

UNA METODOLOGIA SISTEMICA PER LO STUDIO DEL DISSESTO IDROGEOLOGICO DEL COMUNE DI NAPOLI

E. Bellucci Sessa¹, D. Calcaterra², G. Del Giudice³, L. Farina⁴, M. Ramondini², G. Vilaro¹

¹ *Laboratorio di Geomatica e Cartografia, INGV - Osservatorio Vesuviano*

² *Dipartimento di Ingegneria Geotecnica, Università di Napoli Federico II*

³ *Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale, Università di Napoli "Federico II"*

⁴ *Borsista C.U.G.Ri., Napoli*

Riassunto

L'intensa attività di ricerca tecnico-scientifica condotta sui dissesti che colpiscono il territorio napoletano ed alle loro cause ha prodotto negli ultimi anni una notevole mole di dati. La presente nota illustra un'applicazione di un prototipo di Sistema Informativo Geografico Integrato, finalizzato allo studio dello stato di dissesto del territorio urbano. L'algoritmo su cui si fonda l'analisi 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. Attraverso tale algoritmo è stato possibile valutare un indice di suscettibilità al dissesto, sulla base del quale sono state prodotte le carte della suscettibilità relative a versanti, muri di sostegno, rete fognaria e rete idrica. La realizzazione del Sistema, che potrà essere arricchita di nuovi strati tematici via via raccolti in una base dati unitaria, costituisce la base per future ricerche di settore fornendo, al contempo, quel necessario fondamento scientifico e tecnologico alle decisioni ed azioni riguardanti la protezione e quindi lo sviluppo del territorio.

Abstract

The considerable number of technical and scientific research activities carried up during last years produced a significant volume of data relating to both the causes and effects of instabilities that affect the Neapolitan territory. Using such data, and further data acquired, it has been possible to produce a prototype of an Integrated Geographic Informative System designed to characterize the instability susceptibility of the city of Naples, Italy. The developed GIS model algorithm is based on a system model, named RES (*Rock Engineering Systems* – Hudson, 1992), which accounts for interactions among the several factors involved into the system. The implemented algorithm allows to estimate an instability susceptibility index, which in turn led to the creation of susceptibility maps for slopes, retaining walls, sewer network and water supply network. This System, which could be enriched as soon as new thematic data will be available, provides the basis for future researches in the field and make available to local decision-makers, agencies and community planners basic information to be used in managing the urban instability risk.

Introduzione

Da diversi anni è in atto il tentativo di affrontare in modo organico il problema del dissesto idrogeologico del territorio di Napoli, contemplando le molteplici manifestazioni e le diverse cause. La frequenza e l'entità dei dissesti che si sono verificati nella città, almeno a partire dal 1996-97, hanno infatti creato vere e proprie condizioni di emergenza in relazione alle quali è stata avviata un'intensa attività di ricerca, sollecitata dall'Amministrazione Comunale, con il significativo contributo di ricercatori di area geologica, geotecnica ed idraulica dell'Università Federico II.

La notevole quantità di dati resi disponibili da tale attività ha permesso di avviare studi finalizzati alla definizione di procedure integrate di analisi delle varie tipologie di dissesto che coinvolgono il

concomitanza di tanti fattori negativi, sono stati interessi in misura più contenuta.

Metodo di analisi

La classificazione della suscettibilità al dissesto è stata realizzata mediante l'applicazione della metodologia RES (*Rock Engineering Systems* – Hudson, 1992), che utilizza un approccio sistemico in base al quale l'oggetto dello studio viene analizzato nei suoi elementi costituenti e nelle relazioni che si instaurano tra di essi. Per gestire simultaneamente gli elementi e le interazioni che compongono il modello sistemico, nella metodologia RES è usata una matrice delle interazioni, costruita disponendo i principali soggetti o parametri del sistema lungo la diagonale principale e le mutue interazioni nelle celle non diagonali (Fig. 3). L'interazione fra due elementi del sistema P_1 e P_2 presenta due diversi aspetti: l'influenza di P_1 su P_2 e quella di P_2 su P_1 , che sono, in generale, diversi tra loro. Nella matrice delle interazioni le suddette relazioni sono poste, rispettivamente, l'una nella cella $1,2$ e l'altra nella cella complementare $2,1$.

