

# Verso un Sistema Informativo Geografico Integrato per la valutazione della suscettibilità al dissesto del territorio di Napoli

**E. Bellucci Sessa\***, **D. Calcaterra†**, **G. Del Giudice‡**, **L. Farina\*\***,  
**M. Ramondini†**, **G. Vilardo\***

*\*Laboratorio di Geomatica e Cartografia, Osservatorio Vesuviano, INGV  
Via Diocleziano 328  
80124 - Napoli*

*†Dipartimento di Ingegneria Geotecnica - Università di Napoli Federico II  
Via Claudio 21  
80125 - Napoli*

*‡Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale - Università di Napoli  
Federico II  
Via Claudio 21  
80125 - Napoli*

*\*\*Borsista C.U.G.Ri.*

---

*SOMMARIO: L'intensa attività di ricerca tecnico-scientifica condotta negli ultimi anni riguardo ai dissesti che colpiscono il territorio napoletano ed alle loro cause ha prodotto una notevole mole di dati. Con essi, ed altri all'uopo acquisiti, è stato possibile produrre un prototipo di Sistema Informativo Geografico Integrato finalizzato allo studio dello stato di dissesto della città di Napoli. L'algoritmo su cui si fonda il modello GIS utilizza un modello sistemico, denominato RES (Rock Engineering Systems), che si basa sull'analisi delle interazioni tra i vari fattori in gioco. È stato, quindi, calcolato un Indice di Suscettibilità al dissesto, sulla base del quale sono state prodotte quattro carte della suscettibilità relative a versanti, muri di sostegno, rete fognaria e rete idrica. Il modello proposto potrà affinarsi sempre più, via via che sarà arricchita la base-dati, in maniera da aumentare l'affidabilità nelle aree in cui i dati sono al momento carenti.*

---

## 1. Premessa

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, peraltro sollecitata dal Commissariato per gli Interventi di Emergenza nel Sottosuolo di Napoli, con il significativo contributo di ricercatori di area geologica (Calcaterra & Guarino, 1997; 1999; de Riso et alii, 1999; Calcaterra et alii, 2002; 2004a; 2004b; de Riso et alii, 2004; Parise et alii, 2004; Calcaterra et alii, 2005), geotecnica (AA.VV., 2001a; Evangelista & Scotto di Santolo, 2001; Evangelista et alii, 2002a; 2002b; Lombardi et alii, 2002; Pellegrino, 2002; 2003) ed idraulica (Rasulo 2000; Caruso et alii 2002).

La notevole quantità di dati resi disponibili da tale attività ha permesso di avviare studi finalizzati alla definizione di una procedura integrata di analisi delle varie tipologie di dissesto che coinvolgono il sistema suolo-sottosuolo nella città di Napoli (Alberico et al., 2005).

In questa sede si illustrano i criteri ispiratori di un Sistema Informativo Geografico (GIS) di nuova concezione, in cui sono stati riversati i dati attualmente disponibili sui terreni, sulle infrastrutture e sui dissesti del territorio napoletano, acquisiti 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. Al GIS qui descritto concorrono anche dati provenienti da altre fonti, quali l'Osservatorio Vesuviano, il CIRAM (Centro Interdipartimentale Ricerca Ambientale), la Provincia di Napoli e la Regione Campania. Con questo modello, non solo si intende fornire una nuova visione *geografica* dello stato delle infrastrutture e dei versanti napoletani, ma si vuole anche mettere in relazione diretta le caratteristiche intrinseche delle opere con quelle morfologiche ed insediative delle aree in cui ricadono. Quanto è stato sinora fatto ha fornito l'occasione per valutare la completezza e l'accuratezza dei dati disponibili, i quali, inseriti in un unico *contenitore*, formano un primo prototipo di *sistema informativo geografico integrato* per la valutazione della suscettibilità al dissesto del territorio comunale di Napoli.

