

Fenomeni di instabilità dei Monti Lattari e dell'area flegrea (Campania): scenari di suscettibilità da frana in aree-campione^(*)

R. de Riso⁽¹⁾, P. Budetta⁽¹⁾, D. Calcaterra⁽¹⁾, A. Santo⁽¹⁾,
S. Del Prete⁽²⁾, C. De Luca⁽²⁾, G. Di Crescenzo⁽²⁾,
P.M. Guarino⁽²⁾, R. Mele⁽³⁾, B. Palma⁽²⁾, D. Sgambati⁽²⁾

Riassunto. Nella presente nota si propongono alcuni esempi di cartografia geologica e geomorfologica finalizzata all'individuazione di scenari di pericolosità/rischio da frana in contesti rappresentativi dell'assetto geologico della Campania (M. Pendolo di Gragnano, dorsale di Meta di Sorrento, collina dei Camaldoli in Napoli, comune di Casamicciola nell'isola d'Ischia). Vengono descritti di volta in volta: a) i fattori geologico-stratigrafici, gli ambiti geomorfologici, gli aspetti strutturali e geomeccanici ritenuti influenti nella instaurazione di fenomeni di innesco e di evoluzione successiva di frane del tipo colata rapida in terreni piroclastici sciolti e di frane da crollo in rocce calcaree; b) il criterio di elaborazione, qualitativo o semiquantitativo, di tali dati in termini di «zonazione geomorfologica». A questo tipo di approccio, seguito in più occasioni anche in concomitanza della fase di emergenza-frane in Campania (1997-1999) ed esemplificato nelle tavole fuori testo, ha fatto seguito l'applicazione successiva dell'iter metodologico che privilegia l'analisi statistica dei dati ai fini della perimetrazione degli areali a diverso grado di pericolosità relativa (suscettibilità) per frane da colata rapida. I risultati dell'applicazione di tale metodo, negli stessi contesti geologici, vengono discussi e confrontati con quelli rappresentati nei test di cartografia geomorfologica.

[Parole chiave: *frane, suscettibilità a franare, Appennino meridionale, Campania*].

Abstract. *Some geological and geomorphological maps are here presented, devoted to define landslide hazard/risk scenarios in some selected areas, representative of the geological framework which characterizes Campania region, southern Italy. The following aspects are hence highlighted: a) geological and stratigraphical factors, geomorphological settings, geostructural and geomechanical parameters which control the initiation and evolution of rapid debris flows in pyroclastics deposits and of falls in carbonate rocks; b) the criteria adopted so as to use these data for a geomorphological zonation. This kind of approach, followed during the various slope-instability regional emergencies occurred in Campania in the years from 1997 to 1999, is here documented in some plates. The same approach is finally discussed and compared to landslide relative hazard maps eventually created by means of multivariate analysis, as a result of further studies on debris flows risk in Campania.*

[Key words: *landslides, landslide susceptibility, southern Apennines, Campania*].

1. PREMESSA

La redazione di elaborati cartografici finalizzati all'individuazione di scenari di pericolosità/rischio da frana è argomento da tempo affrontato, in Italia e all'estero, dalla Comunità scientifica (CANUTI & CASAGLI, 1996) sotto la spinta di esigenze generali legate a problemi di pianificazione territoriale, di protezione civile e di adempimenti legislativi da parte degli Enti territoriali.

In questo senso l'emergenza-frane sorta in Campania nel 1997-98 ha esaltato la rilevanza pratica e scientifica dell'argomento. Essa ha, di fatto, indotto una forte accelerazione nell'approfondimen-

^(*) Lavoro stampato con fondi di ricerca dipartimentale (resp. Prof. R. de Riso).

⁽¹⁾ Sezione di Geologia Applicata, Dipartimento di Ingegneria Geotecnica, Università di Napoli «Federico II».

⁽²⁾ Geologo, collaboratore esterno.

⁽³⁾ Autorità di Bacino Nord-Occidentale della Campania.

to degli approcci metodologici ed in particolare di quei due grandi «filoni» che, partendo da livelli di informazione di base comuni (geologico-stratigrafico, geomorfologico-strutturale, idrogeologico) pervengono, poi, ad elaborati di sintesi per via qualitativa oppure attraverso analisi di tipo statistico o semiquantitativo.

La dorsale carbonatica dei M. ti Lattari e l'area flegrea continentale e insulare, in quanto rappresentative di contesti geologici più volte interessati da frane di notevole «intensità» (frane da «colata rapida» in terreni piroclastici sciolti e frane da crollo in roccia), sono state oggetto di studi dettagliati già in sede di PRIN 98, poi durante le attività promosse dal CNR-GNDCI/Dip. Protezione Civile (a seguito dell'Ordinanza Regione Campania n. 2787 del 21/05/98 e successive) e da Enti territoriali (Comune di Napoli, Autorità di Bacino Nord-Occidentale della Campania, del Sarno e del Destra Sele) attraverso convenzioni stipulate con centri di ricerca universitari (C.U.G.Ri. Salerno, C.U.G.Ri. Napoli). Uno degli scriventi (R. de Riso) ha avuto modo, assieme ai suoi più stretti collaboratori (D. Calcaterra, A. Santo), di partecipare come responsabile scientifico a tutta questa serie di attività e di pervenire, pertanto, alla esemplificazione di Carte di suscettibilità da frana (e del rischio da frana) nelle quali, seguendo i due approcci indicati, lo stesso territorio studiato viene suddiviso in sub-zone omogenee dal punto di vista:

a) morfoevolutivo e/o strutturale-geomeccanico e delle tipologie di frana (criterio euristico);

b) della probabilità di occorrenza (in senso spaziale) di eventi distinti per tipologie (criterio statistico).

Nel presente lavoro, coordinato da R. de Riso con la stretta collaborazione di D. Calcaterra e A. Santo, si illustrano e si confrontano i risultati ottenuti con i due diversi approcci. Il testo è frutto di un lavoro congiunto dei vari autori, e tuttavia con livelli di partecipazione diretta e preminente da parte di A. Santo, G. Di Crescenzo, B. Palma (§ 2.1); P. Budetta e C. De Luca (§ 2.2); R. Mele e S. Del Prete (§ 3.1), D. Calcaterra, P.M. Guarino, B. Palma (§ 3.2). D. Sgambati ha curato gli aspetti connessi alla informatizzazione degli elaborati cartografici delle Tavv. 1 e 2.

2. LE DORSALI CARBONATICHE

2.1. M. Pendolo, versante di Gragnano

2.1.1. Assetto geologico e morfostrutturale (Tav. 1 f.t.)

Il Monte Pendolo occupa parte del settore centro-settentrionale dell'unità morfostrutturale della Peni-

sola Sorrentina-Monti Lattari (in territorio dell'Autorità di Bacino del Sarno e del Destra Sele), orientata in senso trasversale rispetto alla catena appenninica e costituita, prevalentemente, da rocce calcaree e calcareo-dolomitiche d'età mesozoica (fig. 1).

Tale unità costituisce una delle numerose strutture monocliniche, tipiche dei massicci carbonatici campani (BONARDI et al., 1988; AUCELLI et al., 1996), individuati a seguito di importanti faglie regionali plio-quaternarie e caratterizzate generalmente da elevata energia di rilievo, con dislivelli dell'ordine di 1000-1500 m.

Nello specifico, la successione stratigrafica che caratterizza il Monte Pendolo, procedendo dal basso, può essere così suddivisa:

a) *Calcarei di Meta* (Unità dei Monti Lattari) costituiti da calcari e calcari dolomitici cretaci, ricchi in Rudiste, di colore grigio, biancastro ed avana. Essi sono disposti in strati e banchi, mediamente fratturati e carsificati, immergenti per lo più verso SW, con valori medi dell'inclinazione di 20-30°. Costituiscono l'ossatura del M. Pendolo.

b) *Brecce di versante antiche* costituite da clasti calcarei, per lo più spigolosi, di dimensioni centimetriche, spesso cementate, da associare alle fasi erosive che hanno modellato i versanti calcarei durante le prime fasi di sollevamento del rilievo nel Plio-Quaternario.

c) *Depositi di conoidi antichi* costituiti da ghiaie calcaree e dolomitiche in matrice sabbiosa, debolmente cementate e con locali intercalazioni di livelli cineritici. Si sono accresciuti durante il Pleistocene medio-superiore ed affiorano prevalentemente nelle zone di fondovalle.

d) *Formazione dell'Ignimbrite Campana* costituita, alla base, da alcuni decimetri di pomice da

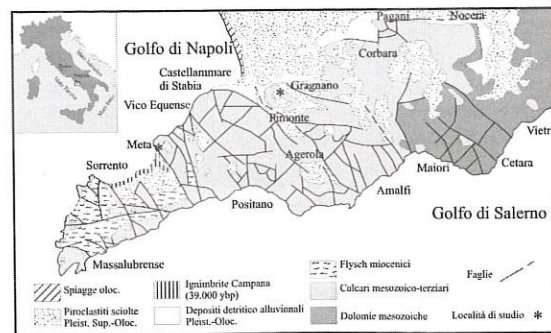


Figura 1. Schema geologico della Penisola Sorrentina-Monti Lattari.

Figure 1. Geological sketch of the Sorrento Peninsula-Lattari Mts.

caduta che fanno passaggio a circa 20 m di depositi da flusso piroclastico a grado di litificazione variabile e di colore da grigio a giallastro (Tufo Grigio Campano di età pari a circa 39.000 anni, DEINO et al., 1994).

e) *Depositi di conoidi recenti* alimentati anche da colate detritico-fangose e costituiti da cineriti rimaneggiate con lenti e livelli di pomice e di ghiaia calcarea (Pleistocene sup.-Olocene). Sono presenti allo sbocco, in pianura, delle principali aste vallive.

f) *Depositi piroclastici dell'eruzione del 79 d.C.* costituiti da alcuni decimetri di pomice bianche e cineriti spesso pedogenizzate. Ricoprono costantemente sia i versanti calcarei che le aree di pianura con spessori variabili da pochi decimetri a 1-2 m.

g) *Depositi detritico-colluviali* nei quali si rinvenivano livelli di pomice rimaneggiate (da riferire prevalentemente all'eruzione del 79 d.C.) e paleosuoli.

h) *Depositi alluvionali* costituiti da sabbie fini con lenti e livelli di pomice rimaneggiate e di ghiaia calcarea (Olocene). Per lo più presenti lungo l'alveo Gragnano.

Le aree di versante

I sollevamenti tettonici plio-quaternari del margine tirrenico campano e le variazioni tardo-pleistoceniche del livello del mare hanno determinato la formazione di un paesaggio molto articolato, modellato da ripetute fasi di erosione. Le unità morfologiche più significative sono rappresentate da versanti strutturali ad alta energia di rilievo sui quali si riconoscono, localmente, lembi relitti di paleosuperfici conservati a quote diverse.

Il versante di faglia settentrionale del M. Pendolo, evoluto secondo il modello di «slope replacement», presenta un profilo rettilineo-concavo con alti valori d'acclività, per lo più compresi tra 30° e 35° (fig. 2). Nella parte alta, prossima allo spartiacque, si rinvenivano piccole pareti sub-verticali che seguono banchi di strato meno erodibili e quindi da imputare a morfoselezione.

La dissezione del complesso carbonatico operata dalle faglie e l'elevata energia di rilievo hanno favorito l'organizzazione di un reticolo idrografico a regime torrentizio. Si tratta di impluvi effimeri, a basso ordine gerarchico (I e II ordine), in genere poco incisi e caratterizzati, a monte, da testate a ventaglio poco sviluppate. Verso valle i corsi d'acqua hanno formato piccoli conoidi di deiezione accresciuti per fenomeni di trasporto solido, laminare e, talora, frane.

Altre forme significative e prevalentemente d'ac-

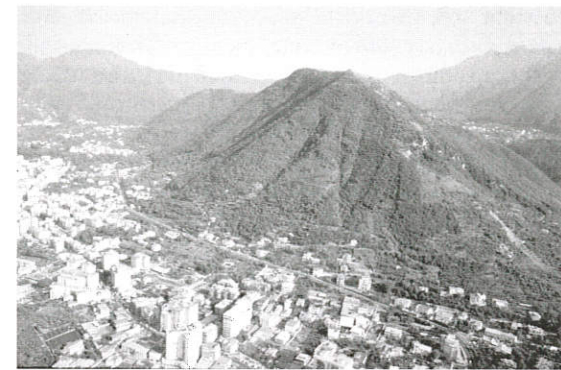


Figura 2. Il ripido versante settentrionale di M. Pendolo interessato negli ultimi secoli da numerose frane da colata rapida di fango.

Figure 2. The steep northern slope of Mt. Pendolo, where in the last centuries several slides-flows took place.

cumulo sono conservate lungo la fascia pedecollinare e marcano il raccordo morfologico tra il versante e la Piana.

La piana

Costituisce un'area a debole pendenza che si sviluppa a quote comprese tra i 60 e i pochi metri s.l.m.. La sua aggradazione è legata alle diverse fasi di trasporto solido e deposizione dei torrenti alimentati dal margine meridionale dei Monti Lattari e dalla messa in posto dei prodotti dell'importante evento eruttivo dell'Ignimbrite Campana (39.000 anni b.p.).

Nell'area di pianura durante il Pleistocene medio-sup. si sono generati due ordini di conoidi dei quali il più antico, fortemente re-inciso, rappresenta la porzione terminale di antiche falde detritico-alluvionali che occupano gran parte della «Sella di Pimonte». Il conoide è costituito prevalentemente da conglomerati ed elementi calcarei grossolani e ben cementati. Il secondo ordine risulta «incastrato» nel primo: anch'esso è re-inciso e terrazzato, ma è costituito da materiale alluvionale e detritico-piroclastico da sciolto a debolmente cementato. Quest'ultimo ordine di conoidi occupa gran parte della piana di Gragnano e presenta limiti morfologici (soprattutto laterali) non sempre ben riconoscibili a causa delle modificazioni indotte dall'alta densità degli insediamenti urbani.

2.1.2. Lineamenti idrogeologici

Il rilievo carbonatico di M. te Pendolo fa parte del più ampio sistema orografico dei M. ti Lattari e presenta una permeabilità complessiva elevata. L'assenza di intercalazioni meno permeabili nella suc-

cessione calcarea contribuisce all'alimentazione di una falda di base che ha recapito, in profondità, verso i depositi detritico-alluvionali della piana. La superficie piezometrica si livella a pochi metri sul livello del mare come testimoniato da diversi pozzi utilizzati per scopo irriguo nella piana (PISCOPO et al., 1994).

Sul versante settentrionale di M.te Pendolo è stata individuata una sola sorgente; si tratta di una piccola scaturigine presente in località Sigliano nel Comune di Gragnano, localizzata a circa 145 m s.l.m. e legata, verosimilmente, ad un limite di permeabilità presente nell'ambito dei depositi detritici pedemontani.

Con questo assetto idrogeologico è possibile ritenere del tutto ininfluenti, sulla stabilità dei versanti, sia la circolazione idrica profonda (in quanto la piezometrica è a quote decisamente più basse del piano topografico) sia le acque liberate dalla modesta falda presente in località Sigliano. Si segnala tuttavia che non sono state effettuate analisi accurate per verificare la presenza di sorgenti effimere di alta quota, che potrebbero essere testimonianza di una circolazione idrica sub-superficiale (nei calcari e/o nei terreni piroclastici) in periodi particolarmente piovosi.

