

Applicazione di una metodologia sistemica per la valutazione della suscettibilità al dissesto dei versanti tufacei del Comune di Napoli

E. Bellucci Sessa¹, D. Calcaterra², L. Farina³, D. Nocerino², G. Vilaro¹

¹ Laboratorio di Geomatica e Cartografia, INGV - Osservatorio Vesuviano; ² Dipartimento di Ingegneria Geotecnica, Università di Napoli Federico II; ³ Borsista C.U.G.Ri., Napoli

Riassunto

Lo studio esposto nella presente nota affronta l'analisi della suscettibilità al dissesto dei versanti tufacei nel territorio del Comune di Napoli. La tipologia di dissesti studiati ha una significativa rilevanza nel contesto dell'instabilità dei versanti napoletani, come ben dimostrato in epoca storica, ma anche in occasione di numerose "crisi geomorfologiche" verificatesi nell'ultimo decennio.

L'algoritmo su cui si fonda l'analisi realizzata in ambiente GIS utilizza un modello sistemico, denominato RES (*Rock Engineering Systems* – Hudson, 1992), che si basa sull'analisi delle interazioni tra i vari fattori che intervengono nel problema. Le osservazioni di campagna, l'analisi geostrutturale e le prove effettuate *in situ* hanno permesso di caratterizzare gli ammassi rocciosi secondo i metodi di classificazione codificati dall'*International Society of Rock Mechanics*. Successivamente, attraverso il RES è stato possibile valutare un indice di suscettibilità al dissesto relativo ai versanti tufacei, sulla base del quale è stata prodotta la relativa Carta.

Il presente lavoro si inserisce in un filone più ampio rivolto alla creazione di un Sistema Informativo Geografico Integrato finalizzato allo studio dello stato generale di dissesto del territorio urbano di Napoli. La realizzazione del Sistema, man mano arricchito di nuovi strati tematici raccolti in una base dati unitaria, oltre a costituire il supporto per future ricerche di settore, può fornire il necessario fondamento scientifico alle decisioni riguardanti la protezione e quindi lo sviluppo del territorio.

Abstract

It is here described a study which deals with the analysis of landslide susceptibility related to the tuff slopes in Naples, Italy. This type of instability has an important role in the hydro-geological emergencies which affected the city both in historical times and in recent years.

The developed GIS algorithm is based on a system model, named RES (*Rock Engineering Systems* – Hudson, 1992), which accounts for the interactions among the factors involved into the analysed system. Survey campaigns and *in situ* tests have been carried up to collect the data necessary to allow the characterization of rock masses using classification methods recognized by the *International Society of Rock Mechanics*. Finally, using the RES a landslide susceptibility index has been estimated for the tuff slopes, which allowed to create the related map.

The work here illustrated is part of a larger framework which aim is to create an Integrated Geographic Information System to study the hydro-geological risk in Naples' territory. This System, hopefully enriched with new thematic layers, while providing the basis for future researches in the field, can also provide local decision-makers and community planners with the scientific and technological support for decisions involving management of risks and urban development.

Finalità, obiettivi e metodo del lavoro

Lo studio affrontato in questo lavoro ha come scopo l'analisi del ruolo che le frane in roccia hanno nell'ambito del più ampio tema della franosità del territorio comunale di Napoli.

Il Tufo Giallo Napoletano è uno dei materiali vulcanici in affioramento più diffusi nel territorio urbano della città, il cui stato di fratturazione è, insieme alla morfologia degli affioramenti, tra i principali parametri predisponenti all'instabilità. Le osservazioni di campagna, l'analisi geostrutturale e le prove effettuate in situ sono servite, in tal senso, a caratterizzare gli ammassi rocciosi secondo i metodi di classificazione codificati dall'*International Society of Rock Mechanics*.