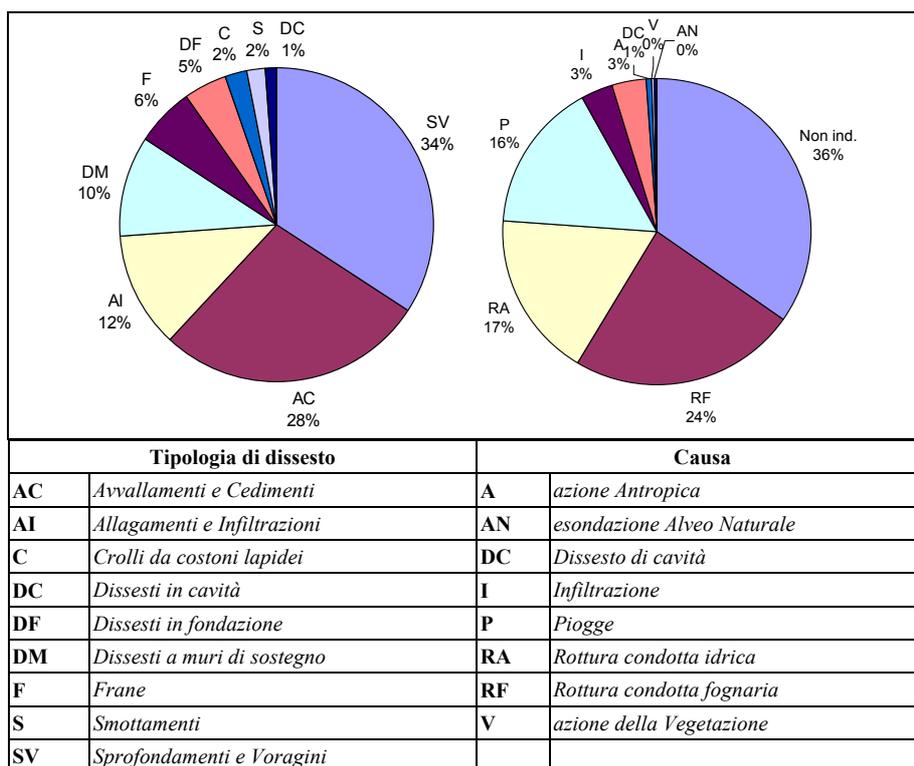
Lo studio è stato articolato in quattro sotto-sistemi (versanti, opere di sostegno, rete fognaria, rete idrica) ritenuti prioritari per estensione ed impatto sul territorio, ma anche perché collegati con quei dissesti che, per *magnitudo* e frequenza, causano i maggiori danni al territorio comunale di Napoli.

## 2. Presupposti scientifici

In un recente studio, Zito (2003) ha raccolto informazioni dettagliate riguardo ai dissesti nel territorio napoletano che dal 1986 al 2002 hanno richiesto l'intervento dei Vigili del Fuoco, analizzando tali eventi in funzione delle piogge e delle caratteristi-

che geologiche e geotecniche del territorio. Lo stesso studio ha peraltro preso in considerazione i risultati conseguiti in alcuni dei lavori citati in premessa.

I circa 4.400 dissesti censiti si distribuiscono secondo tipologia e causa (accertata o presunta), stabilite dagli stessi VV.F., come mostrato in 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 di cui è indicata una causa costituiscono certamente un campione sufficiente a fornire il quadro della situazione.



**Figura 1.** Ripartizione per tipo e per causa dei dissesti verificatisi a Napoli tra il 1986 ed il 2002 segnalati dal Comando Provinciale dei VV.F. (il termine “smottamento” non è riconosciuto dalla comunità scientifica) (Zito 2003).

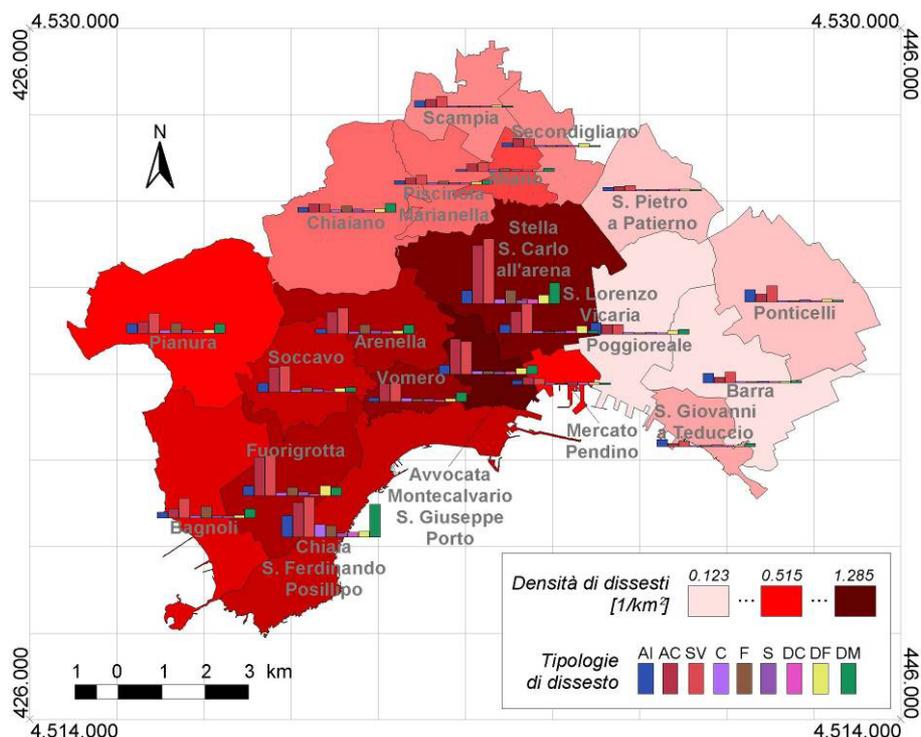
Osservando la successione temporale dei dissesti, Zito ha notato una generale tendenza all’incremento del numero annuo di dissesti, che diventa netto e pronunciato per tutte le tipologie, a partire dal 1996-97, periodo segnato da ripetuti ed importanti eventi pluviometrici (cfr. Calcaterra & Guarino, 1999a). Questi ultimi, insieme alle rotture delle reti fognaria ed idrica, sono stati il fattore causale sempre più decisivo per i dissesti degli ultimi anni.