2.1.3. Le coltri piroclastiche (Tav. 1 f.t.)

Le eruzioni esplosive dei distretti vulcanici flegreo-vesuviano e del Somma-Vesuvio hanno generato ingenti volumi di prodotti piroclastici da caduta che, in relazione alla *magnitudo* dell'eruzione ed ai venti dominanti, hanno mantellato anche i versanti della Penisola-Sorrentina (fig. 3). Tali depositi sono costituiti da ceneri sabbioso-limose all'interno delle quali si rinviene un livello di pomici bianche da riferire all'eruzione vesuviana del 79 d.C.. Nel presupposto che lo spessore di tali depositi costituisca (assieme alle loro proprietà geotecniche) un utile elemento di riferimento in vista della definizione degli scenari di suscettibilità, si sono predefinite le seguenti quattro classi di spessore (vedi didascalie in Tav. 1 f.t.):

- Classe A: < 0.50 m
- Classe B: 0.50 ÷ 2.00 m
- Classe C: 2.00 ÷ 5.00 m
- Classe D: 5.00 ÷ 20.00 m

I terreni della *classe A* si rinvenivano, con una certa continuità, lungo la superficie sommitale del Monte Pendolo, mentre lungo i settori medio-alti del versante sono discontinui e subordinati alle coltri di *classe B* che domina questo settore del versante. Parte della fascia del versante che segna il raccordo con la piana è essenzialmente occupata dai terreni di

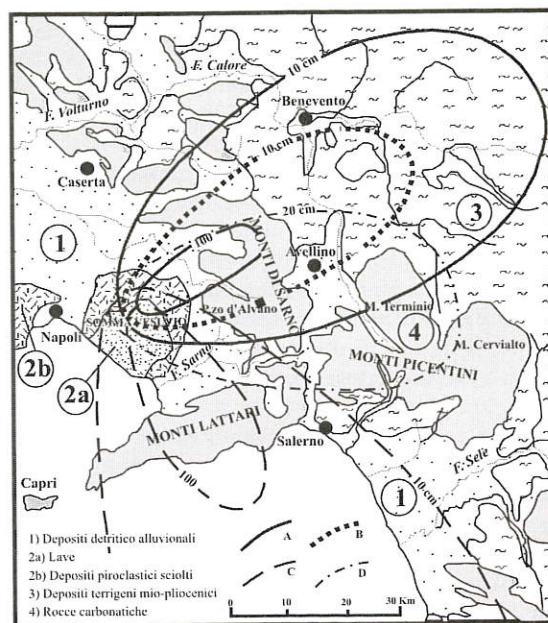


Figura 3. Isopache delle piroclastiti riferite alle eruzioni vesuviane di 3760 anni dal presente (A), del 79 d.C. (C), del 472 d.C. (B) e di 8000 anni dal presente (D) (Esposito & Guadagno, 1998 mod.).

Figure 3. Isopach lines of the pyroclastic deposits of Vesuvian eruption of 3760 y.B.P. (A), A.D. 79, A.D. 472 and 8000 y.B.P. eruptions (D) (Esposito & Guadagno, 1998 mod.).

cui spessori sono da riferire alla *classe C*. La *classe D* è presente invece nell'area di piana ed in parte della fascia di raccordo con il rilievo.

2.1.4. Tipologia dei fenomeni franosi

Ricerche storiche e bibliografiche (DI CRESCENZO & SANTO, 1999; MELE & DEL PRETE, 1999; SANTO et al., 2002), oltre che osservazioni geomorfologiche, hanno permesso di ricostruire ed ubicare un gran numero di frane storiche che hanno causato danni e vittime al centro abitato di Gragnano (vedi stralcio geomorfologico di Tav. 1). Le tipologie prevalenti sono gli scorrimenti traslativi e gli scorrimenti-colata.

Tra gli eventi recenti più rilevanti per danni prodotti e dimensioni, si segnalano:

a) le due frane verificatesi nel 1997 lungo il versante occidentale del M.te Pendolo, una delle quali travolse un grosso capannone provocando la morte di una trentina di capi di bestiame (fig. 4);

b) la frana del 1971 che interessò la stessa porzione di versante del punto a) e travolse parte del-



Figura 4. Le due frane del gennaio 1997 sul versante occidentale del M. Pendolo.

Figure 4. January 1997 landslides along the western slope of Mt. Pendolo.

l'Hotel La Selva, un attiguo villino e la strada Gragnano-Castellammare provocando la morte di 6 persone (DE RISO & NOTA D'ELOGIO, 1973);

c) nel 1963 un evento pluviometrico eccezionale (662,5 mm di pioggia in diciotto giorni, MELE & DEL PRETE, 1999) causò l'innescò di molte frane, una delle quali invase il centro del paese arrecando danni alla Via Nastro ed a vari negozi (altre frane interessarono il Comune di Pimonte in località Scalese).

Tra le frane storiche, invece, si ricordano:

a) la frana del 1764 che si incanalò in una delle incisioni poste nella parte centrale del versante nord di M. Pendolo (MELE & DEL PRETE, 1999). Essa provocò 40 vittime e danni al rione Bagnulo (RANIERI, 1841);

b) nel 1841, durante un evento piovoso particolarmente intenso, il versante settentrionale del M. Pendolo fu interessato da almeno tre frane di grandi dimensioni (MONTELLA, 1841; RANIERI, 1841; MELE & DEL PRETE, 1999). Esse si canalizzarono in alcuni impluvi evolvendo in colate fangose e provocando la distruzione del Rione Trivioncello (oltre 100 vittime), del Molino delle Capre (3 vittime) e della strada «Salzano».

Sono stati, inoltre, acquisiti dati relativi ai danni arrecati a diverse zone del centro abitato di Gragnano in località Conciaria e alla Parrocchia del Trivione da frane verificatesi, rispettivamente, nel 1540 e nel 1741 (MIGALE & MILONE, 1998). L'impronta di tali eventi non è stata cartografata per mancanza di indicazioni sicure relative alle zone di distacco e transito.

Nella gran parte dei casi studiati si è potuto verificare che l'innescò è avvenuto nell'ambito delle porzioni superficiali della coltre piroclastica (primi 2 metri), che i volumi massimi mobilitati sono stati

dell'ordine di alcune decine di migliaia di m³ e che le distanze percorse sono state notevoli (confr. Carta geomorfologica di Tav. 1).

2.1.5. Scenari di suscettibilità (Tav. 1 f.t.)

La ricerca d'archivio e da fonti bibliografiche e le osservazioni geomorfologiche dirette hanno consentito, come illustrato in precedenza, di reperire dati su eventi franosi che hanno interessato, in tempi storici e recenti, il versante settentrionale del M.te Pendolo. Si è potuto, pertanto, procedere alla rappresentazione cartografica delle frane delimitando i settori di innescò-scorrimento e, talora, quelli di accumulo. L'insieme delle informazioni contenute nella Carta-inventario delle frane e nella Carta geologica e delle coperture piroclastiche evidenziano che le aree di innescò ricadono nelle classi di spessore di *classe A* e *B* (con frequenza maggiore in *classe B*). Ne deriva che i settori di versante interessati da coltri piroclastiche con spessore inferiore ai due metri e con acclività maggiori di 28° sono da considerare più suscettibili all'innescò di frane da scorrimento e scorrimento-colata rapida.

Procedendo ad un confronto incrociato delle varie carte geotematiche si è valutata l'influenza di altri «elementi» ritenuti significativi ai fini dell'analisi dei meccanismi di innescò e delle modalità di propagazione verso valle dei materiali franati (scarpare, anomalie del reticolo idrografico, conoidi, etc.).

Nell'elaborato di sintesi, «Carta della suscettibilità», che ne è scaturito, sono state così individuate le aree suscettibili a fenomeni di innescò e di transito di frane, le aree suscettibili all'invasione ed accumulo, ed infine quei settori potenzialmente soggetti a fenomeni di trasporto solido e sovralluvionamento.

In particolare sono state cartografate (Tav. 1 f.t.):

– *Zone suscettibili all'innescò di frane da colata rapida di fango e/o frane da scorrimento/crollo.* Sono rappresentate dai settori di versante calcareo con spessori della coltre piroclastica inferiore ai due metri (Classe A e B) con l'esclusione delle aree a debole acclività (minore di 28°) delle superfici sommitali, dei ripiani intermedi. Sono settori ove si sono già innescate, in passato, frane da colata rapida (incanalate e non) anche di notevoli dimensioni descritte in precedenza.

– *Zone suscettibili all'innescò di frane da crollo in calcari.* Sono rappresentate da aree, di limitata estensione, localizzate in corrispondenza di cornici e scarpate di morfoselezione per lo più localizzate nei settori prossimi allo spartiacque del M. Pendolo. Gli eventuali inneschi dovrebbero coinvolgere volumetrie limitate (pochi metri cubi) e non interessare

direttamente il centro abitato. Tuttavia, eventuali crolli in roccia potrebbero innescare frane da colata rapida in particolari condizioni di saturazione delle piroclastiti dei versanti a valle (come già avvenuto sul Monte S. Costanzo in Penisola Sorrentina: frana di Mitigliano del 1973).

– *Zone suscettibili all'innescamento di frane da scorrimento/crollo in materiale detritico e detritico-piroclastico.* Queste aree ricadono lungo le incisioni dei principali corsi d'acqua (Rio Gragnano). L'approfondimento delle aste vallive nei depositi detritico-piroclastici ha generato scarpate con altezze talora superiori ai 50 m e con acclività molto elevate (generalmente ben maggiori di 45°). Su di queste si sono attivate numerose frane da scorrimento o da crollo, che hanno coinvolto volumi dell'ordine delle decine di metri cubi.

– *Zone suscettibili prevalentemente all'invasione di frane da colata rapida di fango e, subordinatamente, all'innescamento di frane da scorrimento/crollo di limitate dimensioni.* In questi ambiti rientrano le potenziali aree di accumulo di corpi di frana da colata rapida.

Per la delimitazione dell'areale si è preso come riferimento, per il settore di monte, la prima rottura di pendenza localizzata alla base del versante e riconosciuta in funzione delle caratteristiche topografiche, deposizionali (cumuli di frane, materiali di conoide e colluviali) e geomorfologiche (settori apicali di conoidi).

Il limite inferiore è stato invece identificato analizzando i parametri morfometrici di numerose frane

che hanno interessato la Penisola Sorrentina, compreso, ovviamente, il M.te Pendolo. I dati acquisiti hanno evidenziato l'esistenza di una proporzionalità diretta tra il dislivello H, calcolato tra la zona di innescamento delle frane e la prima rottura di pendenza alla base del versante, e la lunghezza L del cumulo di frana (DI CRESCENZO & SANTO, 1999).

Più in particolare, distinguendo le frane da colata rapida incanalate da quelle che si propagano su versanti planari sono stati calcolati, per il primo caso, valori medi delle lunghezze dei cumuli $L > 1,4 \cdot H$. Per le frane innescatesi sui versanti planari è risultato, invece, $L = 0,9 \cdot H$.

Il limite inferiore della zona d'invasione è stato dunque definito tenendo conto, innanzitutto, delle informazioni derivanti dalla carta geomorfologica (che differenzia i settori di versante «regolari» da quelli in cui le frane si possono canalizzare); quindi su ciascuno di tali settori sono stati tracciati vari profili topografici e si è adottato il procedimento grafico raffigurato in fig. 5, in cui il valore di L è stato ricavato utilizzando nei vari casi il fattore di moltiplicazione 1,4 o 0,9.

Sulla Carta di Suscettibilità sono stati tracciati anche il probabile limite di massima invasione delle frane storiche dedotto dalle segnalazioni dei danni così come riportati in bibliografia ed il limite morfologico delle conoidi storiche o recenti.

Con tale operazione si è voluto verificare il grado di attendibilità del metodo grafico utilizzato per ricostruire la linea di massima invasione. E in effetti si è potuto individuare un settore ove i dati storici,

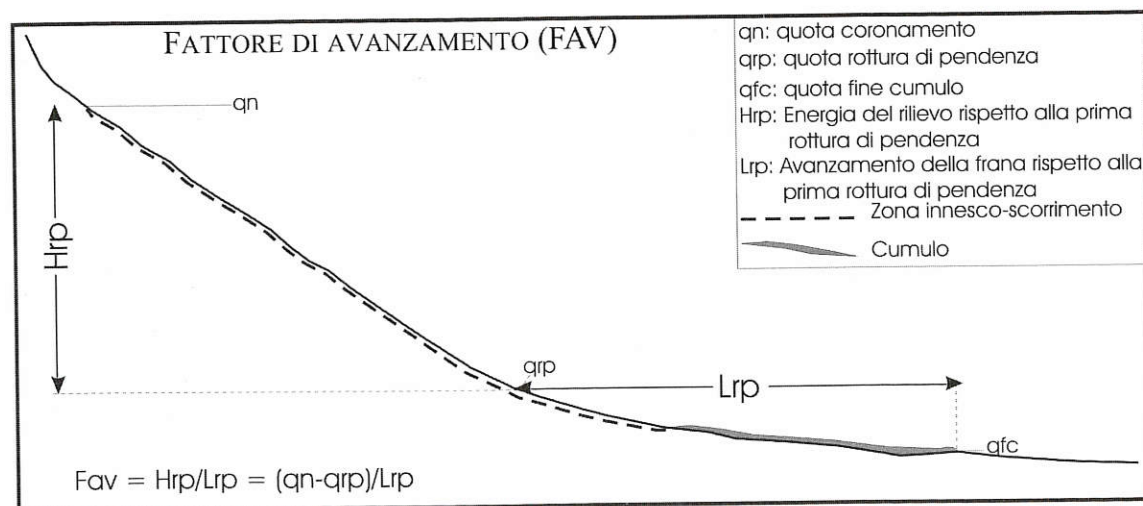


Figura 5. Rappresentazione schematica del Fav (Fattore di avanzamento).
Figure 5. Scheme of Fav (Advancing Factor).

geomorfologici e morfometrici non coincidono e dove pertanto risultano necessari ulteriori approfondimenti, mediante trincee e/o sondaggi, sui caratteri sedimentologici dei depositi che costituiscono tale areale.

A complemento delle informazioni utili in termini di eventi «pericolosi» (frane, trasporto solido, esondazioni) sono stati cartografati vari punti di crisi indotti dalla struttura dell'urbanizzato e/o da particolarità del reticolo idrografico.

Situazione singolare è offerta, infine, da una grande dolina di collasso presente nel settore NW del M. Pendolo, della quale non si conosce l'età, ma che ha caratteristiche morfologiche analoghe ad altre già segnalate in Penisola Sorrentina (BUDETTA et al., 1996; SANTO & TUCCIMEI, 1997).

2.2. La dorsale di Meta di Sorrento

2.2.1. Assetto geologico e morfostrutturale

Questo settore della Penisola sorrentina, compreso tra Punta Gradelle e Monte Crocione (Tav. 1 f.t.), ricade lungo il margine settentrionale del *graben* di Sorrento (fig. 1) ed è caratterizzato dall'affioramento di calcari a Rudiste del Cretaceo superiore, riferibili all'Unità Monti Lattari-Monti Picentini (BONARDI et al., 1988), e da depositi detritico-piroclastici quaternari, sia in giacitura primaria (Ignimbrite Campana) che in forma di conoidi alluvionali. Questi ultimi costituiscono una fascia pressoché continua di raccordo tra i versanti carbonatici, a più elevata pendenza, e la sottostante piana ove è ubicato l'abitato di Meta di Sorrento.