Le dinamiche ambientali, nella loro costante opera di modellazione del territorio, costituiscono un elemento determinante, da considerare attentamente per una corretta valutazione dell'evoluzione territoriale. Se, però, verso i fattori ambientali c'è un'unanime riconoscimento del ruolo scatenante che hanno sull'instabilità dei versanti, deve essere ritenuto non meno importante il ruolo che gioca l'attività antropica. Con ciò non bisogna solo pensare alle normali attività di una grande metropoli, molto dinamica e quindi di difficile controllo, ma anche ad errate pratiche di modifica del territorio. Nel presente studio si è centrata l'attenzione sul "sistema ambiente", cercando di portare in conto il maggior numero di termini che si sono ritenuti influenti sulla suscettibilità al dissesto. Quest'ultima, secondo il criterio di analisi del rischio indicato dall'UNESCO ($R = P \times E \times V$) coincide, a meno della previsione temporale, con la pericolosità ed è quindi il fondamentale punto di partenza per la valutazione del rischio.

Nel recente passato l'area urbana di Napoli è stata colpita da una numerosa serie di dissesti. Come riportato da Alberico et al. (2005), i circa 4.400 dissesti censiti tra il 1986 ed il 2002 sulla base degli interventi effettuati dai VV.F. si distribuiscono secondo tipologia e causa (accertata o presunta) come mostrato in Figura 1.

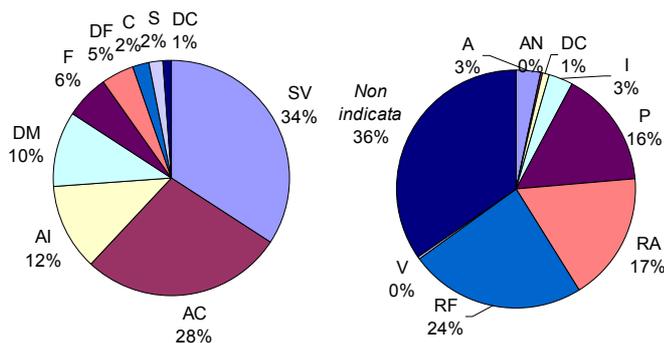


Figura 1 – Ripartizione per tipo (sinistra) e causa (destra) dei dissesti verificatisi a Napoli tra il 1986 ed il 2002 (Alberico et al., 2005).

Legenda: **AC** Avvallamenti e Cedimenti; **AI** Allagamenti e Infiltrazioni; **C** Crolli da costoni lapidei; **DC** Dissesti in cavità; **DF** Dissesti in fondazione; **DM** Dissesti a muri di sostegno; **F** Frane; **S** Smottamenti; **SV** Sprofondamenti e Voragini; **A** Azione Antropica; **AN** Esondazione Alveo Naturale; **DC** Dissesto di cavità; **I** Infiltrazione; **P** Piogge; **RA** Rottura condotta idrica; **RF** Rottura condotta fognaria; **V** azione della Vegetazione.

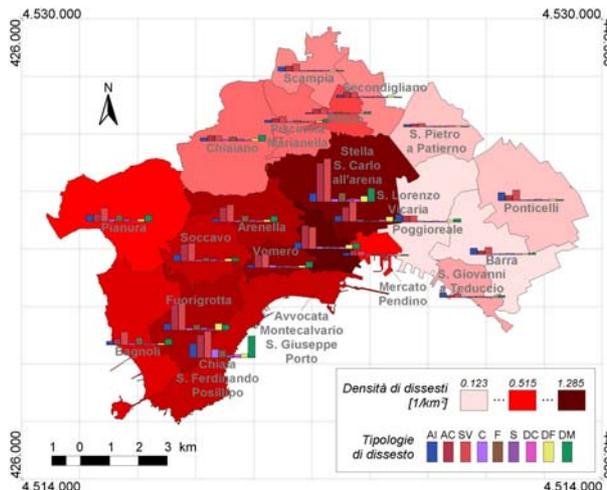


Figura 2 – Densità dei dissesti e numerosità delle tipologie nelle diverse circoscrizioni (Bellucci Sessa et al., 2005). Per le sigle riportate in legenda, cfr. Figura 1.