Questa maggiore velocità di crescita dei dissesti causati da piogge non può essere attribuita ad un aumento significativo delle altezze di pioggia in tutti gli ultimi

anni, in quanto ai fenomeni atmosferici del 1996-97 sono seguiti anni caratterizzati da altezze di pioggia generalmente in linea con le medie calcolate su serie storiche lunghe.

È stato, allora, ipotizzato che gli eventi suddetti abbiano considerevolmente peggiorato le condizioni anche di quelle infrastrutture che non hanno subito dissesti in quel periodo, rendendole più sensibili a cause scatenanti di *magnitudo* sempre minore.

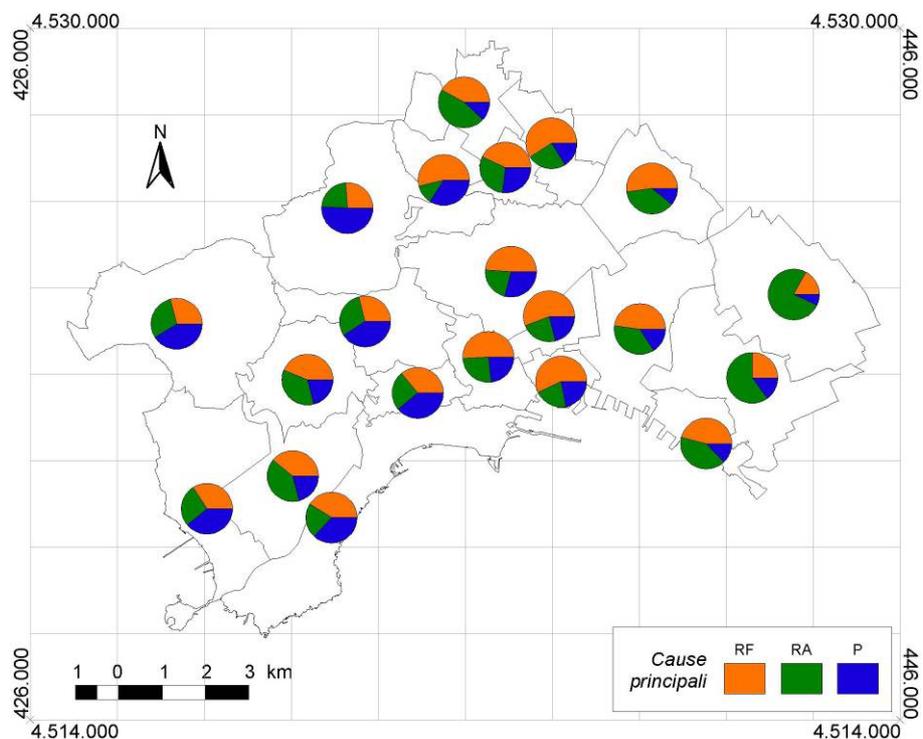
Quanto alla distribuzione geografica dei dissesti, inserendo i dati nel modello geografico (Figura 2) si può osservare che essi hanno colpito maggiormente i quartieri collinari centrali ed il centro storico – caratterizzati da una morfologia acclive, dalla presenza delle infrastrutture di più antico impianto e dal maggiore carico di attività urbane – e la zona occidentale – nella quale si registra non solo una morfologia articolata, ma anche un intenso e disorganizzato incremento edificatorio nell'ultimo cinquantennio. Di contro, i quartieri settentrionali e quelli orientali, dove non si ha la concomitanza di tanti fattori negativi, sono stati colpiti in misura più contenuta.



**Figura 2.** Densità dei dissesti e numerosità delle tipologie nelle diverse circoscrizioni (Farina, 2005). Per le sigle riportate in legenda, cfr. Figura 1.

In Figura 3 è inoltre mostrato il rapporto fra le tre principali cause di dissesto, le rotture di condotte fognarie, le rotture di condotte idriche e le piogge, nelle diverse cir-

coscrizioni. Anche questo rapporto varia tra le diverse zone della città, in relazione con le caratteristiche morfologiche e urbanistiche delle zone stesse.



**Figura 3.** Densità dei dissesti e relazione tra le principali cause nelle diverse circoscrizioni (Farina, 2005). Per le sigle riportate in legenda, cfr. Figura 1.