L'impianto geomorfologico dell'area è condizionato dalla presenza di un unico, esteso versante di faglia soggetto a fenomeni di arretramento secondo meccanismi prevalenti di recessione rettilineo-parallela, nonché dall'esistenza di lembi relitti sommitali di antiche superfici d'erosione, a più debole pendenza. Il quadro morfologico generale è infine completato dalla presenza di alcune cave dismesse, a loro volta caratterizzate da fronti di scavo di notevole altezza, quasi subverticali.

2.2.2. Tipologie di frana

Le evidenze geomorfologiche relative ai fenomeni d'instabilità sono soprattutto riconducibili a crolli, sia primari che secondari, che si concentrano lungo i numerosi costoni calcarei, appartenenti all'esteso versante di faglia compreso tra Punta Gradelle e Monte Crocione. Tali costoni, che in taluni casi si identificano con i fronti di cava dismessi, nel loro insieme si presentano con orientazioni appenniniche e spesso sono controllati strutturalmente da lineazioni

tettoniche (vedi Tav. 1 f.t.). Essi sono caratterizzati da pareti subverticali con altezze variabili fino ad un massimo di alcune decine di metri, a luoghi articolate ed interessate da una fratturazione con orientazione variabile e generalmente molto persistente.

Le osservazioni morfostrutturali hanno altresì evidenziato: frequenti superfici di distacco recenti, presenza di fratture beanti, associate ad effetti di decompressione degli ammassi (talora imputabili anche all'azione divaricante degli apparati radicali) e masse isolate in precarie condizioni d'equilibrio; cavità di vario genere (sia di origine antropica che di origine carsica), zone aggettanti e rientranze cuneiformi (all'intersezione di fratture), superfici di strato a vista e fratture subverticali parallele ai fronti (vedi Tav. 1 f.t.).

2.2.3. L'approccio geomeccanico

Il rilevamento geomorfologico ha permesso di individuare 28 fronti, scelti anche in base a considerazioni logistiche e di accessibilità dei luoghi, la maggior parte dei quali distribuiti lungo l'intero versante di faglia. Su questi fronti sono stati effettuati rilievi geostutturali e geomeccanici di dettaglio, secondo le norme I.S.R.M. (1978), finalizzati alla valutazione quantitativa della suscettibilità ai crolli, mediante una caratterizzazione geomeccanica e successiva zonazione dei versanti indagati. A tale scopo, definite preliminarmente le diverse «zone di omogeneità strutturale», si è provveduto a sottoporre i dati geostutturali ad analisi *cluster* per definire le principali famiglie di giunti tettonici presenti (vedi proiezioni stereografiche di Tav. 1 f.t.).

Per la valutazione della suscettibilità ai crolli dai pendii e fronti di scavo studiati, è stato adottato il metodo di ROMANA (1985, 1991) basato sull'utilizzo dell'indice *Slope Mass Rating* (SMR). Inoltre, per tener conto di quanto proposto da HOEK & BROWN (1980, 1997) relativamente all'utilizzo del cosiddetto «criterio di rottura», sono state introdotte alcune modifiche al metodo originale. Tale approccio, come meglio precisato nel prosieguo, ha consentito di ricavare più agevolmente i valori di *Rock Mass Rating* (RMR) di BIENIAWSKI (1979, 1989), che concorrono al calcolo dell'SMR. Si è in tal modo realizzato un accettabile compromesso tra le esigenze di rigore metodologico proprie della Geomeccanica applicata ai pendii e fronti di scavo e la necessità di dover esprimere, in tempi brevi e per aree estese, una valutazione affidabile sulla suscettibilità all'innescamento dei crolli.

Per il calcolo dell'SMR di ROMANA (1991), si è utilizzata la nota espressione:

$$SMR = RMR + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4 \quad (1)$$

dove: RMR è il *Rock Mass Rating* di base; F_1 riflette il parallelismo tra la direzione delle discontinuità e quella media del pendio; F_2 valuta l'influenza dovuta all'inclinazione della discontinuità; F_3 valuta la relazione esistente tra l'inclinazione della discontinuità e quella del pendio; F_4 tiene conto, nel caso di fronti di scavo, del metodo di abbattimento della roccia (esplosivi o mezzi meccanici). I valori degli indici fattoriali F_1 , F_2 ed F_3 sono ricavabili da opportune espressioni analitiche che correlano la geometria del fronte all'orientazione delle diverse famiglie di discontinuità (tab. 1).

L'RMR è stato calcolato secondo BIENIAWSKI (1989), adottando il *rating* più idoneo per i 5 parametri caratterizzanti l'ammasso roccioso (resistenza monoassiale della roccia intatta, RQD dell'ammasso, spaziatura delle discontinuità, condizioni delle discontinuità, circolazione idrica). Si precisa che l'RMR utilizzato è quello definito «di base», cioè quello ottenuto senza operare alcuna correzione derivante dalle possibili applicazioni alle gallerie, alle fondazioni o ai pendii. Esso varia tra 0 e 100 e comporta una suddivisione dell'ammasso in cinque classi (tab. 2).

Al fine di ovviare alle ben note difficoltà connesse alla determinazione dell'RMR (in particolare per la definizione del parametro RQD per il quale occorre stabilire, contemporaneamente, anche la spaziatura dei vari sistemi di discontinuità, PALMSTRØM, 1995),

è stato utilizzato il «criterio di rottura» di HOEK e BROWN (1980, 1997) e HOEK et al. (1992). Esso, nella forma più generale può scriversi come:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c [m_b * (\sigma'_3/\sigma_c) + \sigma]^a \quad (2)$$

dove: σ'_1 è la sollecitazione principale massima a rottura; σ'_3 è la sollecitazione principale minima; σ_c è la resistenza a compressione monoassiale della matrice rocciosa; m_b , s ed a sono costanti che dipendono dalle caratteristiche intrinseche dell'ammasso. Per l'applicazione di tale criterio, HOEK e BROWN, (1997) hanno introdotto l'indice *Geological Strength Index* (GSI) che fornisce una stima della riduzione di resistenza in relazione alle possibili, differenti condizioni geostretturali delle rocce e delle superfici di discontinuità che le interessano; si rende quindi possibile una suddivisione degli ammassi in 20 classi di qualità (tab. 3).

Secondo quanto suggerito da HOEK (1995), per il calcolo del GSI si è adottata la versione 1989 della classificazione di Bieniawski (Bieniawski, 1989). Si ha quindi, posto $RMR_{89} > 25$ (HOEK, 1995):

$$GSI = RMR_{89} - 5 \quad (3)$$

La limitazione $RMR_{89} > 25$ è dovuta al fatto che, nel caso di ammassi di qualità «molto scadente» ricadenti in classe V, il valore di RMR è di difficile determinazione e pertanto la correlazione (3) perde di significato (HOEK, 1995).

Tabella 1. Valori degli indici fattoriali F_1 , F_2 ed F_3 . Legenda: P = rottura planare; T = ribaltamento; α_j = azimuth d'immersione della discontinuità; α_s = azimuth d'immersione del pendio; β_j = inclinazione della discontinuità; β_s = inclinazione del pendio (da ROMANA, 1991 mod.).

Table 1. Value of factorial index F_1 , F_2 , F_3 . P = plane failure; T = toppling; α_j = azimuth of discontinuity; α_s = azimuth of slope; β_j = bending of discontinuity; β_s = bending of slope (ROMANA, 1991 mod.).

Tipologia	Molto favorevole	Favorevole	Indifferente	Sfavorevole	Molto sfavorevole
P ($\alpha_j - \alpha_s$)	$> 30^\circ$	$30^\circ \div 20^\circ$	$20^\circ \div 10^\circ$	$10^\circ \div 5^\circ$	$< 5^\circ$
T($(\alpha_j - \alpha_s) - 180^\circ$) (P & T) F_1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
P (β_j) P F_2 T F_2	$< 20^\circ$ 0,15 1,00	$20^\circ \div 30^\circ$ 0,40 1,00	$30^\circ \div 35^\circ$ 0,70 1,00	$35^\circ \div 45^\circ$ 0,85 1,00	$> 45^\circ$ 1,00 1,00
P ($\beta_j - \beta_s$) T ($\beta_j + \beta_s$)	$> 10^\circ$ $< 110^\circ$	$10^\circ \div 0^\circ$ $110^\circ \div 120^\circ$	0° $> 120^\circ$	$0^\circ \div -10^\circ$ -	$< -10^\circ$ -
(P & T) F_3	0	-6	-25	-50	-60

Tabella 2. Classificazione della qualità dell'ammasso in base all'indice RMR (da BIENIAWSKI, 1989).
Table 2. Quality rock mass classification on the basis of RMR index (BIENIAWSKI, 1989).

Punteggio	< 21	21-40	41-60	61-80	81-100
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Molto scadente	Scadente	Mediocre	Buono	Molto buono

Tabella 3. Suddivisione degli ammassi in classi di qualità, sulla base della struttura e delle condizioni delle discontinuità (da HOEK, 1995, mod.). I valori numerici corrispondono al valore medio dell'indice GSI per ogni specifica classe. Per le classi ricadenti nel settore campito della tabella, la correlazione tra GSI ed RMR non è applicabile.

Table 3. Characterisation of rock masses on the basis of structure and joint condition (after HOEK, 1995 mod.). The numbers correspond to the mean value of GSI Index for the various classes. The correlation between GSI and RMR has no weight in rock mass categories placed below the straight line.

Classificazione degli ammassi in base alla descrizione della loro struttura (nelle righe) ed alle condizioni delle superfici di discontinuità (nelle colonne), con individuazione del valore medio dell'indice GSI (<i>Geological Strength Index</i>) secondo Hoek & Brown (1995)	MOLTO BUONE: superfici di discontinuità inalterate e molto scabre (VG)	BUONE: superfici di discontinuità debolmente alterate, ossidate e scabre (G)	MEDIOCRE: superfici di discontinuità moderatamente alterate e lisce (F)	SCADENTI: superfici di discontinuità molto alterate, levigate, rivestite da materiale resistente o con riempimento (P) sabbioso	MOLTO SCADENTI: superfici di discontinuità molto alterate, levigate, con riempimento o riempimento argilloso (VP)
A BLOCCHI: ammasso indisturbato formato da blocchi cubici molto ben collegati ed individuati da tre sistemi di discontinuità ortogonali (B)	B/VG 85	B/G 75	B/F 62	B/P 48	B/VP 34
CON NUMEROSI BLOCCHI: ammasso parzialmente disturbato formato da blocchi poliedrici collegati ed individuati da quattro o più sistemi di discontinuità (VB)	VB/VG 75	VB/G 65	VB/F 48	VB/P 38	VB/VP 25
A BLOCCHI/DISTURBATO: ammasso con pieghe e/o tettonizzato formato da blocchi angolari individuati da numerosi sistemi di discontinuità (BD)	BD/VG 60	BD/G 50	BD/F 40	BD/P 30	BD/VP (20)
CATACLASTICO: ammasso fortemente fratturato formato da frammenti angolari ed arrotondati scarsamente collegati (D)	D/VG 50	D/G 40	D/F 30	D/P (20)	D/VP (10)

Una volta calcolato l'indice RMR e ricavati mediante il rilevamento geostrutturale gli altri fattori che compaiono nell'espressione (1), sono stati ottenuti i più idonei valori di SMR per i 28 pendii e fronti di scavo studiati (Tav. 1 f.t.).

La classificazione è stata applicata a ciascun sistema di discontinuità presente nell'ammasso ed il valore minimo di SMR calcolato è stato attribuito all'intero pendio o fronte di scavo, adottando in tal modo un criterio a favore di sicurezza.

Si precisa infine che non si è tenuto conto dell'eventuale circolazione idrica sotterranea negli ammassi interessati e pertanto, la zonazione dei versanti ha tenuto conto delle sole caratteristiche geomeccaniche e geometriche dei fronti e delle famiglie di discontinuità.

2.2.4. Scenari di suscettibilità

Il calcolo dello *Slope Mass Rating* ha permesso di attribuire ad ogni singolo fronte studiato una specifica classe di stabilità (vedi Tav. 1 f.t.) consentendo di effettuare la zonazione dell'ammasso calcareo in base alla diversa propensione ai crolli. Laddove sono stati analizzati i fronti di cava dismessi, nel calcolo dell'SMR è stato adottato il più appropriato valore dell'indice fattoriale F_4 .

Un esempio di calcolo, relativo al sito di località La Conca (fig. 6 e tab. 4), rende più agevole ed immediata la comprensione dell'approccio utilizzato. A tale sito, posto immediatamente a ridosso della strada statale Sorrentina, è possibile attribuire un valore di GSI pari a 55, con conseguente valore di RMR di 60. Le intersezioni tra le diverse discontinuità rilevate, appartenenti a ben 6 famiglie, individua-

no le potenziali tipologie di crollo che, tenuto conto dell'orientazione del fronte, sono riconducibili a rotture a cuneo (principalmente lungo l'intersezione K2-K3) e scivolamenti planari lungo fratture del sistema K3. Questo sito, sulla base delle considerazioni prima svolte, può essere annoverato nella classe IV di Romana (SMR = 27 relativamente al sistema K3) cui corrispondono «*ammassi instabili con rotture planari lungo molti giunti e/o grandi cunei*».

Applicando tale metodologia, si è potuto osservare una prevalenza delle classi III e IV (SMR compreso tra 60 e 21) per i fronti direttamente incombenenti sulla strada statale Sorrentina e su quella che dall'abitato di Meta conduce alla spiaggia (località La Conca). Un'altra zona, caratterizzata da un'ampia diffusione della III e IV classe, è quella coincidente con il tratto del versante sudoccidentale di M. Crocione che insiste sulle località Casa Lauro e Casa Starita.

Il confronto del comportamento attuale dei pendii e fronti di scavo studiati con quello predetto dalla classifica dimostra che il metodo di indicizzazione utilizzato tende a sovrastimare, anche se in maniera non eccessivamente penalizzante, il grado di instabilità degli ammassi. Questa tendenza può essere imputata ai valori medio-alti (variabili tra -25 e -60) attribuiti al fattore F_3 per i casi dall'«*indifferente*» al «*molto sfavorevole*» e derivati direttamente dalla classifica di Bieniawski. Inoltre, poiché a favore di sicurezza è stato attribuito all'intero pendio studiato il valore minimo di SMR tra quelli calcolati, ne consegue che anche la presenza di una sola discontinuità, purché venga «a giorno», condiziona il punteggio finale e quindi la classe di stabilità.

Poiché per l'applicazione di questo metodo non si richiede l'acquisizione di numerosi e complessi parametri geomeccanici, esso ben si presta per una stima preliminare della stabilità di aree estese, in previsione di studi analitici di maggior dettaglio.