Per quanto riguarda le cause, si nota che per più di un terzo dei dissesti esse non sono chiaramente individuate, ma i circa 3.500 eventi per i quali si è riconosciuto il fattore causale costituiscono certamente un campione sufficiente per un'analisi significativa delle relative problematiche. Circa la distribuzione geografica dei dissesti, inserendo i dati nel modello geografico (fig. 2), si può osservare che essi hanno colpito maggiormente: a) i quartieri collinari centrali ed il centro storico caratterizzati rispettivamente da una morfologia acclive e dalla presenza delle infrastrutture di più antico impianto, oltre che dal maggiore carico di attività urbane; b) la zona occidentale, nella quale si registra non solo una morfologia articolata, ma anche un intenso e disorganizzato incremento edificato-

rio nell'ultimo cinquantennio. Di contro, i quartieri settentrionali e quelli orientali, dove non si ha la concomitanza di tanti fattori negativi, sono stati interessati in misura più contenuta.

La metodologia adottata nasce per lo studio dei problemi di ingegneria delle rocce (*Rock Engineering Systems*) e per questo ben si adatta al caso di studio (Hudson, 1992; Mazzoccola, 1992; Migliore, 2001; Bellucci Sessa et al., 2005, 2006). Il RES, metodo basato sui concetti della Teoria dei Sistemi, ha come elemento cardine la matrice delle interazioni che, in funzione dell'oggetto di studio (obiettivo del sistema), è, di volta in volta, costruita sulla base di valutazioni esperte. La matrice ha la funzione di presentare e sintetizzare il sistema in esame e di costituire la base per delle semplici elaborazioni matematiche fondate su una classificazione semiquantitativa dei parametri e delle loro reciproche interazioni.

Il carattere generale della metodologia RES consente la sua utilizzazione in tutte quelle problematiche ingegneristiche di valutazione dell'influenza che specifici parametri hanno sullo sviluppo di un determinato fattore o scopo.

Lo studio compiuto ha fatto uso di tutte le procedure tipiche dei sistemi di informazione geografica attraverso cui ha preso corpo. I *software* GIS, basandosi sia sulle caratteristiche dell'oggetto che sulla sua forma e posizione, hanno permesso di strutturare l'algoritmo di calcolo sviluppato nel RES, offrendo numerosi spunti per maggiori approfondimenti.

È stato, infatti, compiuto un ulteriore passo verso la creazione di un Sistema Informativo Geografico Integrato (Alberico et al., 2005; Bellucci Sessa et al., 2005, 2006), in cui siano riversati i dati disponibili, oltre che sui dissesti, su tutti i fattori che su di essi hanno influenza. Sistema Informativo nel quale i dati continuano ad affluire nel corso degli anni tramite le diverse attività scientifiche e tecniche svolte dall'Università di Napoli "Federico II" e dal CUGRi (Consorzio interUniversitario per la previsione e prevenzione dei Grandi Rischi), oltre che dal Comune di Napoli e dai Vigili del Fuoco, dall'Osservatorio Vesuviano, dal CIRAM (Centro Interdipartimentale Ricerca Ambientale), dalla Provincia di Napoli e dalla Regione Campania.

L'applicazione e i risultati del caso di studio

Negli ammassi di Tufo Giallo Napoletano, tra gli elementi intrinseci al pendio predisponenti alla instabilità, quali i fattori litotecnici, morfologici ed idrogeologici, si evidenzia la particolare importanza che assumono le caratteristiche strutturali e morfologiche del versante, potendosi escludere a priori la rilevanza dei fattori idrogeologici per la mancanza di una circolazione idrica interna agli ammassi.

Nonostante la complessità della fase di rilevamento dati, molta importanza ha assunto l'indagine geostrutturale e geomeccanica, a sua volta combinata, tramite l'utilizzo di *software* GIS, della Carta geolitologica della città di Napoli e delle frane, sia recenti sia storiche, catalogate nei *database* del CUGRi.

Per lo sviluppo del modello, si sono adoperati i seguenti dati digitali, georiferiti nel sistema di coordinate metriche UTM-WGS84:

- La Carta Geolitologica e la Carta delle Isopache (profondità di rinvenimento del tetto del tufo) del Comune di Napoli, fornite dal Servizio Sicurezza Geologica e Sottosuolo del Comune di Napoli (cartografia legge 9/83 scala 1:4000)
- La Carta - inventario delle frane recenti rilevate dal CUGRi, aggiornata al 2001
- La Carta - inventario delle frane storiche relative al periodo 1886÷1996
- L'ubicazione delle frane storiche relative al periodo 1868÷1885
- Il modello digitale del terreno (DTM), preparato dal Laboratorio di Geomatica e Cartografia dell'Osservatorio Vesuviano, con risoluzione 5 m, dal quale sono state derivate le Carte delle acclività e dell'esposizione dei versanti.