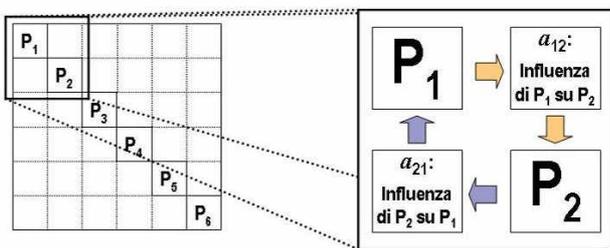


Figura 3 – Schema esemplificativo di matrice delle interazioni.

	P_1							$\sum_j a_{ij}$
	P_2		2					
		P_3	1					
			1					
	3	0	2	P_4	3	1	C_4	
				2	P_6			
				0		P_8		
$\sum_i a_{ij}$							E_4	

Figura 4 – Esempio di calcolo degli indici di causa e di effetto di un parametro.

L'approccio metodologico utilizzato ha previsto lo sviluppo del lavoro in tre fasi.

La prima fase ha riguardato la codifica della matrice delle interazioni ed il calcolo dell'intensità interattiva. La codifica è stata eseguita secondo un metodo semi-quantitativo esperto, cioè attribuendo alle interazioni un peso numerico in relazione alla loro significatività o intensità, opportunamente stimata. In considerazione delle informazioni a disposizione e del grado di approfondimento dello studio, si è scelto di adottare la seguente scala di valori: 0 = nessuna interazione; 1 = interazione debole; 2 = interazione media; 3 = interazione forte.

Avendo codificato in tal modo la matrice delle interazioni, è stato possibile valutare l'importanza complessivamente assunta da ogni parametro sia in quanto causa, cioè in base alla sua influenza sul sistema, sia in quanto effetto, cioè in base all'influenza del sistema su di esso. Tale stima è stata effettuata (v. Fig. 4) sommando, per ogni singolo parametro P_i del sistema, i pesi relativi, rispettivamente, a tutte le interazioni che partono da esso ($C_i = \sum_j a_{ij}$) ed a tutte le interazioni che giungono ad esso ($E_j = \sum_i a_{ij}$).

Sommando, infine, l'indice di causa C_i e l'indice di effetto E_i di un dato parametro, si è ottenuto il suo indice di intensità interattiva I_i , che rappresenta una sintesi efficace del ruolo del parametro stesso all'interno del sistema.

La seconda fase ha riguardato la misura dei parametri e la classificazione delle misure. A tal fine è stata definita un'unica scala di classificazione in cui inquadrare le misure di tutti i parametri aventi originariamente unità di misura differenti o, in alcuni casi, definiti secondo scale ordinali non numeriche. La classificazione adottata ha previsto una scala relativa a tre livelli (1-3), sulla base della quale è stato attribuito un peso tanto più alto quanto maggiore risultava la propensione al dissesto. Nei casi in cui la misura del parametro non era disponibile, ovvero quando per un sito o un'infrastruttura non era definibile un certo parametro, ad esso è stato assegnato valore 0.

La terza ed ultima fase è consistita nel valutare l'Indice di Suscettibilità (IS), la cui definizione deriva a sua volta da quella dell'Indice di Instabilità Potenziale individuato da Mazzoccola (1992) come

espressione della potenzialità a franare di un versante in roccia. Nel caso dei sistemi relativi alle infrastrutture urbane, l'IS è stato computato con riferimento ad un oggetto elementare (muro, tratto di condotta); nel caso dei versanti, invece, è stata usata come unità di riferimento il *pixel* (di dimensioni reali $25 m^2$). Ciò premesso, il calcolo è stato effettuato tramite la sommatoria:

$$IS_k = \sum_i (I_i \cdot V_{k,i}) \quad [1]$$

in cui: I_i è il valore dell'intensità interattiva del parametro ' P_i ' mentre $V_{k,i}$ è la misura del parametro ' P_i ' per il *pixel* o l'oggetto ' k ', ovvero il valore della classe in cui tale misura ricade.

Utilizzando nella [1] come coefficiente di peso il valore effettivo dell'intensità interattiva, anziché un coefficiente (al solo scopo di ridurre i tempi di elaborazione), sono stati ottenuti valori dell'Indice di Suscettibilità distribuiti su scale di numeri interi, diverse per i distinti sotto-sistemi. I valori ottenuti, pur non avendo un preciso significato fisico, forniscono una classifica in termini relativi all'interno di una stessa classe di fenomeni.