### 3. Metodo di analisi

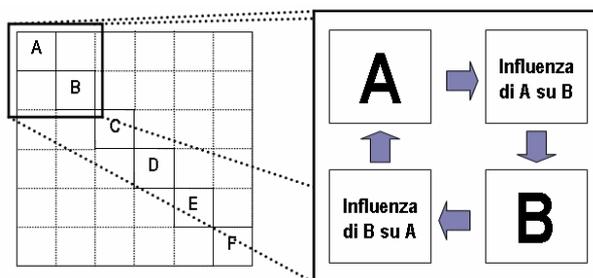
Il RES (*Rock Engineering Systems*) è una metodologia sviluppata da John A. Hudson (1992) allo scopo di affrontare i problemi di ingegneria delle rocce secondo una prospettiva sistemica. La necessità di un tale approccio deriva dall'osservazione della crescente complessità dei problemi da trattare in ambito tecnico-scientifico. Tale complessità è alimentata, da un lato, dalla crescente rilevanza che vanno assumendo i nuovi progetti e, dall'altro, dalla crescente attenzione verso l'impatto dei progetti stessi sull'ambiente e quindi verso la sua tutela. Entrambi i fattori esortano a considerare, per quanto concesso dai mezzi e dalle conoscenze a disposizione, tutti gli *elementi* dell'ambiente nel quale il progetto agisce e, soprattutto, le *interazioni* – siano esse naturali o instaurate dall'uomo – tra gli elementi stessi.

Elementi ed interazioni sono le nozioni basilari della *Teoria Generale dei Sistemi*, elaborata dal biologo austriaco Ludwig von Bertalanffy tra gli anni '30 e '50 del secolo scorso. Un *sistema* è, infatti, definito come «un complesso di elementi intera-

genti» (Bertalanffy, 1971); la metodologia RES fa, appunto, riferimento ai principi ed ai metodi di questa teoria.

Dall'epoca della sua nascita, la Teoria Generale dei Sistemi è stata applicata, ancor prima che all'Ingegneria delle Rocce, a molte altre discipline. Lo stesso RES ha trovato applicazione, oltre che nel campo di origine (Mazzoccola, 1992; Nathanail et alii, 1992; Dematteis et alii, 2001; AA.VV., 2002a), anche in problemi di diversa natura (Caruso et alii 2002; Temel & Maru 2002).

Per gestire simultaneamente gli elementi e le interazioni che compongono il modello sistemico, nella metodologia RES è usata la *matrice delle interazioni*, il cui principio fondamentale consiste nell'elencare i principali soggetti o parametri [del sistema] lungo la diagonale principale e considerare le interazioni nelle celle non diagonali (Hudson, 1992). L'interazione fra due elementi del sistema, 'A' e 'B', presenta due diversi aspetti: l'influenza di 'A' su 'B' e quella di 'B' su 'A', che sono, in generale, diverse tra loro. Nella matrice delle interazioni le suddette relazioni saranno poste, rispettivamente, l'una nella cella A,B e l'altra nella cella complementare B,A (Figura 4). Ne deriva che, facendo perno su una cella della diagonale principale, le interazioni sono "lette" in senso orario.



**Figura 4.** Schema della matrice delle interazioni.

L'applicazione del RES in questo lavoro è volta ad elaborare una classificazione della suscettibilità al dissesto dei pendii e delle infrastrutture. Per giungere a questo obiettivo bisogna passare attraverso:

1. codifica della matrice e calcolo dell'intensità interattiva
2. misura dei parametri e classificazione delle misure.

La prima fase consiste nell'attribuire un peso alle interazioni contenute in una matrice secondo la loro significatività o intensità, nota o stimata. Bisogna, cioè, quantificare la rilevanza di ogni parametro nel modello, stabilendo quanto esso influenzi il sistema e quanto ne sia influenzato (attraverso i meccanismi identificati). La codifica adottata nel presente lavoro è di tipo *semi-quantitativo esperto* (ESQ): essa consiste nel classificare le relazioni su una scala ad un certo numero di valori, da 0 a m oppure da -m a +m, sulla base di dati di letteratura, indagini specifiche od esperienza. Naturalmente questo metodo è alquanto sensibile alla discrezionalità dell'operatore, al quale è pertanto richiesta una sufficiente esperienza sul tema in

esame. In considerazione delle informazioni a disposizione e del grado di approfondimento dello studio, si è scelto di adottare una scala su quattro valori, di seguito riportata:

0. nessuna interazione
1. interazione debole
2. interazione media
3. interazione forte.

Avendo codificato in tal modo la matrice delle interazioni, è possibile stimare l'importanza 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. Per far ciò basterà, infatti, sommare i codici relativi a tutte le interazioni che partono da esso ovvero relativi a tutte le interazioni che giungono ad esso (Figura 5).

						$\Sigma c_i$
A			2			
	B		1			
		C	1			
3	0	2	D	3	1	$C_n$
			2	E		
			0		F	
$\Sigma e_j$			$E_n$			

**Figura 5.** Calcolo dell'indice di causa e di effetto di un parametro.

Sommando, infine, l'indice di causa e l'indice di effetto del parametro 'i', si ottiene l'indice di *intensità interattiva*, che rappresenta una sintesi efficace del suo ruolo all'interno del sistema.

