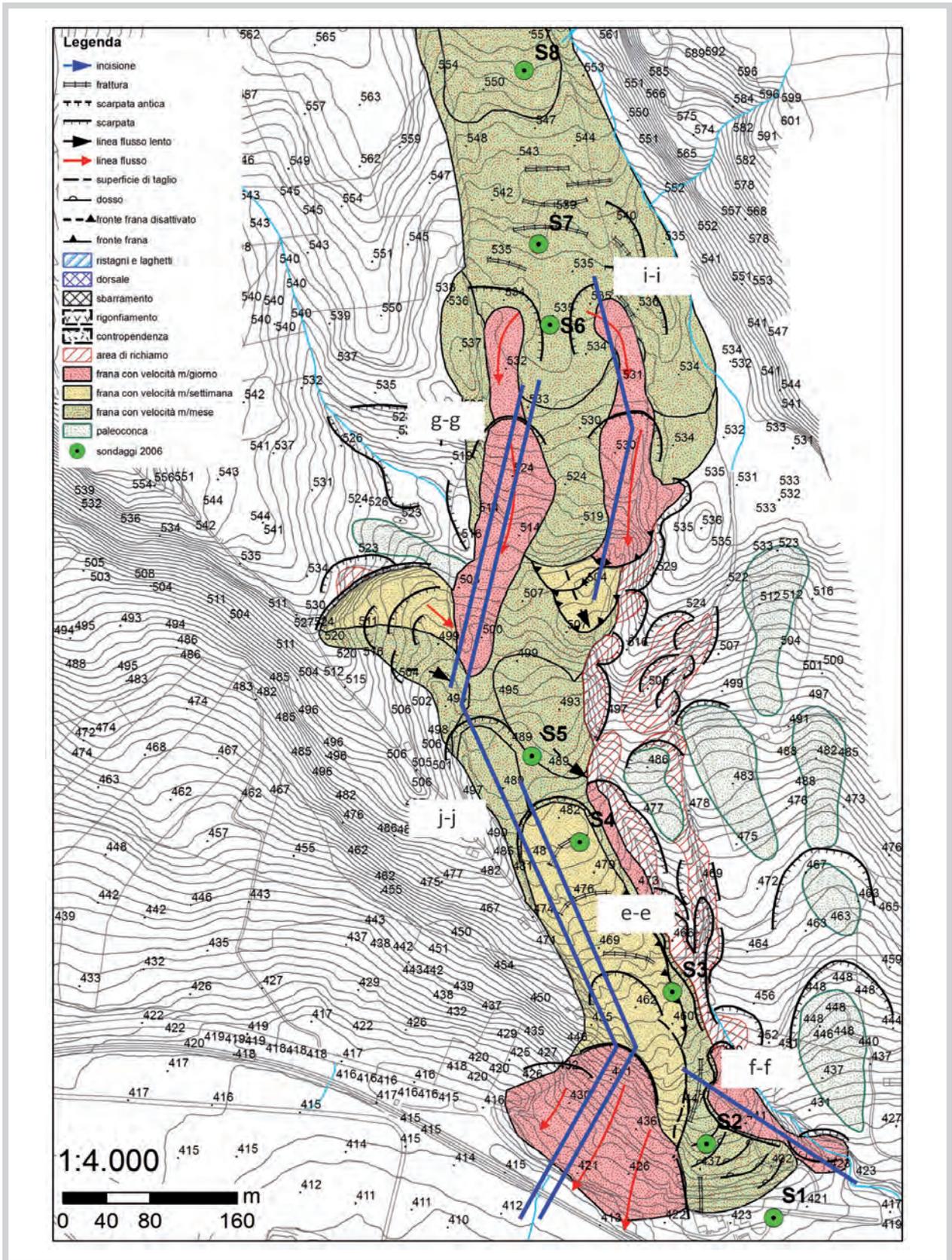


Figura II.4.143. Tracce delle verifiche di stabilità dei fenomeni franosi alla data del 10 luglio 2009