Applicazione e risultati

Per applicare la metodologia precedentemente descritta, sono stati inizialmente definiti i principali fattori in causa per ognuno dei sotto-sistemi esaminati. Ciò ha permesso di costruire delle matrici di bassa risoluzione usate per un primo inquadramento del problema. Successivamente, sono stati individuati una serie di parametri necessari e/o idonei a descrivere le interazioni presenti nei singoli sotto-sistemi ed è stata preparata per ognuno una prima versione di una matrice di maggiore risoluzione. Allo scopo, mentre per i versanti e per la rete fognaria è stato possibile riferirsi a precedenti lavori (Mazzoccola, 1992; Caruso et al., 2002), per la rete idrica e per i muri di sostegno tali matrici sono state elaborate per la prima volta in occasione di questo studio. Sottoponendo successivamente i dati esistenti ad un processo di acquisizione, verifica ed elaborazione, sono stati individuati i parametri da prendere in considerazione e quelli da scartare per incompatibilità col grado di risoluzione o per insufficienza di informazioni. Ridefinendo iterativamente i parametri selezionati e le loro interazioni è stato possibile raffinare progressivamente le matrici (Farina 2005). In Fig. 5 sono riportati i parametri utilizzati alla fine del processo.

Versanti	Muri di Sostegno	Rete Fognaria	Rete Idrica
<ul style="list-style-type: none"> • precedente instabilità • acclività • esposizione • erosione • uso del suolo 	<ul style="list-style-type: none"> • tipologia e materiale • altezza • spessore • erosione • drenaggio • terrapieno e spinta • piano di posa e carico limite • localizzazione e carichi 	<ul style="list-style-type: none"> • materiale • dimensioni • pendenza • profondità di posa • difetti strutturali, infiltrazioni e perdite • età • carico idraulico • solidi sospesi e sedimenti • terreno e falda • localizzazione e carichi in superficie 	<ul style="list-style-type: none"> • materiale • diametro • difetti strutturali e perdite • pressione di esercizio • terreno e falda • localizzazione, carichi e attività in superficie

Figura5 – Parametri delle matrici delle interazioni.

Nel caso del sistema "versanti", per elaborare le classifiche dei diversi parametri considerati è stata utilizzata la base-dati relativa all'ubicazione delle frane registrate negli anni tra il 1997 e il 2001. Per ognuna delle caratterizzazioni disponibili del territorio, ricavate dal modello digitale del terreno e dalla carta dell'uso del suolo, sono stati ricavati i valori più frequentemente associati al verificarsi di eventi franosi, ai quali assegnare le classi più alte della scala.

Per gli altri tre sistemi, relativi alle infrastrutture urbane, la classificazione è stata operata con riferimento al funzionamento delle infrastrutture stesse nonché a dati di letteratura. Le classi della scala sono state tarate sull'insieme dei valori reali contenuti nelle basi-dati a disposizione. Nell'applicazione di queste procedure, tali basi-dati, per quanto estremamente ampie, in alcuni casi si sono rivelate incomplete, o addirittura internamente od esternamente incongruenti. Queste lacune sono state diversamente corrette e/o integrate; ciononostante esse hanno, in definitiva, evidenziato l'insufficienza dei dati disponibili per caratterizzare in modo completo ed omogeneo il territorio esaminato. Ad esempio, nel caso della rete fognaria è stato classificato completamente solo il 43% della rete esaminata (128 km su 300), mentre per i tratti rimanenti mancano uno o più parametri. Per i tre sistemi relativi all'ambito urbanizzato, è stata operata la classificazione degli elementi in base alla propria localizzazione, considerando sia la densità edificatoria del quartiere, come indice del carico dovuto alle attività urbane, sia l'importanza della strada di pertinenza, e quindi l'entità del traffico e delle altre sollecitazioni gravanti sulle infrastrutture ed i terreni. Alle infrastrutture ricadenti a cavallo di aree con diversa classificazione è stata attribuita la classe peggiore. Una volta configurate le matrici delle interazioni ed effettuate le classifiche dei parametri, si sono valutati, tramite la [1], i rispettivi Indici di Suscettibilità, ottenendo, per i diversi sottosistemi, le mappe riportate nelle Figure 6 – 9.