Anche il secondo passaggio della procedura richiede di costruire una classifica unica in cui inquadrare le misure di tutti i parametri, dal momento che essi hanno diverse unità di misura o, in alcuni casi, sono misurati secondo scale ordinali non numeriche.

La suddetta classificazione può essere elaborata secondo criteri *assoluti* o *relativi*. Il metodo assoluto consiste nell'usare come soglie tra le classi dei valori significativi scelti a priori; il metodo relativo, invece, consiste nel definire le soglie basandosi sull'osservazione della distribuzione dei valori osservati nel contesto in esame.

In questo lavoro è stata adottata una scala *relativa* a tre livelli (1-3), attribuendo un peso tanto più alto quanto più una condizione è favorevole al dissesto; si è assegnato il valore 0 quando la misura del parametro non era disponibile o quando il sito o l'infrastruttura non era classificabile secondo un certo parametro.

I passaggi descritti permettono di giungere al calcolo dell'*Indice di Suscettibilità (IS)*, che, a sua volta, deriva dall'*Indice di Instabilità Potenziale*, individuato da Mazzoccola (1992) come espressione della potenzialità a franare di un versante in

roccia.

Osserviamo che in questa sede l' $IS$  è stato computato con riferimento ad un oggetto elementare nel caso dei sistemi relativi alle infrastrutture (i.e. un muro od un tratto di condotta), mentre nel caso dei versanti si è usata come unità di riferimento la *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 ' $i$ ', o un coefficiente ad esso proporzionale
- $V_{k,i}$  è la misura del parametro ' $i$ ' per il pixel o l'oggetto ' $k$ ', ovvero il valore della classe in cui tale misura ricade.

Nell'implementazione di questo algoritmo nel modello informativo geografico si è scelto – al solo scopo di velocizzare le elaborazioni del *software* – di adottare come coefficiente di peso nella (1) il valore effettivo dell'*intensità interattiva*: in questo modo sono stati ottenuti valori dell'indice di suscettibilità distribuiti su scale di numeri interi, diverse per i distinti sotto-sistemi. Detti valori non hanno un preciso significato fisico, ma realizzano una classifica in termini relativi all'interno di una stessa classe di fenomeni. Prima di effettuare – ove possibile – la sovrapposizione o il confronto dei risultati ottenuti per sotto-sistemi diversi, i valori di  $IS$  devono essere ricondotti ad una stessa classifica ordinale, cosa che è stata ottenuta dividendo l'intervallo di valori di partenza in parti uguali: si ottengono così classi confrontabili fra loro.

#### 4. Applicazione e risultati

Per ognuno dei sotto-sistemi esaminati – versanti, muri di sostegno, rete fognaria, rete idrica – si è partiti dalla definizione dei principali fattori in causa, costruendo prima delle matrici di bassa risoluzione, usate per inquadrare il problema. Successivamente, utilizzando le fonti di letteratura, è stata compilata una lista di parametri necessari e/o adatti a descrivere i meccanismi all'opera nei singoli sotto-sistemi ed è stata preparata per ognuno la prima bozza di una matrice di maggiore risoluzione. Sottoponendo i dati esistenti ad un processo di acquisizione, verifica ed elaborazione, sono stati individuati parametri da prendere in considerazione e quelli da scartare per l'incompatibilità col grado di risoluzione o per l'insufficienza di informazioni. Attraverso l'esclusione dei parametri che non era possibile caratterizzare e la reinterpretazione di quelli presenti e delle loro interazioni in funzione dei dati disponibili, si sono progressivamente configurate le matrici, fino a raggiungere la versione definitiva, di cui in questa sede si riportano i parametri componenti. Per un esame di maggior dettaglio del funzionamento dei diversi sottosistemi si rimanda alle matrici di secondo livello riportate in Farina (2005).

#### 4.1. Versanti

Per questo sotto-sistema si dispone di fonti di riferimento metodologiche più aderenti, relative allo studio di frane in ammassi rocciosi (Mazzoccola, 1992; Migliore, 2001; Calcaterra et alii, 2004a), dalle quali è stato possibile prendere spunto, oltre che per la matrice di inquadramento di primo livello (riportata in Figura 6) anche per diversi parametri della matrice di dettaglio; altri parametri hanno dovuto essere aggiunti per adattare il modello sia al diverso tipo di terreni che alle specifiche caratteristiche locali.