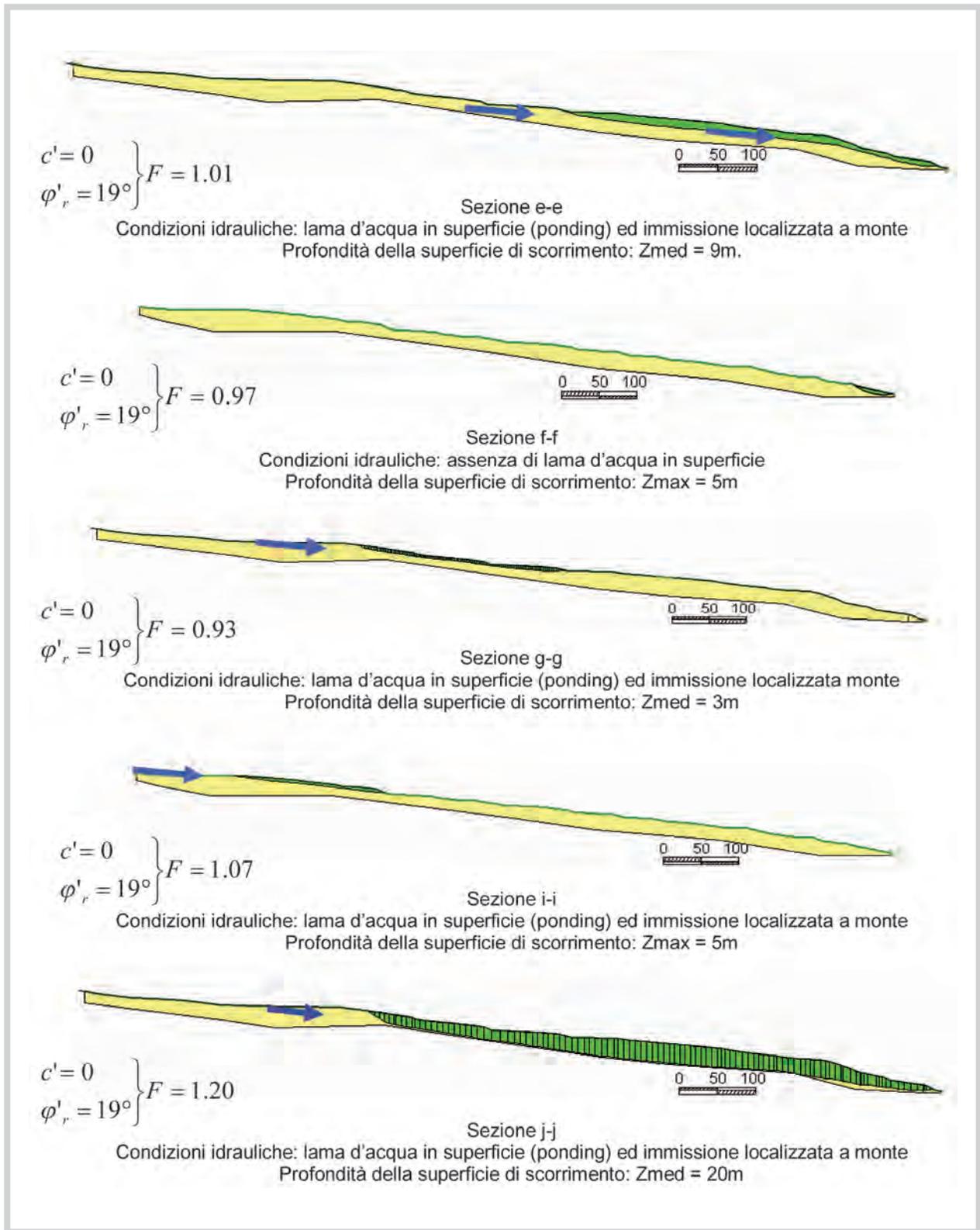


Figura II.4.144.
 Risultati delle verifiche di stabilità dei fenomeni franosi in destra orografica alla data del 10 luglio 2009