Infine i dati ricavati dal rilievo geomeccanico sono stati utilizzati per la determinazione della qualità dell'ammasso roccioso, esprimibile attraverso appositi indici che hanno lo scopo di permettere una valutazione preliminare delle caratteristiche meccaniche dell'ammasso nel suo complesso.

Per l'applicazione della metodologia RES al caso in esame è stata adottata una matrice dei parametri a 21 elementi, mutuata da quella usata per un'analogia valutazione dell'instabilità potenziale di alcune scarpate di Tufo Giallo Napoletano dell'area dei Campi Flegrei (fig. 3) (Migliore, 2001). Inoltre, data l'analogia conformazione litologica e morfologica dei versanti oggetto di studio, è stata anche adottata la stessa codifica della matrice utilizzata nello studio citato.

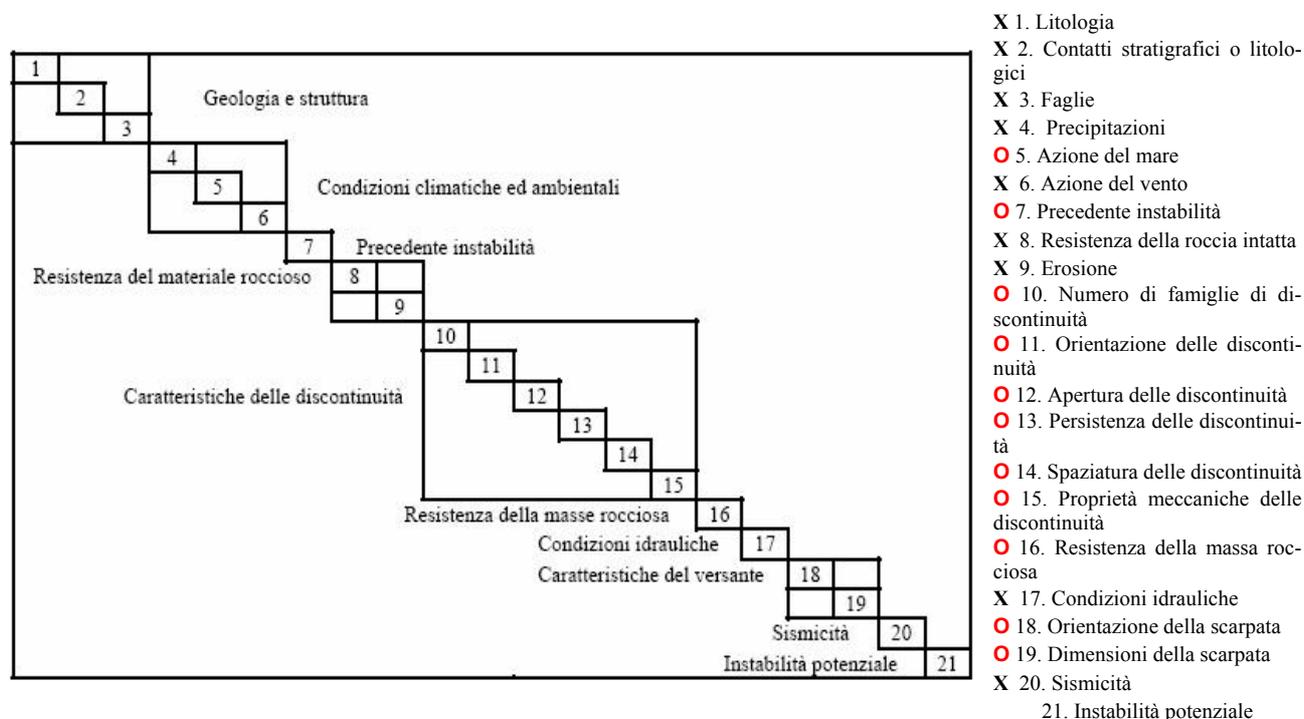


Figura 3 – Matrice degli elementi che costituiscono lo sviluppo del problema. O Intervenuti nello sviluppo dell'obiettivo. X Non utilizzati per lo sviluppo dell'obiettivo.