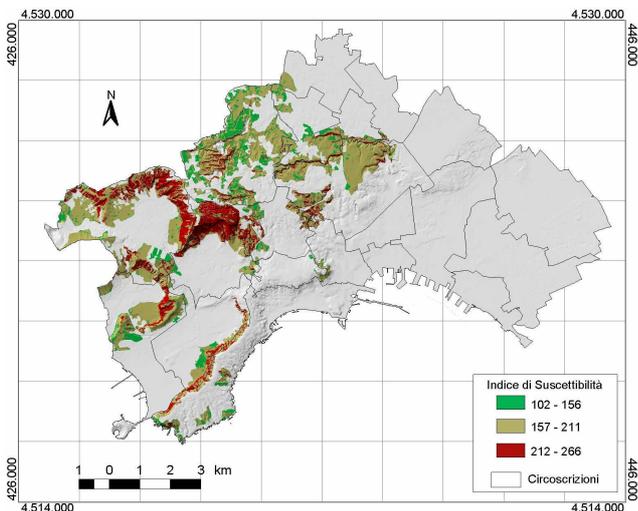


Figura 6 – Carta dell'indice di suscettibilità a franare dei versanti.

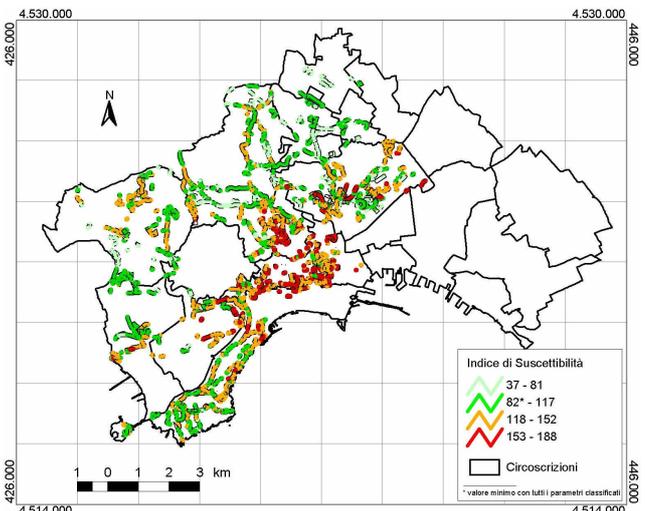


Figura 7 – Carta dell'indice di suscettibilità al dissesto dei muri di sostegno.

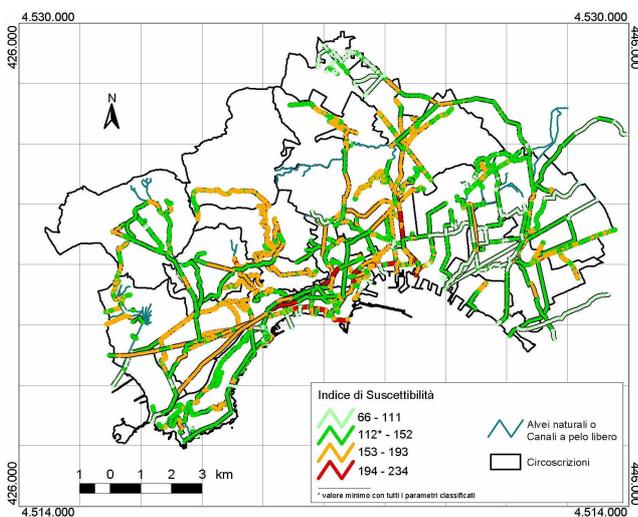


Figura 8 – Carta dell'indice di suscettibilità al dissesto della rete fognaria.

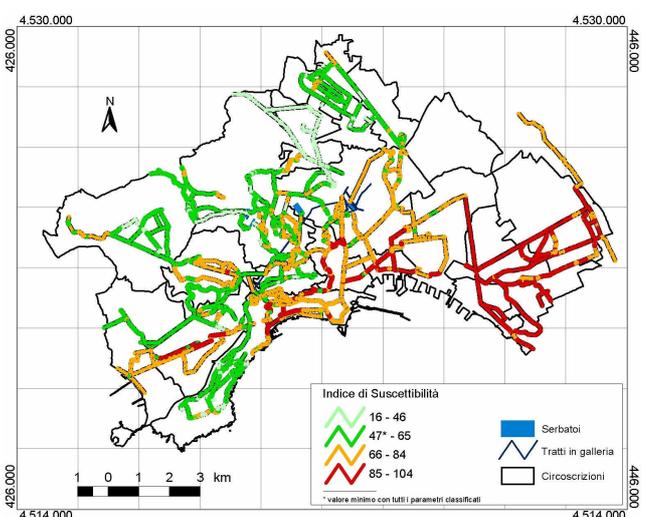


Figura 9 – Carta dell'indice di suscettibilità al dissesto della rete idrica.