IPOTESI DI RISAGOMATURA IN ASSENZA DI IMMISSIONI LOCALIZZATE E DI LAMA D'ACQUA IN SUPERFICIE

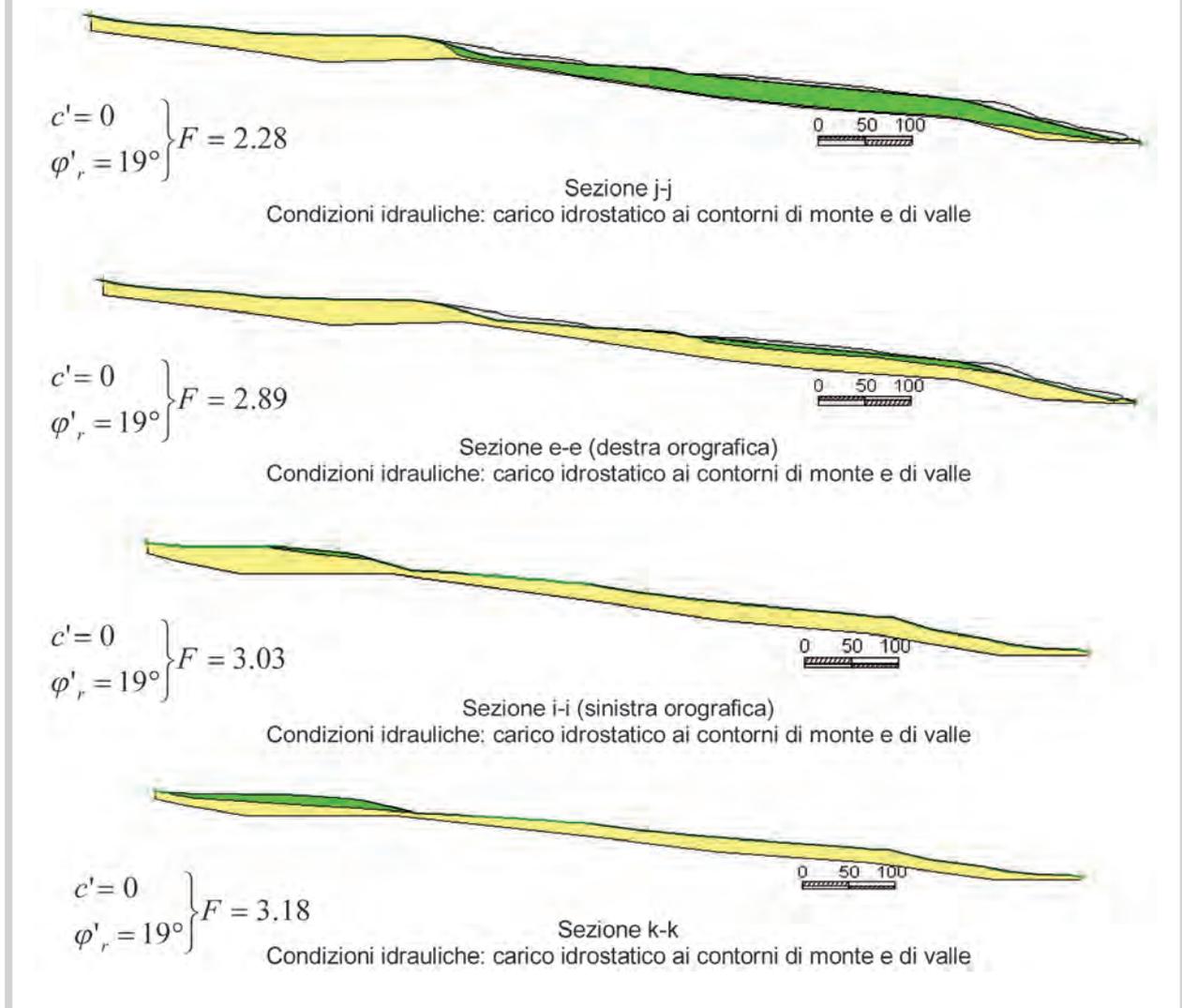


Figura II.4.145.
Risultati delle verifiche di stabilità con ipotesi di risagomatura del versante e regimentazione delle acque superficiali