Lo sviluppo del metodo adottato è stato effettuato affrontando una doppia classificazione semiquantitativa. La prima ha riguardato i termini che costituiscono la matrice del RES per quantificare la differente importanza che essi hanno all'interno del sistema. La matrice è stata codificata secondo una classificazione a cinque valori, da 0 (nessuna interazione) a 4 (interazione critica). Questo schema, ripreso dallo studio di Migliore (2001), è stato mantenuto inalterato ritenendolo idoneo anche per il presente caso. La seconda classificazione semiquantitativa, invece, riguarda la distribuzione dei valori associati ad ogni singolo parametro. Si tratta, in pratica, di dividere i valori associati al parametro secondo una scala, ad esempio di tre livelli, ed attribuire ad ogni classe un valore numerico che esprima il peso che ha quel valore sull'instabilità generale del versante. In particolare, in questo studio, si è scelta una classificazione a tre livelli, attribuendo i pesi: 1 per indicare bassa influenza, 2 per indicare media influenza e 3 per indicare alta influenza.

L'applicazione dell'algorithmo del RES è stata implementata nel GIS in modo da poter moltiplicare il peso della classe di ogni parametro esaminato per l'intensità interattiva associata. In tal modo si è ottenuta la distribuzione geografica dell'indice di suscettibilità per l'intera area indagata (fig. 4). Da una visione generale sull'intero territorio cittadino, risalta l'alta suscettibilità di tre aree in particolare: la collina dei Camaldoli, sita nella zona nord-occidentale della città; i versanti occidentale (*pro parte*) e settentrionale della collina di Posillipo, all'estremo sud-ovest della città; parte del corso Vittorio Emanuele, sulle pendici della collina di S. Martino ubicata nell'area centrale della città. Si osserva, poi, che predominano le aree a media suscettibilità mentre sono di ridotta estensione quelle a bassa suscettibilità. L'alta suscettibilità di queste aree è spesso associata all'alta velocità di perdita di resistenza da parte del tufo, che produce fenomeni improvvisi e rapidi e per questo molto pericolosi (Evangelista, 1980), pertanto le aree così definite dall'algorithmo applicato sono da ritenersi in condizioni di incipiente instabilità. Per le aree codificate a media suscettibilità, si può affermare

che, al momento attuale, non tutti i valori assunti dai parametri più influenti sull'instabilità si trovano nella peggiore classe possibile, ma il peggioramento di pochi di essi potrebbe portare il versante all'instabilità in tempi relativamente brevi. In tutte le aree a bassa suscettibilità, si può ritenere che i termini presi in considerazione dal sistema non producano effetti tanto rapidi o tanto gravosi per l'ammasso roccioso da provocare frane in tempi brevi.