<b>Terreno</b>	Un terreno con migliori caratteristiche meccaniche può sostenere condizioni di versante più sfavorevoli	A seconda delle sue caratteristiche, il terreno può essere più o meno sensibile all'azione degli agenti atmosferici	Le caratteristiche geo-litologiche e fisiche del terreno influenzano lo sviluppo della vegetazione	Le caratteristiche e le condizioni del terreno influenzano il volume e la mobilità della frana
Il verificarsi di un movimento modifica lo stato del materiale dislocato; la morfologia ha una certa influenza sulle caratteristiche fisiche del terreno e sullo sviluppo del suolo	<b>Versante</b>	A seconda della conformazione del versante, il terreno può essere più o meno esposto all'attacco degli agenti atmosferici	La geometria del versante influenza lo sviluppo della vegetazione; il movimento la danneggia	La morfologia del versante determina la possibilità di movimento, inoltre influenza il volume e l'energia della frana; le frane possono avere un periodo di ritorno
Il clima influisce sulle caratteristiche del terreno tramite il disfacimento fisico-chimico	Il clima condiziona le forme del versante tramite i processi erosivi	<b>Ambiente</b>	Le precipitazioni e l'erosione influenzano lo sviluppo della vegetazione	Precipitazioni ed erosione sono fattori scatenanti per le frane
L'uso del suolo modifica le caratteristiche del terreno nella parte superficiale	L'uso del suolo e l'attività antropica possono comportare modifiche alla forma del versante	Le coperture (vegetali o urbane) influenzano la distribuzione delle acque meteoriche e interagiscono con i processi di disfacimento	<b>Uso del suolo</b>	Usi poco accorti e abbandono del suolo sono fattori predisponenti o scatenanti per le frane
				<b>Suscettibilità</b>

Figura 6. Matrice di inquadramento del sistema Versanti.

Per lo studio di questo sotto-sistema sono stati adoperati:

- l'ubicazione delle frane rilevate dal CUGRI, aggiornata al 2001;
- l'ubicazione delle frane verificatesi nella Conca di Agnano (Di Martire, 2003);

- il modello digitale del terreno (DTM), fornito dal Laboratorio di Geomatica e Cartografia dell'Osservatorio Vesuviano, con risoluzione di 5 m.

I dati geologici e geotecnici disponibili, pur utilizzati per gli altri sotto-sistemi, nel caso dei versanti si sono rivelati insufficienti a fornire un'adeguata distinzione delle caratteristiche geologiche e fisico-meccaniche dei terreni tra le diverse zone del territorio. Pertanto nel Sistema Informativo la suddetta matrice è stata implementata nella versione priva della prima riga e della prima colonna riportate in Figura 6.

In conclusione, sulla base dei dati precedentemente descritti è stato possibile caratterizzare i seguenti parametri:

- precedente instabilità;
- acclività;
- esposizione;
- erosione;
- uso del suolo;

ai quali se ne aggiunge un sesto riferito alle precipitazioni. Anche per ciò che concerne gli eventi meteorici, i dati disponibili (registrazioni pluviometriche delle stazioni SIMN comprese nel territorio di Napoli) non hanno consentito una significativa distinzione di diverse zone all'interno del territorio di studio. Tuttavia, data l'importanza riconosciuta alle piogge nella dinamica dei problemi trattati (Evangelista & Scotto di Santolo, 2001; de Riso et alii, 2002; Evangelista et alii, 2003), si è deciso di inserire ugualmente il relativo parametro nel modello matriciale – sebbene esso sia stato valutato con un peso costante per tutto il territorio – al fine di tenere nel giusto conto le interazioni con tutti gli altri fattori. La stessa scelta è stata adottata anche nella definizione degli altri sotto-sistemi.

Tutto ciò premesso, l'*Indice di Suscettibilità* calcolato per i versanti può variare nell'intervallo numerico tra 110 e 266. Il modello qui presentato classifica (Figura 7) circa il 20% della superficie dei versanti come altamente suscettibile a franare ( $IS \geq 211$ ), mentre circa il 70% della superficie risulta mediamente suscettibile ( $157 \leq IS \leq 211$ ).