3. L'AREA FLEGREA INSULARE E CONTINENTALE

3.1. L'Isola di Ischia (versante settentrionale) (Tav. 2 f.t.)

L'isola d'Ischia è ubicata nel settore nord-occidentale del Golfo di Napoli (in territorio dell'Autorità di Bacino Nord-Occidentale della Campania) e costituisce un campo vulcanico la cui attività ha avuto inizio oltre 150.000 anni fa. Sul territorio isolano affiorano principalmente depositi detritici da *debris flow* nei settori centrale, occidentale e settentrionale dell'isola, nonché rocce vulcaniche e sedimentarie di origine marina (fig. 7).

Tabella 4. Esempio di scheda utilizzata per il calcolo dello Slope Mass Rating: p = rottura piana; r = ribaltamento; S = stratificazione; K1...K5 = giunti tettonici.

Table 4. Form used for the Slope Mass Rating computation: p = plane failure; r = toppling; S = bedding planes; K1...K5 = joint sets.

Sito n. 7 Località «La Conca»								
Gsi =	55		RMR =	60				
Dati strutturali								Orientazione versante
	S	K1	K2	K3	K4	K5	F1	V
Azimuth imm. (°)	087	095	049	145	175	043		130
Immersione (°)	5	85	84	66	79	55		89
Fattori F1, F2, F3 di Romana								
F1	0.15	0.15	0.15	0.55	0.15	0.15		
F2 _p	0.15	1	1	1	1	1		
F2 _r	1	1	1	1				
F3 _p	-60	-50	-50	-60	-50	-60		
F3 _r	0	-25	-25	-25	-25	-25		
SMR = 27								

L'evoluzione vulcanica dell'isola, che si è conclusa con l'eruzione dell'Arso del 1302 A.D., è stata suddivisa in cinque fasi raggruppate in due cicli (pre-Tufo Verde > 75.000 anni e post-Tufo Verde < 50.000), intervallati da un periodo di stasi della durata di circa 25.000 anni (CHIESA et al., 1987; VEZZOLI, 1988). Il principale rilievo dell'isola è rappresentato dal Monte Epomeo, che è delimitato da sistemi di faglie bordiere con direzioni prevalenti N-S, NW-SE ed E-W che gli conferiscono una forma poligonale (VEZZOLI, 1988; FUSI et al., 1990; ORSI et al. 1991; ZUPPETTA et al. 1993). Altre due importanti faglie ad andamento regionale orientate NW-SE e NE-SW sono rilevabili rispettivamente nel settore sud-occidentale e sud-orientale dell'isola. In contrapposizione al rilievo di Monte Epomeo, nel settore orientale è presente il *graben* di Ischia sede dell'attività vulcanica recente dell'isola (< 10.000 anni) interpretata come un bacino di *pull-apart* (ZUPPETTA et al., 1993).

Nell'ambito dell'intero territorio isolano il settore settentrionale, seppur nella sua modesta estensione, può essere considerato rappresentativo dei molteplici aspetti connessi alle condizioni di dissesto idrogeologico dell'isola d'Ischia.

3.1.1. Assetto litologico e morfo-strutturale del settore settentrionale

Il settore settentrionale dell'isola d'Ischia, dove

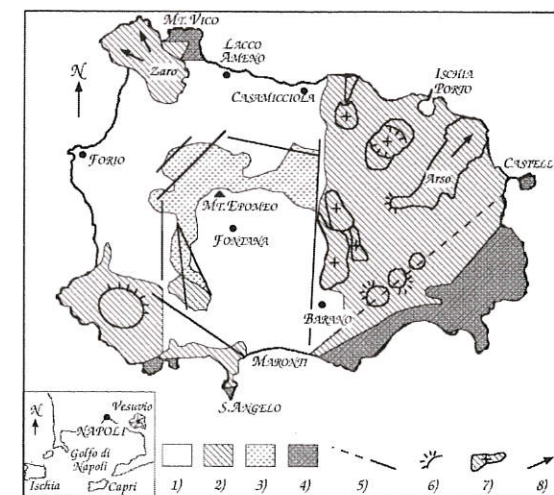


Figura 7. Schema geologico-strutturale dell'isola d'Ischia (da Orsi et al., 1991 mod.). Legenda: 1) *Debris flow*; 2) Vulcaniti post-Tufo Verde; 3) Tufo Verde di M. Epomeo; 4) Vulcaniti pre-Tufo Verde; 5) Faglia; 6) Orlo di cratere; 7) Duomo lavico; 8) Colate laviche di Zaro e dell'Arso.

Figure 7. Geological sketch map of Ischia island (mod. after Orsi et al., 1991). Legend: 1) *Debris-flow*; 2) *Volcanic deposits younger than Green Tuff*; 3) *Mt. Epomeo's Green Tuff*; 4) *Volcanic deposits older than Green Tuff*; 5) *Fault*; 6) *Crater*; 7) *Lava dome*; 8) *Zaro and Arso lava flows*.



Figura 6. Panoramica del versante di Meta di Sorrento in località «La Conca».

Figure 6. General view of the Meta di Sorrento carbonate slope (loc. La Conca).

ricadono i territori comunali di Casamicciola e Lacco Ameno, corrisponde al versante settentrionale di Monte Epomeo.

Le principali unità litostratigrafiche affioranti sono rappresentate da depositi detritici corrispondenti ad accumuli di fenomeni franosi del tipo *debris flow*, connessi all'attività vulcano-tettonica associata alle fasi di surrezione di Monte Epomeo. Essi sono costituiti in prevalenza da clasti di siltite di Colle Jetto, con dimensioni da centimetriche a decimetriche, e subordinatamente di Tufite e di Tufo Verde, immersi in una matrice sabbioso-limosa di colore variabile dal grigiastro all'avana.

Subordinatamente, nelle località di Cava Leccie, Buceto, Ietto e Campomanno affiorano i terreni ascrivibili alla Formazione di Colle Jetto (costituita da un'alternanza di siltiti biancastre con ceneri bianche di origine vulcanica ed arenarie giallognole) ed alle Tufiti di Monte Epomeo (costituite da una matrice siltosa di colore verde e giallastro contenente clasti millimetrici di cristalli di sanidino, pomici e lave).

Il Tufo Verde (età: circa 55.000 anni; VEZZOLI, 1988) costituisce l'ossatura delle creste di San Nicola, Capo dell'Uomo e Punta Jetto (versanti di faglia settentrionali di Monte Epomeo): è un deposito ignimbritico, di natura alcali-trachitica, di colore variabile dal verde smeraldo al verde grigiastro, dotato di struttura massiva e costituito da abbondanti pomici porfiriche e da cristalli principalmente di biotite e alcali-feldspati, immersi in una matrice scarsamente vetrosa. La sua messa in posto fu, probabilmente, accompagnata da un collasso calderico in corrispondenza dell'area che attualmente rappresenta la parte centrale dell'isola (CHIESA et al., 1987; BARRA et al., 1992; ORSI et al., 1996).

L'assetto geomorfologico del settore è chiaramente ereditato dall'origine vulcanica dell'isola, in particolare si osservano vistose «forme» da attività effusiva (crateri, duomi lavici), da fenomeni vulcano-tettonici (pareti sub-verticali di origine strutturale), da deformazioni di versante spesso indotte da eventi sismici (grandi accumuli da antichi *debris flow*, nonché testimonianze di grandi fenomeni di crollo spesso favoriti da intensa fratturazione della roccia o da alterazione della stessa per diffusa attività fumarolica). In particolare è possibile riconoscere tre «ambiti» geomorfologici dotati di caratteri peculiari:

a) *I versanti di faglia* che delimitano verso nord la struttura vulcano-tettonica di Monte Epomeo sono costituiti da creste subverticali impostate nella formazione del Tufo Verde, qui caratterizzata da una

forte alterazione superficiale connessa a processi fisici (esfoliazione) e di alterazione chimica (*case hardening* ed attività fumarolica; MELE & DEL PRETE, 1998). È presente un'intensa fratturazione che contribuisce ad isolare blocchi in precarie condizioni di equilibrio.

b) *Le zone al piede dei versanti di faglia* (angoli di pendio mediamente compresi tra 30° e 50°) e le zone pedemontane pianeggianti o sub-pianeggianti (acclività medie di 15°-20°) sono caratterizzate da forme lobate di estensione anche notevole e molto spesso sovrapposte tra loro. Esse sono riconducibili ad antichi fenomeni di *debris flow* e si possono osservare lungo i versanti di Monte Epomeo (MELE & DEL PRETE, 1998; DEL PRETE & MELE, 1999). Durante la storia geologica dell'isola, eventi di questo tipo hanno interessato ripetutamente i settori settentrionale, occidentale e centro-meridionale, causando importanti modificazioni dell'assetto morfologico del territorio ed influenzando anche la distribuzione geografica degli insediamenti antropici (MONTI, 1980; RITTMANN & GOTTINI, 1980; BUCHNER, 1986; GUADAGNO & MELE, 1995). Documentazioni storiche e dati archeologici (D'ASCIA, 1867; MORGERA, 1890; BARATTA, 1901; MONTI, 1980; BUCHNER, 1986; GIALANELLA, 1994) hanno permesso di datare (MELE & DEL PRETE, 1998) molte di queste forme lobate e di attribuirle ad eventi sismici e vulcanici (vedi i fenomeni del IV secolo a.C., del 1228, 1828, 1883).

Sul settore settentrionale dell'Epomeo insistono il bacino idrografico di Casamicciola, che si estende a sud della confluenza, in località Piazza Bagni, delle Cave di Buceto, Ervaniello (o Fasaniello), Sinigallia e Celario, e quello de «La Rita», caratterizzato dalla confluenza, nella località omonima, di Cava Del Monaco e Cava La Rita. Il reticolo è di tipo dendritico e le aste torrentizie terminali hanno direzione N-S con grado di gerarchizzazione rispettivamente di 3° e 2° ordine. Entrambi i bacini sono alimentati anche da alcune sorgenti minerali e termo-minerali di notevole interesse sia terapeutico che turistico. È il caso delle sorgenti di Buceto, del Gurgitello, di Ervaniello, che alimentano il bacino di Casamicciola, e delle sorgenti La Rita e Pisciaricello, che alimentano quello de «La Rita» (JASOLINO, 1588; CHEVALLEY DE RIVAZ, 1838; D'ASCIA, 1867; MORGERA, 1890; CACCIOPOLI, 1944).

È da sottolineare che molti impluvi sono stati trasformati in alvei-strada e alvei tombati, con conseguente alterazione del naturale andamento dei corsi d'acqua originari nelle zone pianeggianti e sub-pianeggianti ed, in alcuni casi, anche nelle loro porzioni più acclivi.

c) *la fascia costiera*, che si sviluppa da Punta la Scrofa al promontorio di Monte Vico, corrisponde agli arenili di Casamicciola e Lacco Ameno che, verso sud, passano ad un paesaggio collinare a bassa pendenza (15°-20°) impostato nei depositi da *debris flow*. L'analisi aerofotografica ed i rilievi in sito hanno permesso di individuare, in quest'area, la presenza di un terrazzo di abrasione marina alla quota media di 25 m s.l.m., delimitato alle spalle da una paleofalesia. In corrispondenza del promontorio del Castiglione, viceversa, sono presenti falesie che si impostano prevalentemente nei prodotti lavici e piroclastici connessi all'attività vulcanica recente dell'isola (vedi la colata lavica associata all'ultima eruzione del Monte Rotaro, III sec. d.C.; VEZZOLI, 1988).

3.1.2. Tipologia delle frane (Tav. 2 f.t.)

I più significativi processi morfologici, che hanno interessato ed ancora interessano il territorio ischitano, sono rappresentati da fenomeni di instabilità di versante, ascrivibili a scorrimenti e colate traslative, crolli s.l. e/o scorrimenti traslativi evoluti a colata (VARNES, 1978; CRUDEN & VARNES, 1996).

In particolare lungo gli acclivi versanti settentrionali del rilievo di Monte Epomeo immediatamente incombenti sui centri abitati di Casamicciola e Lacco Ameno si riconoscono, come già detto, chiare morfologie lobate, un reticolo idrografico a regime torrentizio molto sviluppato, la presenza di numerosi massi di Tufo Verde crollati dalle retrostanti creste ed una notevole diffusione di fenomeni di instabilità prevalentemente del tipo scorrimento-colata rapida.

L'indagine storica (MERCALLI, 1884; JOHNSTON-LAVIS, 1885; BARATTA 1901; CUBELLIS, 1985; AA.VV., 1998; MELE & DEL PRETE, 1998) ha permesso di associare molti eventi di frana all'attività sismica dell'isola (classificata interamente con coefficiente sismico S=9).

Anche durante l'ultimo terremoto, che ha sconvolto l'isola il 28 luglio 1883 (MERCALLI, 1884; JOHNSTON-LAVIS, 1885; BARATTA, 1901; AA.VV., 1998), numerosi sono stati i fenomeni d'instabilità di versante che hanno amplificato i disastrosi effetti del sisma. Tra questi fenomeni i più documentati ed i più grandi per dimensione sono le due frane di scorrimento traslativo evolute a colata che hanno interessato il versante settentrionale di Monte Epomeo. Altrettanto disastrosi furono i terremoti del febbraio 1828 (COVELLI, 1828; MONITORE NAPOLITANO, 1828) e del luglio 1228 (MURATORI, 1937) durante i quali si produssero sia fenomeni di crollo di massi tufacei dai

versanti di Monte Epomeo, che eventi di *debris flow*. Questi ultimi coinvolsero i depositi costituenti la collina in località Fango; in particolare nel 1228, secondo le fonti, essi causarono la morte di 700 persone. Tuttavia, in località La Pietra e S. Giuseppe, a Fango, è possibile riconoscere, da rilievi di campagna e da analisi aerofotografica, caratteristiche morfologie lobate di accumulo da frana (MELE & DEL PRETE, 1998).

Oltre agli eventi franosi associati all'attività sismica, molto numerosi e frequenti sono i fenomeni di dissesto associati a particolari condizioni meteoriche e/o ad eventi alluvionali.

In particolare, lo studio di documenti storici ha permesso di ricostruire, almeno fin dal 1500, diversi eventi alluvionali che hanno interessato le «Cave» dei territori di Casamicciola e Lacco Ameno, coinvolgendo i centri abitati e seppellendo le sorgenti termo-minerali e le «stufes». In particolare, da BUCHNER (1958) si apprende che la sorgente di Sinigallia, ubicata allo sbocco di Cava della Pera nel territorio di Casamicciola, era stata seppellita dalle alluvioni ai tempi dello Jasolino (seconda metà del 1500). Ancora nel giugno 1643 dalle lettere scritte dal Severino, allievo dello Jasolino, al medico Volkamer di Norimberga, si apprende che le stesse sorgenti del settore settentrionale dell'isola furono danneggiate da un'alluvione associata a forti acquazzoni.

Tuttavia, senza andare troppo indietro nel tempo, con riferimento ai primi anni del Novecento, un altro fenomeno alluvionale colpì l'isola d'Ischia il 24 ottobre 1910 in concomitanza di un intenso evento pluviometrico che interessò anche i territori vesuviano e amalfitano (DONZELLI, 1910; IL MATTINO, 1910; BORDIGA, 1914). I danni si concentrarono soprattutto nei territori di Casamicciola e Lacco Ameno nelle località di Piazza Bagni e Cava La Rita, in corrispondenza delle aree di confluenza dei profondi fossi d'erosione che dissecano i versanti settentrionali di Monte Epomeo. In entrambi i casi si registrarono vittime e gravi danni agli stabilimenti termali che furono completamente sepolti dal fango e da enormi massi tufacei trasportati lungo gli alvei.