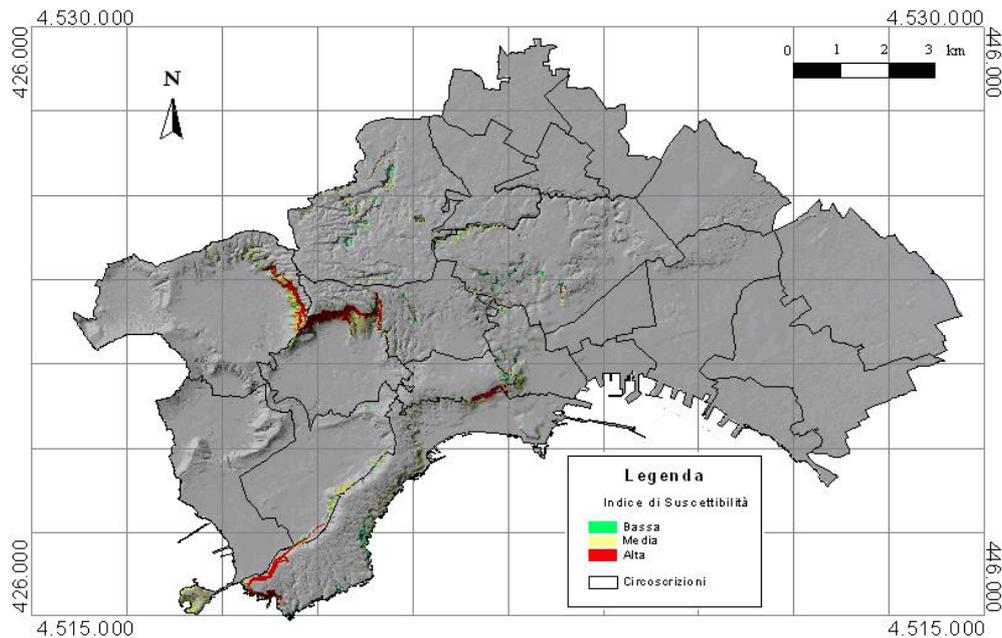


Figura 4 – Carta della suscettibilità a franare dei versanti in Tufo Giallo.

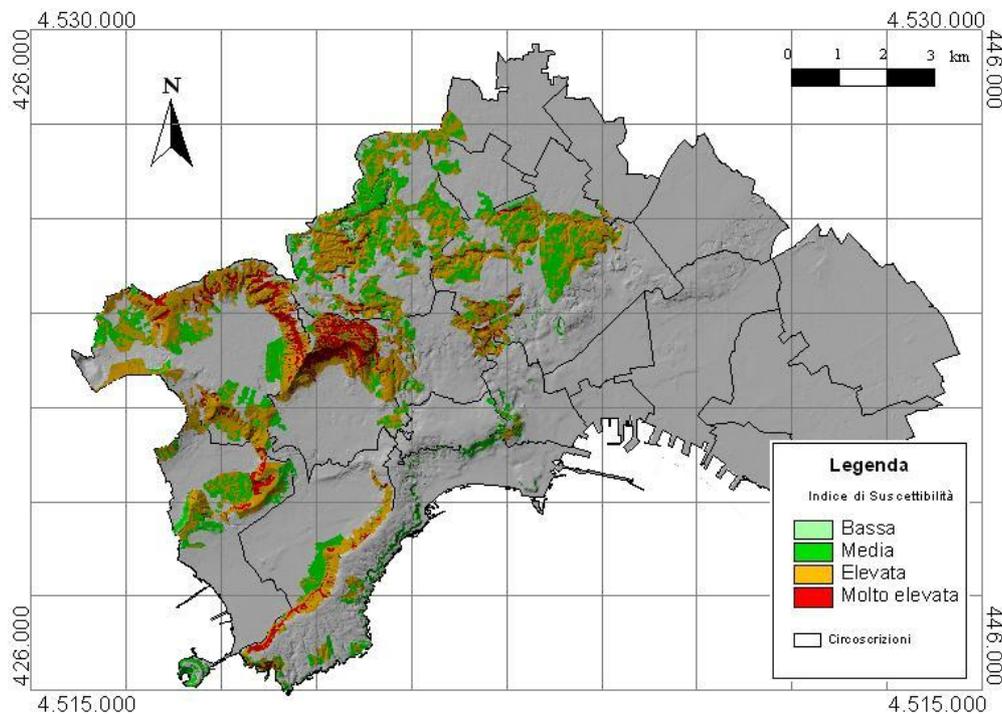


Figura 5 – Carta della suscettibilità integrata.

Il lavoro fin qui descritto è stato infine integrato con quello sviluppato in un precedente studio (Bellucci Sessa et al., 2005, 2006) riferito alle frane in piroclastiti sciolte; ciò ha consentito di giungere ad una Carta della Suscettibilità da Frana complessiva (fig. 5). L'integrazione delle due Carte è stata operata secondo diversi criteri, previo un riadattamento delle classifiche ottenute, poiché le matrici relative ai due lavori si basavano su scale numeriche diverse. La soluzione adottata è stata quella di