Considerazioni conclusive

Le indagini e gli studi svolti nell'ambito del sistema franoso di Montaguto hanno consentito di delineare con chiarezza le fenomenologie pregresse e quelle in atto fino a luglio 2009, e di definire degli interventi di somma urgenza, che si sarebbero dovuti effettuare *in illo tempore* (autunno-inverno 2006) per fronteggiare la criticità.

Con riferimento alle fenomenologie in atto all'epoca, successivi alla fase parossistica della primavera del 2006, ulteriori movimenti erano in corso all'interno dell'intero canale di frana e nella zona del coronamento sommitale, caratterizzata da molti versanti con incipiente instabilità e dalla presenza di due laghetti da frana, dei quali uno di dimensioni particolarmente rilevanti.

Spostandosi verso valle si rinvenivano lungo il canale di frana cospicui volumi di terreno in lento movimento che, in parte, si erano sovrapposti al vecchio cumulo di frana, incrementandolo di alcune centinaia di migliaia di metri cubi e minandone ulteriormente le già precarie condizioni di stabilità. Ed è proprio in questo settore che sono evoluti maggiormente i fenomeni franosi nel corso dei mesi di giugno e

luglio 2009, dove si è assistito al progressivo smantellamento del cumulo dovuto alla intensa azione erosiva dalle acque superficiali provenienti da monte, e maggiormente accentuata dalla rimozione del materiale che andava invadendo la Strada Statale 90 delle Puglie.

Gli interventi di somma urgenza progettati consistono in una appropriata risagomatura dell'intero cumulo di frana, nell'intercettazione, a monte della risagomatura ed in destra orografica delle acque superficiali, e nella idonea canalizzazione in sinistra orografica delle acque riscellanti. Sono stati, altresì, previste piazzole nelle zone di monte per intercettare il materiale in movimento nel canale di frana e lo svuotamento del laghetto ubicato nella zona di testata del canale di frana. Sono stati infine valutate, come ulteriori elementi da acquisire per la individuazione degli interventi di mitigazione del rischio a medio-lungo termine, le analisi degli spostamenti superficiali e profondi, del regime delle pressioni neutre all'interno del canale di frana, delle proprietà meccaniche dei terreni e della circolazione idrica profonda, che rappresenta sicuramente uno dei fattori più importanti nella evoluzione complessiva dell'intero sistema franoso.

BIBLIOGRAFIA

- Basso C., Ciampo G., Ciarcia S., Di Nocera S., Matano F., Staiti D. & Torre M. (2002) - *Geologia del settore irpino-dauno dell'Appennino meridionale: implicazioni sui domini paleogeografici delle unità bacinali meso-cenozoiche e nuovi vincoli stratigrafici nell'evoluzione tettonica mio-pliocenica del settore esterno della catena*. Studi Geologici Camerti, nuova serie, **1**, 2, 7-26.
- Crostella A. & Vezzani L. (1964) - *La geologia dell'Appennino Foggiano*. Boll. Soc. Geol. It., **83**, 121-142.
- Pescatore T., Russo B., Senatore M.R., Ciampo G., Esposito P., Pinto F. & Staiti D. (1996) - *La successione messiniana della Valle del Torrente Cervaro (Appennino dauno - Italia meridionale)*. Boll. Soc. Geol. It., **115**, 369-368.
- Servizio Geologico D'Italia (1964) - *Foglio n. 174 Ariano Irpino*. Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000; Roma.