Anche oggi queste stesse aree, in occasione di eventi meteorici intensi, continuano ad essere interessate da frequenti fenomeni di dissesto. Si ricordano le numerose frane e gli alluvionamenti del 9-10 gennaio 1997, del 24-25 luglio 1999 e del 14-15 settembre 2001.

In alcuni siti, caratterizzati da terreni con scadenti proprietà geotecniche, non mancano esempi di ripetitività spaziale e temporale dei fenomeni di dissesto. Il più significativo è rappresentato da un

evento di colata che interessa i depositi alterati e fumarolizzati per attività di tipo idrotermale affioranti in loc. Montagnone, a ovest di Monte Cito. La ripetitività di tale evento è supportata dal confronto di fonti di epoche diverse risalenti al 1824, al 1883, al 1910-20 ed al 1998 (JOHNSTON LAVIS, 1885; DELIZIA, 1987; DELIZIA, 1990). Da fonti storiche si apprende anche di un fenomeno franoso di notevoli dimensioni che nel 1797 provocò gravi danni ai territori montani di Casamicciola e che, secondo Morgera (1890) e D'Ascia (1867), non risulterebbe connesso ad eventi né sismici né alluvionali. Una dettagliata descrizione di tale fenomeno è riportata dal De Siano (1798) che così recita: «*Catreca è una duplicatura dell'Epomeo, ove forma una più bassa cima sotto quella di S. Nicola*» (n.d.a.: corrisponde alla zona di Capo dell'Uomo, anche detta M.te Bastia) «*il cui masso è di lava dura nell'interno, la cui superficie è in decomposizione, e da qualche tempo ha incominciato a crollare, come infatti la sera del 14 Dicembre 1797 ad ore 4^{1/2} in 5 crollò in due lati assai declivi con danno notabile delle sottoposte vigne del territorio di Casamicce*».

In definitiva può confermarsi che i fenomeni franosi cartografati sono rappresentati per gran parte da scorrimenti-colate rapide prevalentemente concentrate lungo le acclivi pareti dei profondi fossi d'incisione (fig. 8). Questi ultimi vengono pertanto ostruiti dai cumuli di frana con conseguente aggravamento della funzionalità idraulica del reticolo idrografico, già intensamente modificato da incontrollati interventi antropici.

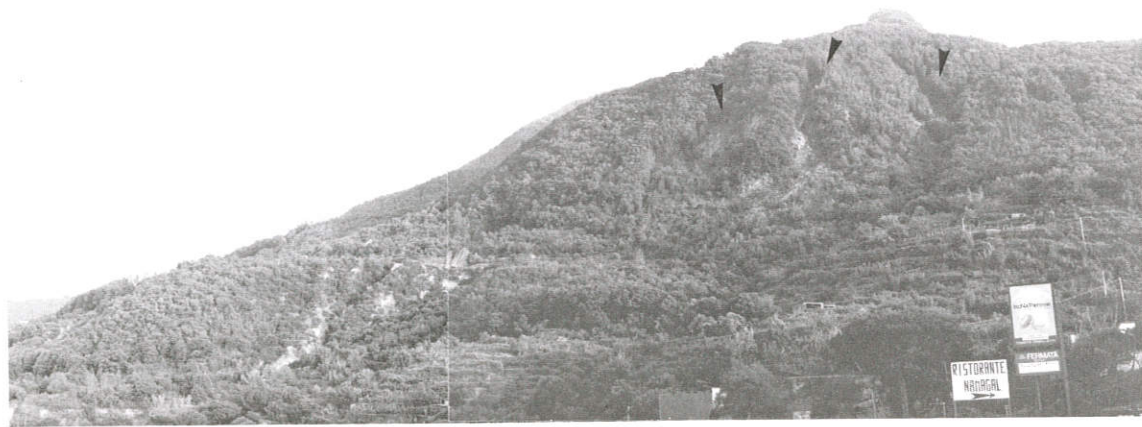


Figura 8. Panoramica del versante settentrionale del M. Epomeo interessato da alcuni fenomeni di scorrimento traslativo-colata verificatesi nel gennaio 1997.

Figure 8. General view of the northern slope of Mt. Epomeo, where on January 1997 several slides-flows took place.

3.1.3. Scenari di suscettibilità (Tav. 2 f.t.)

L'analisi delle informazioni derivanti da documenti storici e di cronaca, associata alle attuali conoscenze sull'evoluzione geologica e geomorfologica dell'isola, consente di affermare che le attuali condizioni di dissesto idrogeologico sono da collegare all'evoluzione geomorfologica di un paesaggio vulcanico fortemente influenzato dall'attività antropica.

Alla luce di tali considerazioni, nonché delle informazioni di carattere geolitologico-geomorfologico includenti anche il censimento dei fenomeni franosi, sono state definite aree con differenti gradi di suscettibilità a fenomeni di dissesto. In particolare, è stata individuata una *classe A* ad alta suscettibilità (dove si verifica una convergenza di morfologie significative e dati storici di precedenti fenomeni di dissesto); una *classe B* a suscettibilità intermedia (dove alla presenza di fattori morfologici ritenuti predisponenti non sono associati dati storici su precedenti fenomeni di dissesto); una *classe C* a bassa suscettibilità (dove il territorio è caratterizzato dall'assenza di fattori morfologici predisponenti al dissesto e dall'assenza di informazioni storiche di pregressi eventi franosi e alluvionali).

L'alta suscettibilità è da riferire sia ad eventi franosi (A_1 , A_2) che a fenomeni alluvionali con elevato trasporto solido (A).

Per quanto attiene alla tipologia di movimenti di versante essi sono rappresentati, come già detto in precedenza:

a) da frane del tipo scorrimento-colata rapida (A_1) le quali interessano le coltri superficiali alterate degli accumuli detritici da *debris flow* e quelle alterate e tettonizzate della formazione di Colle Jetto (vedi le ripide pareti dei fossi a regime torrentizio);

b) da frane da crollo di massi di Tufo Verde (A_1 , A_2). Per quanto riguarda la suscettibilità ad eventi alluvionali con elevato trasporto di materiale solido (quest'ultimo costituito anche da massi di grosse volumetrie trasportati lungo gli alvei) è da sottolineare che tali eventi interessano le profonde aste torrentizie e le aree urbanizzate che nella fascia pedemontana si sviluppano allo sbocco delle confluenze, così come più volte documentato storicamente. Questa alta suscettibilità oggi risulta ulteriormente amplificata dalla insufficienza della rete di smaltimento dovuta ad alterazioni e manomissioni antropiche (alvei-strada e alvei tombati) ed all'assenza di interventi di bonifica idraulico-forestale.

Infine, è da evidenziare anche il ruolo del regime pluviometrico che caratterizza l'isola. Infatti, Mennella (1946, 1949, 1959) ha sottolineato una maggiore piovosità (specie nei mesi autunnali e del primo inverno) alle stazioni pluviometriche settentrionali dell'isola (Ischia Porto e Casamicciola Terme) rispetto a quelle campane continentali, nonostante sia generalmente riconosciuto un aumento degli apporti medi annui procedendo da mare verso il continente. Inoltre, nell'ambito del territorio isolano le maggiori altezze di precipitazioni che si registrano sul settore settentrionale rispetto a quello meridionale, vengono interpretate col fatto che le quote del Monte Epomeo (789 m s.l.m.) favoriscono la condensazione dell'umidità non tanto sui versanti meridionali sopravento, quanto su quelli settentrionali sottovento.

3.2. La Collina dei Camaldoli

3.2.1. L'assetto geologico e morfostrutturale (Tav. 2 f.t.)

La collina dei Camaldoli ricade nel settore occidentale del territorio comunale di Napoli (Autorità di Bacino Nord-Occidentale della Campania). Essa costituisce un «alto» morfostrutturale delimitato, a Sude e a Ovest, da ripidi versanti connessi ai fenomeni di collasso vulcano-tettonico responsabili della formazione della caldera dell'Ignimbrite Campana (39.000 anni dal presente) e della caldera del Tufo Giallo Napoletano (TGN, 12.000 anni dal presente). Tali versanti bordano un'area sommitale costituita da un pianoro immergente verso i quadranti settentrionali, che si raccorda gradualmente con le aree urbanizzate di Marano e Chiaiano (fig. 9).

a) Le aree di versante

Lungo i versanti incombenti sugli abitati di Pianura e Soccavo risulta ben esposta la serie stratigrafica ampiamente descritta in letteratura (DI GIROLAMO et al., 1984; ORSI et al., 2000) e di seguito sintetizzata, dal basso verso l'alto (Tav.2 f.t. e fig. 10).

a) *Tufi di Torre Franco* (età: 42.000 anni dal presente) costituiti da fitte alternanze di livelli cineritici biancastri e di banchi di pomici e scorie.

b) *Formazione del Piperno-Breccia Museo*. Si rinviene in alcuni affioramenti non continui alla base del versante (es. loc. «Piccola Lourdes», Pignatiello, tra Bellavista e Monopoli, Vallone Verdolino) con spessori di poche decine di metri. Il Piperno presenta una struttura eutassitica (scorie nere appiattite e talora saldate, di dimensioni da centimetriche a decimetriche ricche in cristalli di sanidino, immerse in una matrice cineritica grigiastra); la Breccia Museo si rinviene con blocchi lavici, scorie e grosse pomici in scarsa matrice sabbiosa, debolmente cementata.

c) *Tufi Biancastri Stratificati* (età compresa tra 39.000 e 12.000 anni dal presente) costituiti da strati di cineriti ricche in lapilli accrezionari e pomici, ed intercalazioni di livelli pomicei, a struttura da pianoparallela a debolmente ondulata; lo spessore massimo è di alcune decine di metri.

d) *Tufo Giallo Napoletano* (età: 12.000 anni dal



Figura 9. Versante meridionale della collina dei Camaldoli: 1) Piroclastiti sciolte post-Tufo Giallo Napoletano; 2) Tufo Giallo Napoletano; 3) Tufi Biancastri Stratificati; 4) Breccia Museo (da DI CRESCENZO & SANTO, 2001).

Figure 9. General view of the southern slope of Camaldoli hill: 1) Pyroclastic fall deposits younger than Neapolitan Yellow Tuff; 2) Neapolitan Yellow Tuff; 3) Whitish Stratified Tuffs; 4) Breccia Museo (after DI CRESCENZO & SANTO, 2001).

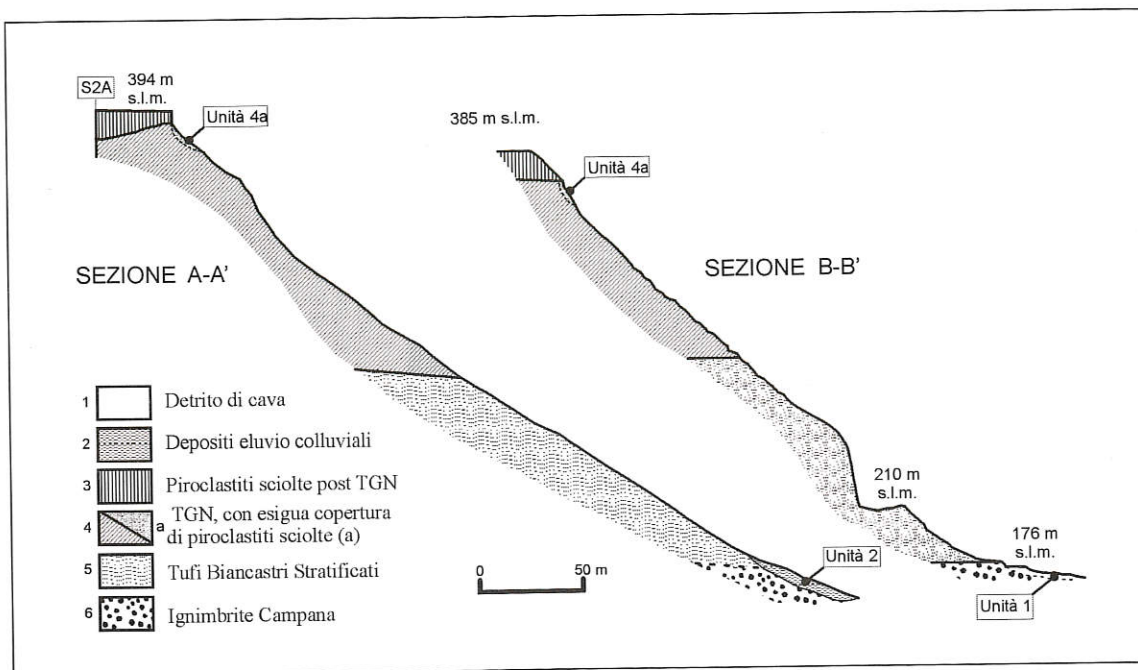


Figura 10. Sezioni geologiche lungo il versante occidentale della collina dei Camaldoli, loc. Nazareth (cfr. Tav. 2).
Figure 10. Geological cross-sections along the western slope of Camaldoli hill, loc. Nazareth (see Tav. 2).

presente), costituito da pomici, litici e scorie, di dimensioni centimetriche, di colore giallo-verdastro, immersi in matrice giallastra. La struttura varia da massiva a stratoide, lo spessore è di diverse decine di metri. Anche il grado di litificazione non è omogeneo, come del resto in altri settori del territorio napoletano, con la presenza di livelli poco coerenti intercalati a quelli litoidi. Il TGN affiora con continuità lungo i ripidi versanti aggettanti su Soccavo e Pianura, mentre nel settore nord-occidentale si rinviene solo lungo il fondo-alveo dei valloni maggiormente incisi.

e) Al top della successione stratigrafica sono presenti i prodotti piroclastici incoerenti relativi all'attività flegrea degli ultimi 12.000 anni (eruzioni di: Agnano-M. Spina, Solfatara, Astroni). Si tratta di alternanze di livelli e banchi di cineriti e pomici a tessitura pianoparallela o debolmente ondulata, con interposti paleosuoli; talora, sono presenti livelli policromi, ricchi in scorie e lapilli tufacei. Lo spessore di questi depositi varia da pochi metri, in corrispondenza delle aree di versante più acclivi, ad alcune decine di metri nell'area sommitale (dove si misurano spessori di circa 30 m in prossimità dell'Eremo) e nel settore nord-occidentale dell'area in oggetto (dove lo spessore supera i 40 m nel Vallone Bietola).

f) Nelle concavità ed al piede del versante sono presenti depositi eluvio-colluviali, costituiti da piroclastiti rimaneggiate a granulometria prevalentemente fine, con inglobati frammenti e blocchi lapidei. Al piede del versante si osservano detriti di cava costituiti da frammenti di Piperno e Breccia Museo accumulati nel corso della decennale attività estrattiva. I cumuli hanno notevole spessore e si elevano talora nettamente rispetto al p.c.

Indagini di dettaglio sono state effettuate in alcuni settori ritenuti di particolare interesse ai fini dello studio dei meccanismi di innesco dei fenomeni franosi. In tali settori è stato altresì avviato un programma di sperimentazione geotecnica basato su campi sperimentali attrezzati per la misura in continuo di alcuni parametri (altezza di pioggia, suzione, piezometria, spostamenti del terreno). Nella Tav. 2 f.t. è riportato lo stralcio relativo all'area di versante rappresentativa posta a valle di località Nazareth.

c) L'area di piana

Nell'area di piana è presente una potente successione di depositi piroclastici sciolti, di età minore di 12.000 anni dal presente, in giacitura prevalentemente primaria, a tetto della formazione del TGN.