normalizzare entrambe le classifiche ad una scala a quattro valori in analogia alla classificazione adottata dalla Carta della Pericolosità da Frana redatta dall'Autorità di Bacino Nord-Occidentale Campania (AA. VV., 2002). Uno dei criteri di integrazione più interessanti è consistito nel sostituire i nuovi valori ottenuti ai precedenti nelle aree di versante con acclività maggiore di 37° (fig. 5). La scelta di questo valore dell'acclività è derivata dall'osservazione che nelle aree con acclività inferiore a questa soglia si è verificato nel passato un numero trascurabile di frane da crollo. Nelle aree di versante con acclività minore di 37°, si è, invece, mantenuto l'indice calcolato in precedenza che, per l'attuale grado di approfondimento dello studio, è da ritenersi maggiormente adeguato. In queste aree, tuttavia, si potrebbe pensare di sviluppare in futuro una matrice di dettaglio comune, che porti in conto termini riguardanti sia le rocce lapidee che le rocce sciolte.

Conclusioni

Lo studio dell'instabilità nei versanti di Tufo Giallo Napoletano qui presentato si inserisce in un più ampio contesto che ha per scopo quello di approfondire le conoscenze sulla propensione al dissesto del territorio napoletano. I dati registrati nella prima fase di indagini di campagna, integrati in un unico *database* con le informazioni su frane, litologia e morfologia, hanno consentito di accrescere e sviluppare il modello in maniera soddisfacente. La scelta di un sistema con un alto numero di parametri, inoltre, non solo ha consentito di approfondire le conoscenze di una parte delle problematiche che investono i versanti del territorio napoletano, ma ha anche segnato la strada per percorsi di approfondimento futuri. I risultati ottenuti con le Carte prodotte costituiscono peraltro un utile supporto alla programmazione degli interventi ed alla pianificazione urbana, potendosi individuare le aree in cui le caratteristiche negative si concentrano e sulle quali è necessario intervenire attivamente, anche solo attraverso procedure di monitoraggio, ovvero nelle quali si deve intervenire a protezione di insediamenti abitativi o ancora quelle in cui è sconsigliabile insediare attività.

Inoltre il presente studio, che ha analizzato una larga parte dei versanti che ricadono in ambito urbano, mostra come sia auspicabile anche l'integrazione del *database* realizzato con informazioni riguardanti le dinamiche antropiche che investono i versanti tufacei. Per una città come Napoli, in cui i dissesti in ambito urbano sono sempre più frequenti, risulta certamente opportuno proseguire nella direzione intrapresa, approfondendo ulteriormente lo studio con l'inserimento di nuovi parametri e/o strati informativi.

Bibliografia

- AA.VV. (2002), *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania*. 4 voll., TPS – Selca, Napoli.
- Alberico I., Ramondini M., Zito G. (2005), "Vulnerabilità del sottosuolo nel centro urbano di Napoli: una proposta metodologica di studio", (in corso di pubblicazione).
- Bellucci Sessa E., Calcaterra D., Del Giudice G., Farina L., Ramondini M., Vilardo G. (2005), "Una metodologia sistemica per lo studio del dissesto idrogeologico del Comune di Napoli", *9ª Conferenza annuale ASITA*, Catania.
- Bellucci Sessa E., Calcaterra D., Del Giudice G., Farina L., Ramondini M., Vilardo G. (2006), "Verso un Sistema Informativo Geografico Integrato per la valutazione della suscettibilità al dissesto del territorio di Napoli", *Questioni di Ingegneria Geotecnica, Scritti in onore di Arturo Pellegrino*, Helvius Edizioni, Benevento.
- Evangelista A. (1980), "Influenza del contenuto d'acqua sul comportamento del Tufo Giallo Napoletano", *XIV Convegno Nazionale di Geotecnica*, Firenze.
- Hudson J. A. (1992), *Rock Engineering Systems: Theory and Practice*, New York, Ellis Horwood.
- Mazzoccola D. F. (1992), *A comprehensive method of rock mass characterization for indicating slope instability*, MoS Thesis, Department of Mineral Resources Engineering - Royal School of Mines. London, Imperial College of Science, Technology and Medicine.
- Migliore, C. (2001), *Instabilità e discontinuità negli ammassi di tufo giallo napoletano*, Facoltà di scienze matematiche fisiche e naturali, Napoli, Università "Federico II".