Conclusioni

Lo studio condotto ha in primo luogo permesso la raccolta e la classificazione in un unico sistema informativo di una grande mole di dati di diversa natura e provenienza. Oltre ai dati relativi ai dissesti ed alle infrastrutture, sono stati infatti reperiti e/o prodotti ed informatizzati dati sulla morfologia del territorio (derivati da un DTM ad alta risoluzione), dati relativi alle caratteristiche dei terreni (sondaggi stratigrafici, prove penetrometriche, carte tematiche), nonché dati riguardanti l'ambito territoriale (perimetrazione dell'area urbanizzata, rete stradale, ecc.). L'osservazione, tuttavia, della parziale incompletezza delle basi-dati disponibili per il caso in studio pone in risalto il fatto che ulteriori significativi sviluppi nella caratterizzazione, nella comprensione e nell'interpretazione dei fenomeni in oggetto devono prevedere un'adeguata integrazione ed ampliamento delle informazioni necessarie alla definizione dei parametri da cui dipende la rappresentazione del sistema indagato.

Ciò nonostante, i risultati ottenuti per i sistemi "versanti" e "muri di sostegno", malgrado l'assenza di una dettagliata caratterizzazione geologica e fisico-meccanica dei terreni, costituiscono un'inedita zonazione della suscettibilità al dissesto che consente, altresì, di individuare aree particolarmente esposte ai rispettivi rischi. Anche nel caso dei sistemi "rete fognaria" e "rete idrica", nonostante siano state trascurate le porzioni di più basso livello gerarchico (alle quali è notoriamente collegata la maggiore frequenza dei dissesti meno gravi) la distribuzione dei valori dell'Indice di Suscettibilità consente di individuare le zone maggiormente esposte, su cui concentrare l'attenzione. Nelle carte relative alle infrastrutture urbane si può osservare che esistono anche zone nelle quali non è stato stimato un valore della suscettibilità al dissesto congruente con quanto emerge dall'analisi dei dati storici, per le quali risulta maggiormente necessario un approfondimento.

Va infine sottolineato che, sebbene i risultati raggiunti con il presente lavoro costituiscano una prima elaborazione di base, la procedura con la quale sono stati ottenuti è da ritenersi sufficientemente rigorosa affinché il loro esame possa fornire utili indicazioni. Essi, infatti, si prestano ad essere proficuamente utilizzati per indirizzare la programmazione degli interventi di manutenzione, recupero e ristrutturazione. Al contempo essi appaiono ugualmente utili, in sede di pianificazione e programmazione urbana, per conoscere quali aree del territorio non sia opportuno "caricare" ulteriormente di insediamenti o flussi, ovvero quali zone converrebbe alleggerire del carico attualmente sopportato, per non aumentare il rischio a cui sono sottoposti gli utenti o peggiorare le condizioni di funzionamento delle infrastrutture. È ovvio che, sia in termini di gestione del territorio sia in termini di riduzione dei rischi, i migliori risultati possono essere ottenuti con la sinergia tra l'approccio preventivo e quello pianificatorio ed a questo proposito si sottolinea che i risultati raggiunti in questo lavoro vedono concrete prospettive di perfezionamento in un'adeguata diffusione e scambio delle informazioni di carattere settoriale tra gli Enti e le Istituzioni preposti alla tutela del territorio.

Bibliografia

- Alberico I., Ramondini M., Zito G. (2005), Vulnerabilità del sottosuolo nel centro urbano di Napoli: una proposta metodologica di studio. (in corso di pubblicazione).
- Caruso, G., Salese, M. R., Del Giudice, G., Rasulo, G., (2002), Operational method for the analysis of urban drainage systems. Proc. Intern. Conference on Sewer Operation and Maintenance - SOM 2002, Bradford, UK.
- Farina L. (2005). *Un approccio sistemico allo studio della suscettibilità al dissesto idrogeologico del Comune di Napoli*. Tesi di Laurea, Dipartimento di Ingegneria Geotecnica & Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale. Napoli, Università "Federico II".
- 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.
- Zito G. (2003). *Analisi dei dissesti del sottosuolo della città di Napoli*. Tesi di Laurea, Dipartimento di Ingegneria Geotecnica. Napoli, Università "Federico II".