Le perforazioni realizzate (un sondaggio profon-

do 185 m in loc. «Pianura», q. 158 m s.l.m. ed un sondaggio profondo 182 m, q. 100 m s.l.m. in loc. «Soccavo») hanno attraversato una sequenza vulcanostratigrafica *in situ* costituita dai depositi dei centri eruttivi di Astroni, Solfatara ed Agnano-M. Spina e, intercalati ad essi (in particolare nell'ambito dei depositi del vulcano di Astroni e tra quelli di Solfatara e Agnano-M. Spina), esigui livelli di depositi colluviali e di frana connessi all'instabilità post-deposizionale delle coltri piroclastiche.

3.2.2. Tipologie delle frane

Nell'area di studio (Tav. 2 f.t.) sono stati censiti 111 fenomeni franosi. Si tratta di fenomeni attivatisi tra settembre 1996 e giugno 1999 (periodo di completamento delle attività di rilevamento).

Un ruolo decisivo per l'innesco dei fenomeni è stato svolto dalle precipitazioni meteoriche (il valore totale delle precipitazioni di settembre 1996 costituisce uno dei picchi massimi in assoluto mai registrati nel secolo scorso, CALCATERRA & GUARINO, 1999). D'altra parte si deve constatare che eventi meteorici di particolare intensità tendono a riproporsi, come è avvenuto nei mesi di settembre 2001 e 2002, allorché si sono registrati ulteriori fenomeni (non riportati nella Tav. 2 in quanto successivi alla sua redazione).

Le frane più frequenti (fig. 11) sono date dagli scorrimenti traslativi (circa il 50%). Tali frane interessano prevalentemente i depositi piroclastici incoerenti a tetto del TGN e hanno mobilitato volumi modesti (da qualche decina a poche centinaia di m³) con spessori raramente superiori al m. Gli scorrimenti traslativi presentano un rapporto spessore/lunghezza molto basso (con D/L pari mediamente a 0.09) e risultano sovente equidimensionali in pianta.

Tra le frane di tipo semplice sono meno rappresentate le colate e i crolli. Le prime sono state rinvenute frequentemente nella formazione dei Tufi Biancastri Stratificati, i secondi laddove le condizioni morfologiche (pareti subverticali) e lo stato di fratturazione risultano predisponenti (fig. 12). Tra le frane complesse un numero elevato è quello degli scorrimenti-colate, in particolare lungo il versante di Soccavo, dove si sono potuti osservare i fenomeni di maggiore rilievo dell'intero areale flegreo degli ultimi anni.

In alcuni casi (fig. 13), dopo una fase iniziale di innesco avvenuta secondo uno scorrimento di tipo traslativo nelle piroclastiti a tetto del TGN o il crollo di massi tufacei, l'impatto sul versante sottostante ha determinato la mobilitazione della coltre più superficiale delle coperture ed il conseguente incremento del volume mobilitato. Ciononostante, il cumulo di frana non ha raggiunto in nessun caso il piede del versante.

Numerosi fenomeni, con una forte prevalenza percentuale delle frane da scorrimento, si sono attivati anche nel settore sommitale della collina, lungo i ripidi versanti delle incisioni che solcano il pianoro sommitale – individuatisi a seguito dell'approfondimento dell'area di testata del bacino del Vallone Verdolino – ed in corrispondenza di sbancamenti e tagli stradali.

3.2.3. Scenari di suscettibilità

Lo studio geologico e geomorfologico è stato finalizzato a) alla suddivisione del territorio in aree omogenee per quanto concerne la suscettibilità all'innesco di fenomeni franosi e di erosione areale/lineare e b) all'individuazione dei settori pedecollinari

Figura 11. Frequenza delle varie tipologie di frana censite sui versanti meridionale ed occidentale della Collina dei Camaldoli.

Figure 11. Frequency distribution of landslides surveyed along the southern and western slopes of Camaldoli hill.

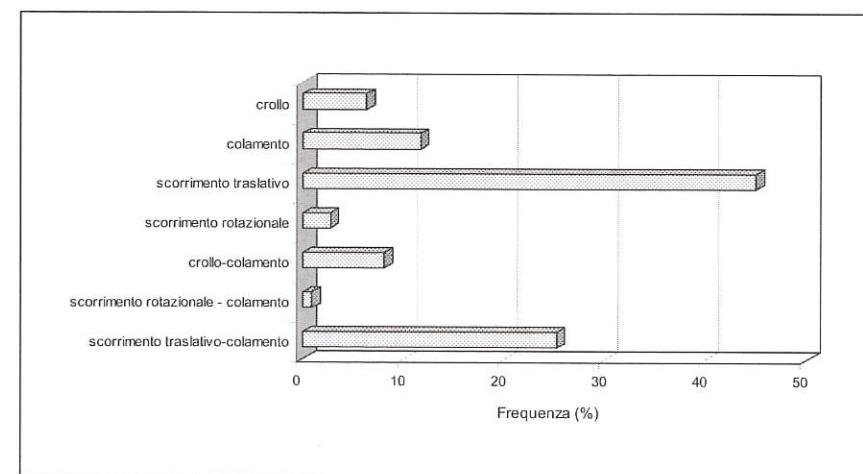




Figura 12. Il costone tufaceo della collina dei Camaldoli (lato Soccavo), intensamente fratturato e interessato da frequenti frane da crollo e/o ribaltamento.

Figure 12. High-angle cliff of Camaldoli hill (Soccavo side), mainly carved in severely jointed, weak tuff rocks which feed frequent falls and topples.



Figura 13. Frana da scorrimento-crollo-colata verificatasi nel gennaio 1997 lungo il versante meridionale della Collina dei Camaldoli

Figure 13. January 1997 slide-fall-flow along the southern slope of Camaldoli hill.

suscettibili all'invasione da parte dei materiali trasportati in massa (ad opera delle frane) o per effetto di processi di trasporto solido e/o alluvionamento.

A tal fine è stato utilizzato un criterio di zonazione geomorfologica basato sul riconoscimento di elementi e fattori litostratigrafici e morfogenetici ritenuti significativi, quali quelli riportati nella tab. 5.

Il criterio adottato, pur non fornendo indicazioni dirette in termini di «pericolosità», consente una prima definizione di ambiti territoriali omogenei per processi in atto e relativi effetti.

Le difficoltà relative alla delimitazione, verso valle, della fascia pedecollinare connesse non solo alle pesanti modificazioni dell'originaria morfologia indotte dall'attività antropica, ma anche all'assenza di sezioni utili per una descrizione della stratigrafia e della struttura dei materiali, hanno reso necessario il ricorso ad alcuni scavi esplorativi (vedi Tav. 2).

Di seguito si descrivono i connotati salienti degli ambiti morfologici individuati.

a) L'area sommitale (AS) è caratterizzata da un'acclività contenuta (in genere $< 10^\circ$) e, dal punto di vista geologico, dalla presenza nell'immediato sottosuolo dei prodotti piroclastici incoerenti degli ultimi 12.000 anni dell'attività flegrea. L'elevata urbanizzazione, riconducibile soprattutto agli ultimi decenni, ha comportato rilevanti alterazioni all'originaria morfologia. D'altro canto, in virtù delle basse pendenze, non si rilevano processi geomorfici «naturalisti» di particolare rilievo.

b) Le aree di versante (AV) sono caratterizzate da pendenze medio-alte (fino ad oltre il 100%), dall'esposizione in affioramento di una significativa porzione della sequenza stratigrafica e sono altresì sede dei principali processi geomorfici dell'intera area di studio.

In tali aree sono state osservate importanti differenze, da cui è derivata l'istituzione di due sub-unità morfologiche contrassegnate con le sigle AV₁ ed AV₂. Tali differenze sono in primo luogo di carattere litostratigrafico: infatti, da est (loc. Verdolino-Camaldolilli) fino ad ovest (loc. Mandracchio) la sequenza di prodotti piroclastici da litoidi a semicoerenti (comprendente i Tufi di Torre Franco, il Piperno, la Breccia Museo, i Tufi Biancastri Stratificati ed il TGN) costituisce un'ossatura del rilievo pressoché continua (AV₂).

Lungo i versanti del settore nordoccidentale, invece, i depositi tufacei non sono in genere presenti (se non al fondo di alcune profonde incisioni), mentre diventano dominanti i depositi incoerenti degli ultimi 12.000 anni (AV₁). A questi elementi di diver-

Tabella 5. Fattori litostratigrafici e morfologici significativi per la zonazione geomorfologica della collina dei Camaldoli.
Table 5. Lithostratigraphical and morphological factors relevant to the geomorphological zonation of Camaldoli hill.

Fattori litostratigrafici	Litologie affioranti	Area Sommitale AS				Area di versante AV ₁		Area di versante AV ₂		Fascia Pedecollinare FP ₁		Fascia Pedecollinare FP ₂		Area di Piana AP	
		Piroclastiti sciolte	assenti	sì (8-30 m)	sì	Piroclastiti sciolte	assenti	Piroclastiti sciolte	sì (20 > 40)	Piroclastiti sciolte	assenti	Piroclastiti sciolte	assenti	Piroclastiti sciolte	assenti
Fattori morfologici e processi morfogenetici	Cornici litologiche	assenti	sì	sì (8-30 m)	sì	assenti	assenti	presenti	sì (0-6 m)	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti
	Presenza/spessore delle coperture	sì	sì	sì (8-30 m)	sì	sì	sì	sì	sì (0-6 m)	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti
	Unità tufacee affioranti	sì	sì	sì (8-30 m)	sì	rare	rare	sì	sì	no	no	no	no	no	no
	Acclività	0° - 10°	assenti	assenti	assenti	compresa tra 30° e 40°	compresa tra 40° e 90°	compresa tra 40° e 90°	compresa tra 40° e 90°	2° - 4°	6° - 10°	0° - 2°	assenti	assenti	assenti
	Concavità morfologiche («hollows»)	assenti	assenti	assenti	assenti	presenti	presenti	presenti	presenti	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti
	Reticolo idrografico	molto sviluppato	molto sviluppato	molto sviluppato	molto sviluppato	molto sviluppato; aste torrentizie di III-IV ordine (sensu Strahler, 1958)	molto sviluppato; aste torrentizie di III-IV ordine (sensu Strahler, 1958)	poco sviluppato; brevi incisioni di I e II ordine	poco sviluppato; brevi incisioni di I e II ordine	poco sviluppato	poco sviluppato	assente	assente	assente	assente
Fattori morfologici e processi morfogenetici	Frane	Rare (in corrispondenza di interventi antropici)	assenti	assenti	assenti	frequenti	frequenti	estremamente frequenti	estremamente frequenti	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti
	Trasporto solido e alluvioni	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	assenti	frequenti	frequenti	frequenti	frequenti	rari	assenti
	Erosione areale superficiale	assente	assente	assente	assente	presente	presente	diffusa	diffusa	assente	assente	assente	assente	assente	assente
	Erosione lineare	presente	presente	presente	presente	diffusa	diffusa	presente	presente	presente	presente	presente	presente	assente	assente

sificazione litologica se ne associano altri di ordine geomorfologico. Infatti alla sub-zona AV_2 corrisponde il settore all'incirca compreso tra S. Rocco-S. Antonio ad ovest e Torre di Lopa-Paradiso ad est, caratterizzato da un reticolo idrografico poco sviluppato, «embrionale», di impianto chiaramente strutturale, con aste pressoché rettilinee per lo più di 1°-2° ordine gerarchico; per questa ragione, il versante conserva una sua regolarità trasversale, interrotta dall'orizzonte del TGN nella parte medio-alta del versante) ove l'inclinazione raggiunge valori fino ai 90°, con tratti anche in aggetto. In corrispondenza dell'estremità orientale dell'area di studio le profonde incisioni del Vallone Castelluccio e del Vallone Verdolino costituiscono le uniche evidenti eccezioni allo scenario morfologico sopra descritto: esse sono state comunque inserite nella sub-zona AV_2 perché di questa conservano i connotati litostratigrafici tipici (unità tufacee affioranti). Un reticolo idrografico sviluppato e gerarchizzato (aste di 3°-4° ordine) costituisce invece un elemento morfologico caratteristico della sub-zona AV_1 .

La distinzione in sub-zone AV_1 e AV_2 trova un'ulteriore giustificazione qualora si considerino i processi geomorfici prevalenti.

Nelle aree AV_1 , infatti, il trasporto in massa e l'erosione lineare assumono un rilievo primario rispetto ai movimenti franosi: in questo ambito, soprattutto per effetto dei processi di dilavamento, si depositano lungo le aste vallive accumuli di materiale detritico-colluviale.

In concomitanza di eventi meteorici intensi e prolungati si verifica spesso la mobilitazione dell'insieme dei depositi sopra descritti mediante lo spostamento rapido di una massa a densità medio-alta (composta da acqua, fango, detriti, talora blocchi tufacei) che, soprattutto in presenza di acclività significative, è in grado di acquisire velocità rilevante. È per effetto congiunto dei processi di dilavamento e di trasporto in massa che i settori dell'abitato di Pianura più prossimi ai rilievi collinari risentono periodicamente dell'invasione da «colate di fango».

In tale contesto, le frane concorrono in modo subordinato ad alimentare gli accumuli detritico-colluviali lungo le principali aste vallive, anche se in alcuni casi (es. vallone Bietola) la loro diffusione è particolarmente significativa.

Le aree di versante AV_2 sono invece caratterizzate dalla presenza di vistosi fenomeni franosi di scorrimento-colata, nonché da processi di erosione areale diffusa e da subordinati fenomeni erosionali lineari.

Le frane da scorrimento-colata sono da ricollegare alla presenza di depositi piroclastici sciolti nei settori

medio-alti di versanti ad elevata acclività e notevole dislivello. Il trasporto in massa e l'erosione lineare sono di norma processi secondari, ad eccezione di quanto accade lungo i valloni del settore orientale (Castelluccio e Verdolino).

Nelle aree AV_2 sono altresì da segnalare i diffusi distacchi di blocchi dalle pareti tufacee in TGN.

Sia nelle aree AV_1 che in quelle AV_2 sono state segnalate alcune concavità morfologiche, corrispondenti agli «hollows» della letteratura anglosassone. Si tratta di settori di versante in cui non esiste un'asta torrentizia chiaramente definita, né un raccordo «stabile» con il reticolo idrografico. Tali forme possono essere interpretate come preesistenti depressioni nelle sottostanti formazioni lapidee (es. il TGN), successivamente colmate dalle piroclastiti incoerenti, oppure come aree la cui copertura piroclastica è stata, almeno in parte, asportata, ad opera di processi lineari o in massa (frane).

c) La fascia pedecollinare (FP) realizza il raccordo tra le aree di versante e l'area di piana: la sua origine è da ascrivere all'accumulo di materiale detritico-piroclastico proveniente dai retrostanti pendii, per effetto di processi erosionali di tipo areale, lineare o puntuale. L'acclività è compresa tra 2° e 10°.