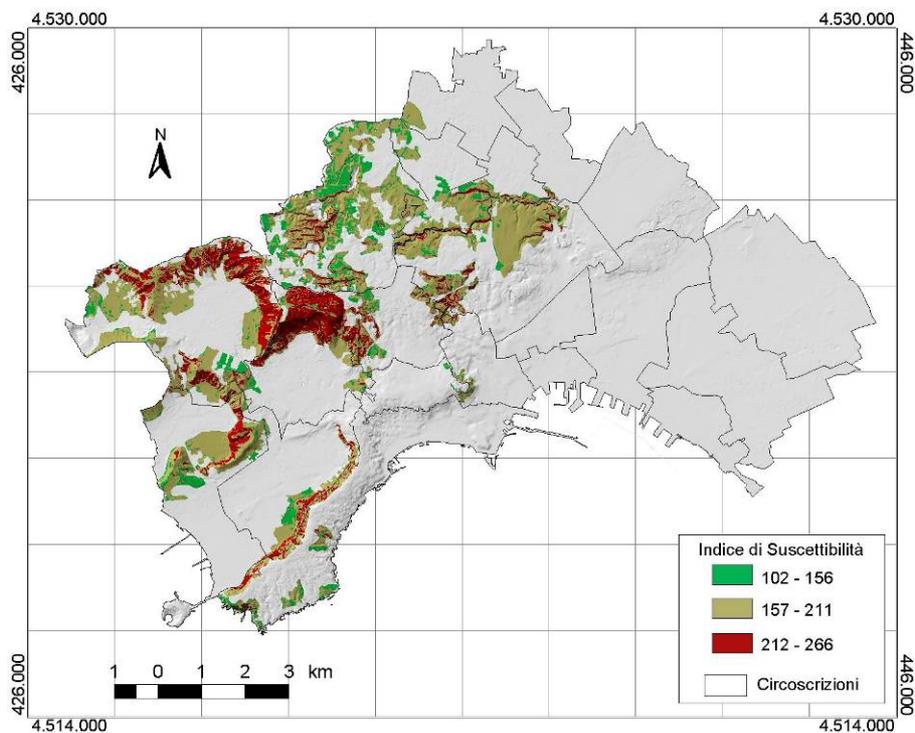
#### **4.2. Muri di sostegno**

L'elaborazione della matrice per il sistema in questione (di cui si riporta in Figura 8 la versione di inquadramento) si è avvalsa principalmente della consultazione di dati di letteratura (AA.VV., 2001a; Evangelista et alii, 2002a) e dell'esame della base-dati disponibile.

Le fonti d'informazione relative alle opere consistono in:

- un *database* descrittivo (formato Microsoft Access);
- un *database* geografico (formato ESRI ArcView);

entrambi prodotti dal CUGRI. Nel primo sono contenute le caratteristiche intrinseche di ciascun muro e tutte le altre informazioni raccolte durante le rilevazioni in sito, nonché alcuni giudizi qualitativi, ricavati nell'ambito di studi precedenti, dai dati stessi. Nel secondo sono registrate la forma e la posizione dell'opera, più una parte delle informazioni contenute nel primo database.



**Figura 7.** Carta dell'indice di suscettibilità a franare dei versanti.

<b>Muro</b>	Le caratteristiche del muro determinano il modo in cui il carico viene trasmesso al terreno; inoltre esse influenzano la circolazione idrica	
Il terreno trasmette al muro gli sforzi e le sue caratteristiche ne influenzano la stabilità	<b>Terreno</b>	
Le attività urbane inducono sollecitazioni accidentali sul muro; la pioggia può aggredire il materiale	A seconda dell'intensità dell'urbanizzazione del luogo il terreno riceve sollecitazioni statiche e dinamiche; la pioggia alimenta l'umidità del terreno e l'erosione	<b>Ambiente esterno</b>

**Figura 8.** Matrice di inquadramento del sistema Muri di sostegno.

Inoltre, per associare ai muri le proprietà dei terreni sono stati utilizzati:

- 557 prove penetrometriche statiche (Grosso Ciponte, 2002);
- 778 sondaggi stratigrafici, contenuti in un *database* fornito dal CIRAM;
- la carta geolitologica del territorio comunale.

Infine, per attribuire le proprietà localizzative, si sono utilizzate:

- la perimetrazione dell'edificato ed i valori di popolazione delle diverse circoscrizioni ricavati dal Piano Regolatore Generale;
- il *database* cartografico della rete stradale comunale, fornito dall'Ufficio Traffico e Viabilità del Comune;

L'utilizzo delle fonti elencate ha permesso di classificare i muri in termini dei seguenti parametri:

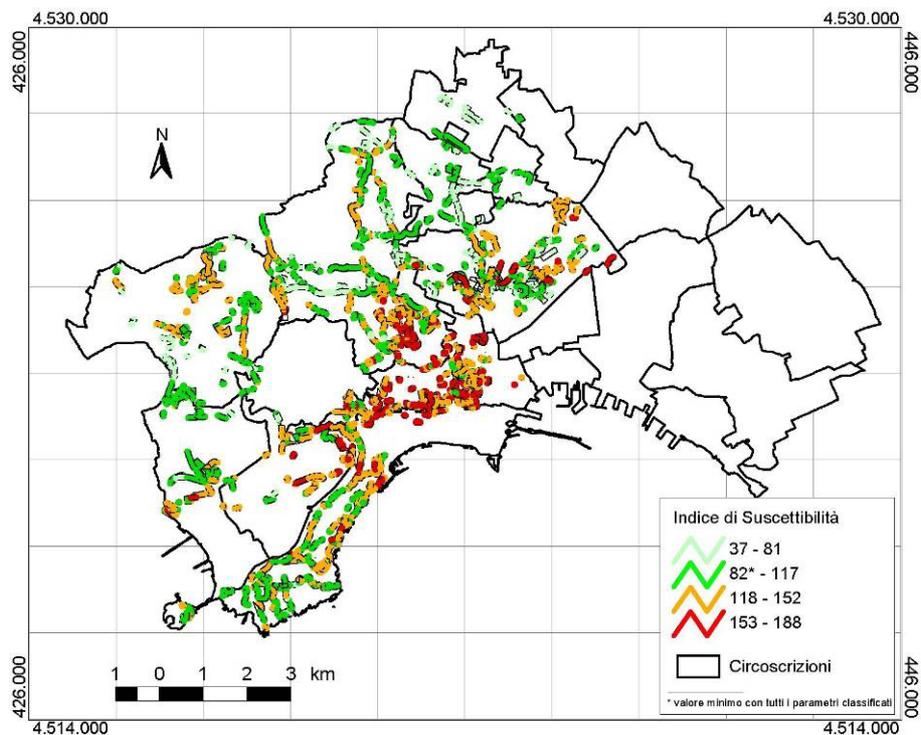
- tipologia e materiale;
- altezza;
- spessore;
- erosione;
- drenaggio;
- terrapieno e spinta;
- piano di posa e carico limite;
- localizzazione e carichi;