In relazione ai processi geomorfici prevalenti, anche per la fascia pedecollinare è stata operata una suddivisione in due tipologie fondamentali:

- la prima (FP_1), caratterizzata dal prevalere degli accumuli da trasporto in massa;
- la seconda (FP_2), in cui gli accumuli sono per lo più dovuti al contributo dei fenomeni di erosione areale ed alle frane.

Le aree FP_1 coincidono con lo sbocco dei valloni della sub-zona AV_1 , così come le aree FP_2 con il raccordo delle aree AV_2 . Altro elemento di rilievo è la maggiore ampiezza della fascia FP_1 rispetto alla FP_2 , in considerazione della presumibile maggiore mobilità dei flussi provenienti dalle profonde incisioni vallive di AV_1 , rispetto ai fenomeni di dilavamento areale o agli scorrimenti-colate di gran parte della sub-zona AV_2 .

Il limite inferiore della fascia pedecollinare non è stato di agevole delimitazione in quanto sfuma gradualmente verso l'area di piana ed è tra l'altro fortemente mascherato dall'intensa urbanizzazione. Le difficoltà relative alla delimitazione verso valle della fascia pedecollinare hanno reso necessaria l'esecuzione di alcune trincee profonde 3.5-4.5 m che hanno intercettato essenzialmente i suoli superficiali e i depositi dell'eruzione di Astroni.

d) L'area di piana (AP) vede oggi nell'urba-

nizzazione il suo carattere saliente, il che ha evidentemente comportato l'obliterazione di eventuali elementi morfologici preesistenti. A Pianura, la piana si presenta di forma all'incirca circolare, con un'estensione inferiore ai 3 km. Una cinta di blandi alti morfologici ne segna il limite verso ovest e sud, rispetto alle contigue depressioni dei Pisani, di Astroni e di Agnano. La piana di Soccavo, invece, è delimitata verso SW dai rilievi collinari che bordano la conca di Agnano e, verso SE, digrada progressivamente in direzione della piana di Fuorigrotta.

4. L'APPLICAZIONE DI METODI STATISTICI E CONCLUSIONI

Gli stralci cartografici illustrati in precedenza costituiscono, come già detto in premessa, altrettanti esempi di applicazione di metodologie di elaborazione, di tipo qualitativo e semiquantitativo, di una serie di dati di base (geologici, strutturali, geomorfologici; di distribuzione tipologica dei movimenti franosi) da ritenere essenziali per qualsivoglia approccio alla valutazione della pericolosità da frana.

Gli ambiti perimetrati sono caratterizzati da una dinamica evolutiva differenziata (per tipologie di «forme» e di «processi» in atto o pregressi) e si propongono pertanto come «scenari di suscettibilità» (ovvero di «pericolosità» intesa in senso spaziale).

L'adozione di una scala di lavoro di buon dettaglio (1:5000) ed il ricorso, in alcuni casi, ad approcci di tipo quantitativo (vedi la dorsale calcarea di Meta per quanto attiene alla classificazione degli ammassi lapidei su fronti significativi; vedi il M. Pendolo per quel che riguarda il fattore di avanzamento FAV per la definizione del «limite di invasione» delle colate rapide) costituiscono di fatto già un'anticipazione di un iter metodologico più articolato basato su criteri statistici.

Di fatto il livello di conoscenze man mano acquisite attraverso lo studio di dettaglio di molteplici eventi (vedi Bibliografia) ha consentito di affrontare la questione della valutazione della pericolosità da frana approfondendo sia l'analisi della distribuzione e/o frequenza delle zone di distacco in funzione di alcuni fattori (spessori delle coperture, pendenze dei versanti, uso del suolo), sia l'analisi dell'intervallo dei valori più frequenti dell'«angle of reach» o del «runout distance» (H/L) preso come riferimento per la stima del limite massimo di invasione.

In particolare, si possono considerare acquisite molte informazioni relative a:

- modelli stratigrafici «tipo» con riferimento

all'individuazione dei vari orizzonti eruttivi flegreo-vesuviani (a seconda dei casi di 8000; 3700 anni fa e del 79 d.C.);

- posizione della superficie di distacco (all'interno o alla base delle coltri piroclastiche);
- individuazione di ambiti geomorfologici significativi (versanti regolari e impluvi con vario grado di gerarchizzazione e conseguente distinzione tra frane incanalate e non;

– rapporti tra ubicazione delle aree di distacco e pendenze del versante (pre-frana);

– rapporti tra ubicazione delle aree di distacco e irregolarità morfologiche naturali e di origine antropica;

– intervallo dei valori dei volumi coinvolti nei vari contesti;

- influenza dell'assetto idrogeologico;
- diversa mobilità dei corpi di colata (minore nell'area flegrea; intermedia nei Monti Lattari e massima a Pizzo d'Alvano) espressa come rapporto H/L;

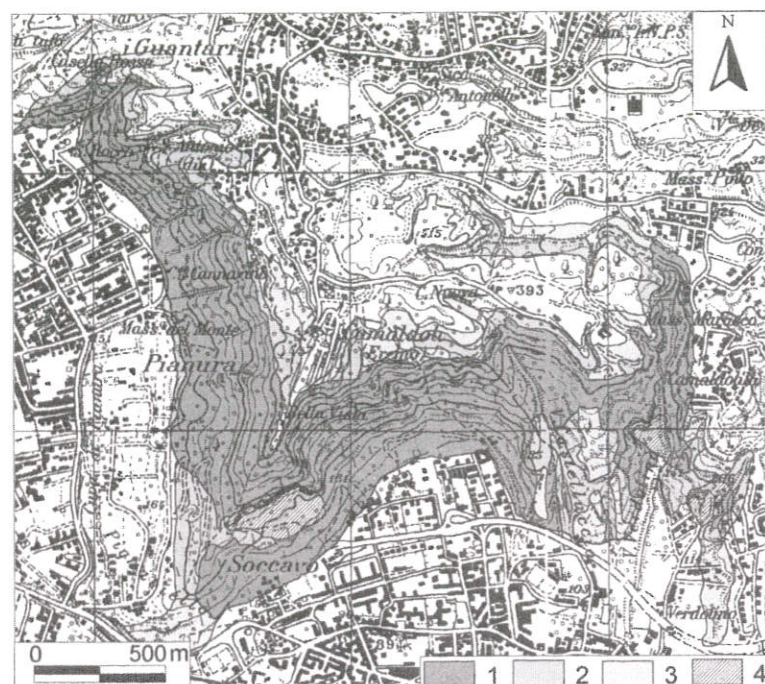
– presenza di una fase iniziale di «rottura» del materiale e di una successiva evoluzione a colata favorita, nei materiali cineritici, da sopravvenuta saturazione con conseguente riduzione o annullamento della coesione apparente (CASCINI & SORBINO, 2002; OLIVARES et al., 2002; 2003; CALCATERRA et al., 2004).

Questo ricco panorama conoscitivo ha indotto a verificare in aree-campione la possibilità di applicazione di un procedimento statistico che, sfruttando anche il ricorso ad un GIS, consentisse di delimitare, sulle aree di versante, i settori a diverso grado di suscettibilità (AMANTI et al., 1998; AA.VV., 2002; CALCATERRA et al., 2003) e di procedere poi, attraverso i valori del rapporto H/L (osservati in numerosi casi) alla redazione della Carta della pericolosità da innesco-transito-invasione da frane per colata rapida (AA.VV., 2002; CALCATERRA et al., 2003).

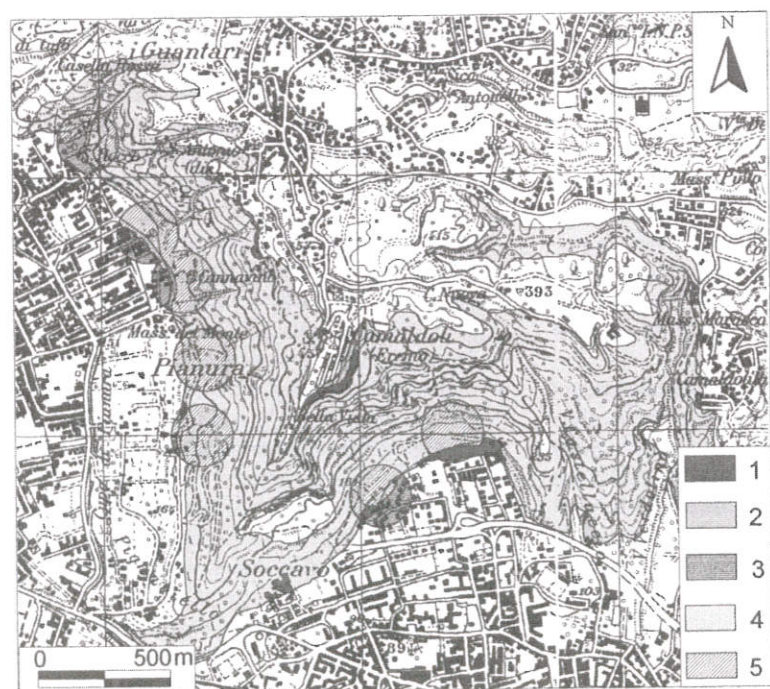
Il confronto degli stralci di Tav. 2 con le figg. 14a e 15a, redatte seguendo tale metodologia e relative rispettivamente ai territori dei Camaldoli e di Casamicciola, evidenzia:

a) la sostanziale coincidenza delle zone definite AV_1 - AV_2 (in Tav. 2 Collina dei Camaldoli) e delle zone A-A₁-A₂, del territorio di Casamicciola, con quelle «pericolose» di figg. 14a e 15a (come era da attendersi tenuto conto dell'assoluta rilevanza dei dati geomorfologici di base e dell'inventario delle frane nell'individuazione degli «scenari di pericolosità»;

b) la delimitazione nelle figg. 14a e 15a di aree dotate di diversi gradi di pericolosità (informazione



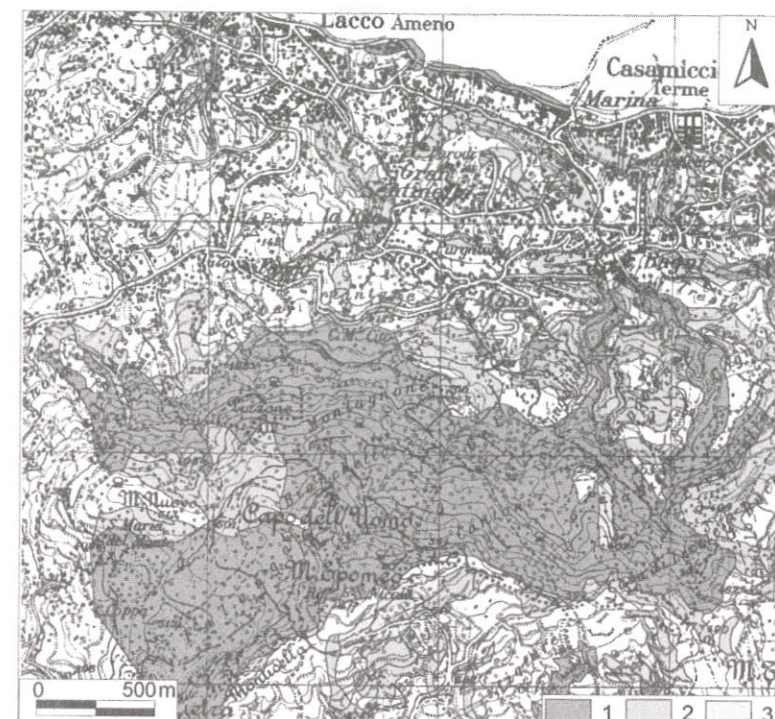
a)



b)

Figura 14. (a) Carta della suscettibilità all'innesco-transito e invasione da frana della Collina dei Camaldoli: 1) Area a suscettibilità alta; 2) media; 3) bassa; 4) Area di cava. (b) Carta del rischio di frana finalizzata alle azioni di protezione civile: 1) Rischio molto elevato; 2) Rischio elevato; 3) Rischio non classificato; 4) Area a pericolosità alta/media/bassa all'innesco, al transito e/o all'invasione da frana; 5) Area con pericolosità di incerta classificazione.

Figure 14. (a) Land-slide Relative Hazard Map of Camaldoli hill. Legend: 1 High relative hazard; 2) Medium hazard; 3) Low hazard; 4) Quarrying activity area. (b) Land-slide Risk Map, addressed to Civil Defence actions. Legend: 1) Very high risk; 2) High risk; 3) Unclassified Risk area; 4) High to low landslide relative hazard; 5) Unclassified hazard Area.



a)



b)

Figura 15. (a) Carta della suscettibilità all'innesco-transito e invasione del versante settentrionale del M. Epomeo: 1) Area a suscettibilità alta; 2) media; 3) bassa. (b) Carta del rischio di frana finalizzata alle azioni di protezione civile: 1) Rischio molto elevato; 2) Rischio elevato; 3) Rischio non classificato; 4) Area a pericolosità alta/media/bassa all'innesco, al transito e/o all'invasione da frana; 5) Area con pericolosità di incerta classificazione.

Figure 15. (a) Land-slide Relative Hazard Map of Mt. Epomeo northern slope. Legend: 1 High relative hazard; 2) Medium hazard; 3) Low hazard. (b) Land-slide Risk Map, addressed to Civil Defence actions. Legend: 1) Very high risk; 2) High risk; 3) Unclassified Risk Area; 4) High to low landslide relative hazard; 5) Unclassified hazard Area.

questa che manca negli stralci di Tav. 2).

Le figg. 14b e 15b sono invece altrettanti esempi di carte del rischio costruite mediante l'incrocio delle carte di pericolosità (14a e 15a) con quelle recanti la distribuzione dell'«urbanizzato», la cui presenza sul territorio comporta problemi per l'incolumità delle persone (esigenze di protezione civile).

L'esperienza acquisita dalla Comunità scientifica in materia di affidabilità di questi elaborati consente di sottolineare, quale che sia l'approccio adottato, la perdurante difficoltà, in molti casi, di valutare:

a) la pericolosità da frana in senso temporale (a meno di ricerche storiche molto estese nel tempo e comunque di riscontri significativi quali possono aversi soprattutto nel caso di frane a cinemismo lento);

b) i volumi mobilizzabili durante un «evento atteso», in vista della scelta del dimensionamento delle opere di mitigazione: in quest'ultimo caso è da sottolineare l'assoluta rilevanza della individuazione di ambiti geomorfologici significativi, della ricostruzione di modelli geologici di estremo dettaglio delle aree di versante e del riconoscimento di quegli orizzonti stratigrafici più frequentemente coinvolti da eventi recenti e pregressi.

c) I diversi livelli di pericolosità nell'ambito di versanti in roccia, in quanto l'argomento richiede indagini di tipo geostrutturale più facilmente realizzabili in siti singolari già prescelti piuttosto che su area vasta.

BIBLIOGRAFIA

AA.VV. (1998) - *Il terremoto del 28 luglio 1883 a Casamicciola nell'isola d'Ischia*. Presidenza del Consiglio dei Ministri, Servizio Sismico Nazionale, Roma.

AA.VV. (2002) - *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico*. Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania, 4 voll., Naples, T.P.S.-SELCA.

AMANTI, M., CHESI, V., CONTE, G., MOTTERAN, G., VENTURA, R. (1998) - *Utilizzo di un GIS per la valutazione della suscettibilità del territorio campano alle colate rapide di fango - un caso di studio alla scala 1:25.000*. Disponibile sul sito www.dstn.it/sgn/u_geoapp/gis.htm

AUCELLI A., CINQUE A. & MEROLA D. (1996) - *Discriminazione cronologica di eventi deformativi fragili lungo il margine settentrionale dei monti Lattari sulla base di dati geologici e geomorfologici*. Il Quaternario, 9(1), 319-324.

BARATTA M. (1901) - *I terremoti d'Italia*. Fratelli Bocca Ed., pp. VIII+950, Torino.

BARRA D., CINQUE A., ITALIANO A., SCORZIELLO R. (1992) - *Il pleistocene superiore marino di Ischia: paleoecologia e rapporti con l'evoluzione tettonica recente*. Studi geologici Camerti, 1, 231-243.

BIENIAWSKI Z.T. (1976) - *Rock mass classification in rock engineering*. Exploration for rock engineering, Balkema, 1, 97-106.

BIENIAWSKI Z.T. (1979) - *The geomechanics classification in rock engineering applications*. Proc. 10th Congr. Int. Soc. Rock Mech., 2, 41-48.

BIENIAWSKI Z.T. (1989) - *Engineering rock mass classification*. J. Wiley & Sons, New York.

BONARDI G., D'ARGENIO B. & PERRONE V. (1988) - *Carta geologica dell'Appennino Meridionale in scala 1: 250.000*. Mem. Soc. Geol. It., 41.

BORDIGA O. (1914) - *Il nubifragio del 24 Ottobre 1910 ne' suoi effetti sulle colture dell'isola d'Ischia e della costiera amalfitana e le stime dei danni relativi*. Atti R. Istituto d'Incoraggiamento, sr. VI, Napoli.

BUCHNER G. (1986) - *Eruzioni vulcaniche e fenomeni vulcano-tettonici di età preistorica e storica nell'isola d'Ischia*. Publ. Centre Jean Berard, Naples, 7, 145-188.

BUCHNER P. (1958) - *Giulio Jasolino. Medico calabrese del Cinquecento che dette nuova vita ai bagni dell'isola d'Ischia*. Rizzoli Editore.

BUDETTA P., CALCATERRA D., SANTO A. (1994) - *Engineering-geological zoning of potentially unstable rock slopes in Sorrentine Peninsula (Southern Italy)*. Proc. 7th Int. IAEG Congr., Balkema, Rotterdam, 2119-2126.

BUDETTA P., NICOTERA P., SANTO A. (1996) - *Controlli e monitoraggio di fenomeni deformativi indotti da carsismo in versanti carbonatici dell'Appennino campano*. Atti Conv. Int. «La Prevenzione delle Catastrofi Idrogeologiche: il contributo della Ricerca Scientifica», Alba (CN), vol I, C.N.R., 383-395.

CACCIOPOLI M. (1944) - *L'acqua potabile nell'isola delle acque termo-minerali*. Centro Studi sull'isola d'Ischia. Ricerche, contributi e memorie. Atti 1944-1970, 23-36.

CALCATERRA D., GUARINO P.M. (1999) - *Dinamica morfologica e fenomeni franosi recenti nell'area collinare napoletana (Settore occidentale)*. Geologia tecnica & Ambientale, 2, 11-17.

CALCATERRA D., DE RISO R., SANTO A. (2003) - *Landslide hazard and risk mapping: experiences from Campania, Italy*. Atti Int. Conf. on Fast Slope Movements Prediction and Prevention for Risk Mitigation, AGI, Naples, May 11-13 2003, 63-70.

CALCATERRA D., DE RISO R., EVANGELISTA A., NICOTERA M.V., SANTO A., SCOTTO DI SANTOLO A. (2004) - *Slope instabilities in the pyroclastic deposits of the carbonate Apennine and the Phlegraean district (Campania, Italy)*.

In stampa su Atti Intern. Workshop on Occurrence and Mechanisms of Flows in Natural Slopes and Earthfills, Iw-Flows2003, Sorrento, maggio 2003.

CANUTI P., CASAGLI N. (1996) - *Considerazioni sulla valutazione del rischio da frana*. Atti Conv. su Fenomeni Franosi e Centri abitati, 29-129, Bologna R.E.R.

CASCINI, L., SORBINO, G. (2002) - *Soil suction measurement over large areas: a case study*. Proc. 3rd Int. Conf. On Unsaturated Soils, 2, 829-834, Recife, Brasil.

CHEVALLEY DE RIVAZ E. (1838) - *Descrizione delle acque termo-minerali e delle stufe dell'isola d'Ischia*. Napoli, pp. XII+276.

CHIESA S., CIVETTA L., DE LUCIA M., ORSI G., POLI S. (1987) - *Volcanological evolution of the island of Ischia*. Rend. Acc. Scienze Fis. e Mat., Special Issue «The volcanoclastic rocks of Campania (Southern Italy)», P. Di Girolamo editors, Liguori Editore.

CIVITA M., DE RISO R., LUCINI P. & NOTA D'ELOGIO E. (1975) - *Studio delle condizioni di stabilità dei terreni della Penisola Sorrentina*. Geol. Appl. Idrogeol., 10, 129-188.

COVELLI N. (1828) - *Cenno sul terremoto d'Ischia avvenuto il 2 febbraio 1828*. «Il Pontano», Quotidiano d'epoca, mese marzo.

CRUDEN D.M., VARNES D.J. (1996) - *Landslide types and processes*. Landslides: investigation and mitigation, Chapter 3, 36-75.

CUBELLIS E. (1985) - *Il Terremoto di Casamicciola del 28 luglio 1883: analisi degli effetti, modellizzazione della sorgente ed implicazioni sulla dinamica in atto*. Boll. Soc. Nat., 94, 157-186, Napoli.

D'ASCIA G. (1867) - *Storia dell'isola d'Ischia*. Napoli.

DEINO AL., SOUTON I., TERRASI F., CAMPAJOLA L. & ORSI G. (1994) - *¹⁴V and ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of the Campanian Ignimbrite, Phlegraean Fields, Italy*. Abstract ICOG, Berkeley, CA, U.S.A.

DELIZIA I. (1987) - *Ischia l'identità negata*. Edizioni Scientifiche Italiane.

DELIZIA I. (1990) - *Ischia d'altri tempi*. Electa Napoli.

DEL PRETE S., MELE R. (1999) - *L'influenza dei fenomeni di instabilità di versante nel quadro morfologico della costa dell'isola d'Ischia*. Boll. Soc. Geol. It., 118, 2, 339-360.

DE RISO R. & NOTA D'ELOGIO E. (1973) - *Sulla franosità della zona sud-occidentale della Penisola Sorrentina (Campania)*. Mem. e Note Ist. Geol. Appl., 12, 1-46, Napoli.

DE SIANO F. (1798) - *Brevi e succinte notizie di storia naturale e civile dell'isola d'Ischia*. Ed. La Rassegna d'Ischia, ristampa, 1994, 126.

DI CRESCENZO G. & SANTO A. (1999) - *Analisi geomorfologica delle frane da scorrimento-colata rapida in depositi piroclastici della Penisola Sorrentina (Campania)*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 22, 57-72.

DI CRESCENZO G. & SANTO A. (2001) - *Studio geologico e geomorfologico-strutturale delle colline di Posillipo e dei Camaldoli*. Relazione inedita, Convenzione CUGRI, Comune di Napoli.

DI GIROLAMO P., GHIARA M.R., LIRER L., MUNNO R., ROLANDI G. & STANZIONE D. (1984) - *Vulcanologia e petrologia dei Campi Flegrei*. Boll. Soc. Geol. It., 103, 349-413.

DONZELLI E. (1910) - *L'alluvione del 24 ottobre 1910 nell'isola d'Ischia e l'opera della squadra napoletana di soccorso*. Tip. Lubrano.

FUSI N., TIBALDI A., VEZZOLI L. (1990) - *Vulcanismo, risorgenza calderica e relazioni con la tettonica regionale nell'isola d'Ischia*. Mem. Soc. Geol. Ital., 971-980.

GIALANELLA C. (1994) - *Pithecosa: gli insediamenti di Punta Chiarito. Relazione preliminare*. Annali di Archeologia e storia antica, nuova ser. n. 1.

GUADAGNO F.M., MELE R. (1995) - *La fragile isola d'Ischia*. Geol. Appl. e Idrogeol., 30, 1, 177-187, Atti I Conv. G.N.G.A., Taormina.

HOEK E. (1995) - *Strength of rock and rock masses*. Int. Soc. for Rock Mech. News Journal, 2, 2, 4-16.

HOEK E., BROWN E. T. (1980) - *Empirical strength criterion for rock masses*. J. Geotech. Engng. Div., ASCE 106, 1013-1035.

HOEK E., BROWN E. T. (1997) - *Practical estimates of rock mass*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 34, 1165-1186.

HOEK E., WOOD D., SHAH S. (1992) - *A modified Hoek-Brown criterion for jointed rock masses*. Proc. Int. Symp. Rock Mech. «Eurock '92». Brit. Geol. Soc., 209-214.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS (1978) - *Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses*. Int. J. for Rock Mech. and Min. Sc., 15, 319-368.

IL MATTINO (1910) - n. 299, 19-27-28 ottobre, Napoli.

JASOLINO G. (1588) - *De' rimedi naturali che sono nell'isola di Pithecosa, hoggi detta Ischia, libri due*. Napoli

JOHNSTON-LAVIS H.J. (1885) - *Monograph on the earthquakes of Ischia: 1881/1883*. London and Naples.

MELE R., DEL PRETE S. (1998) - *Fenomeni di instabilità dei versanti in Tufo Verde di Monte Epomeo (isola d'Ischia - Campania)*. Boll. Soc. Geol. It., 117, 1, 93-112.

MELE R., DEL PRETE S. (1999) - *Lo studio della franosità storica come utile strumento per la valutazione della pericolosità da frane. Un esempio nell'area di Gragnano (Campania)*. Boll. Soc. Geol. It., 118, 1, 91-111.

- MENNELLA C. (1946) - *Regime pluviometrico caratteristico sull'isola d'Ischia*. Centro Studi isola d'Ischia: ricerche, contributi e memorie. Atti del periodo 1944-1970, **1**, 205-220.
- MENNELLA C. (1949) - *Parallelo termo-udometrico Napoli - Isola d'Ischia*. Centro Studi isola d'Ischia: ricerche, contributi e memorie. Atti del periodo 1944-1970, **1**, 315-336.
- MENNELLA C. (1959) - *L'isola d'Ischia gemma climatica d'Italia*. Tipografia F. Armano, Napoli.
- MERCALLI G. (1884) - *L'isola d'Ischia ed il terremoto del 28 luglio 1883*. Mem. R. Istituto Lombardo Sci. Mat. Nat., **15**, 99-154.
- MIGALE L.S., MILONE A. (1998) - *Ricerca storica sulle colate di fango in terreni piroclastici della Campania*. Rassegna Storica Salernitana, **30**, 235-271.
- MONITORE NAPOLETANO (Giornale delle Due Sicilie) (1828) - *Notizie circa un terremoto ad Ischia*. Giornale di martedì 5 febbraio.
- MONTELLA N. (1841) - *Sposizione del disastro avvenuto in Gragnano diretta ad allontanare il timore di nuovi pericoli*. Tip. del Tetrarca.
- MONTI P. (1980) - *Ischia: archeologia e storia*. Tip. F.lli Porzio, Napoli.
- MORGERA V. (1890) - *Le terme dell'isola d'Ischia prima e dopo gli ultimi terremoti distruttivi*. Napoli.
- MURATORI L.A. (1937-38) - *Rerum Italicarum Scriptores*. Tomo VII, parte II: Ryccardi de Sancto Germano: *Cronaca dal 1189 al 1243*.
- OLIVARES, L., PICARELLI, L., ANDREOZZI, L., AVOLIO, B., DAMIANO, E., LAMPITIELLO S. (2002) - *Flowslides hazard in pyroclastic uncemented soils*. Proc. XXI Italian Geotechnical Conference, 173-181, L'AQUILA, PATRON EDITORE.
- OLIVARES, L., ANDREOZZI, L., DAMIANO, E., AVOLIO, B., PICARELLI, L. (2003) - *Hydrologic response of a steep slope in unsaturated pyroclastic soils*. Proc. Intern. Conf. on Fast Slope Movements: Prediction and Prevention for Risk Mitigation, **1**, 391-397, Naples, Patron Editore.
- ORSI G., DI VITO M., ISAIA R. a cura di (2000) - *Volcanic Hazards and Risk in the Parthenopean Megacity*. Fields Excursion July 5-7 1998, Osservatorio Vesuviano.
- ORSI G., GALLO G., ZANCHI A. (1991) - *Simple shearing block-resurgence in caldera depressions. A model from Pantelleria and Ischia*. J. Volcal. Geotherm. Res., **47**, pp. 1-11.
- ORSI G., PIOCHI M., CAMPAJOLA L., D'ONOFRIO A., GIANELLA L., TERRASI F. (1996) - *14C geo-chronological constraints for the volcanic history of the island of Ischia (Italy) over the last 5000 years*. J. Volcanol. Geoth. Res., **71**, 249-257.
- PALMSTRØM A. (1995) - *RMI - a rock mass characterization system for rock engineering purposes*. Ph. D. thesis, University of Oslo, Norway.
- PISCOPO V., FUSCO C., LAMBERTI A. (1994) - *Idrogeologia dei monti Lattari (Campania)*. IV Convegno dei Giovani Ricercatori in Geologia Applicata (Riccione, 18-21 Ottobre 1994), Atti pubblicati sui «Quaderni di Geologia Applicata», **2/95**, 359-366, Bologna.
- RANIERI C. (1841) - *Sul funesto avvenimento della notte del 21 al 22 Gennaio 1841 nel comune di Gragnano*. Boezio, Napoli.
- RITTMANN A., GOTTINI V. (1980) - *L'isola d'Ischia*. Geologia. Boll. Servizio Geologico It., **101**, 131-274.
- ROMANA M. (1985) - *New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes*. Proc. Int. Symp. On «The role of rock mechanics», Zacatecas, 49-53.
- ROMANA M. (1991) - *SMR Classification*. Proc. 7th Int. Congr. on Rock Mechanics, 955-960, Rotterdam, Balkema.
- SANTO A., TUCCIMEI P. (1997) - *Ricostruzione di eventi deformativi di versante tardo-quadernari ed olocenici attraverso studi geomorfologici e datzioni Th/U: l'esempio dell'area di Vico Equense (Campania)*. Il Quaternario, **10**, 447-484.
- SANTO A., SANTANGELO N., BENEDEUCE A., IOVANE F. (2002) - *Pericolosità connessa a processi alluvionali in aree pedemontane: il caso di Castellammare di Stabia in Penisola Sorrentina*. Il Quaternario, **15**, 1, 23-37.
- VARNES D.J. (1978) - *Slope movement types and processes*. Special Report 176 Landslides: analysis and control. Trans. Research Board.
- VEZZOLI L. (1988) - *Island of Ischia*. C.N.R., Quaderni de «La Ricerca Scientifica», **114**, 10, Roma.
- ZUPPETTA A., SAVA A., ZUPPETTA C. (1993) - *Evoluzione tettonica dell'isola d'Ischia: un modello per gli ultimi 33 Ka di attività*. Boll. Soc. Geol. It., **112**, 353-369.