ai quali si aggiunge il parametro *piogge*, per il quale vale la stessa considerazione esposta al paragrafo precedente.

Al termine della classificazione, i muri che dispongono di un peso per tutti i parametri sono circa il 36% del totale (circa 700); al contrario per circa il 6% (circa 100) degli elementi non è stato addirittura possibile classificare alcun parametro intrinseco. I parametri la cui assenza pesa maggiormente sul risultato finale sono quelli relativi alle proprietà del terreno. Ciò è dovuto principalmente al fatto che la densità delle prove in sito a disposizione non è uniforme sul territorio, bensì esse sono concentrate in particolari località, interessate da progetti o studi di rilevante interesse, mentre sono praticamente assenti in altre. Per molte opere di sostegno si riscontra anche l'assenza di dati sull'erosione e sullo spessore all'interno del *database*.

Considerando sia i muri completamente classificati che quelli con parametri assenti, la distribuzione di frequenza dell'*Indice di Suscettibilità* mostra valori compresi tra circa 40 e 190. Dal momento che, nell'ipotesi che si attribuisca a tutti i parametri il valore minimo, l'*Indice di Suscettibilità* assumerebbe valore 78, la classificazione di tutti i muri con IS al di sotto di tale valore è da considerarsi inaffidabile per la significativa carenza di informazione: in altri termini, per quei muri sarebbe opportuno un approfondimento conoscitivo. Un approfondimento delle indagini sarebbe necessario anche per quei muri per i quali, pur risultando il valore di IS superiore al minimo, non si dispone di dati per tutti i parametri, e pertanto l'IS ad essi assegnato è da ritenersi solo parzialmente affidabile.

Considerando, invece, solo i muri che dispongono di un peso per tutti i parametri, la distribuzione, come è da attendersi, si concentra nei valori maggiori, pur non raggiungendo mai il massimo valore possibile di 202. Circa il 35% di essi sono ritenuti altamente suscettibili di dissesto ( $IS \geq 153$ ), mentre circa il 55% sono classificati come mediamente suscettibili ( $152 \leq IS \leq 188$ ).



**Figura 9.** Carta dell'indice di suscettibilità al dissesto dei muri di sostegno.

### 4.3. Rete fognaria

Anche per questo sotto-sistema, come nel caso dei muri di sostegno, non esiste un modello generale per l'implementazione della metodologia RES. Tuttavia essa è già stata applicata, con obiettivi simili a quelli di questo studio, alle condotte fognarie di Napoli (Caruso et alii, 2002), il che ha fornito elementi utili per lo sviluppo della specifica matrice (Figura 10).

Nell'ambito di questo lavoro sono state prese in considerazione le aste principali della rete di drenaggio (primo e secondo ordine), tralasciando i canali del terzo ordine presenti in tutte le strade della città. I dati sono stati ricavati dalle seguenti fonti:

- la base-dati cartografica (in formato ESRI ArcView) della rete fognaria predisposta dal CUGRI, comprensiva di punti quotati e perimetrazione dei bacini pluviali;
- il database dei sondaggi stratigrafici fornito dal CIRAM;
- la carta geolitologica del territorio comunale.

Ulteriori informazioni sono state ricavate tramite consultazione della letteratura disponibile. Infine, per attribuire le proprietà localizzative, si sono utilizzate anche in questo caso le fonti menzionate per i muri di sostegno.

<b>Condotta</b>	Le caratteristiche e lo stato della condotta determinano la qualità del funzionamento	Il dissesto della condotta può condizionare lo stato del terreno ed il suo comportamento
Le condizioni di funzionamento determinano la velocità del degrado dei materiali e delle strutture	<b>Condizioni di funzionamento</b>	
Dal terreno e dalla superficie provengono i carichi esterni fissi e accidentali	Le precipitazioni e il grado di urbanizzazione dell'area servita determinano le condizioni di funzionamento del collettore	<b>Ambiente Esterno</b>

**Figura 10.** Matrice di inquadramento del sistema Rete fognaria.

È stato, dunque, possibile contemplare i seguenti parametri:

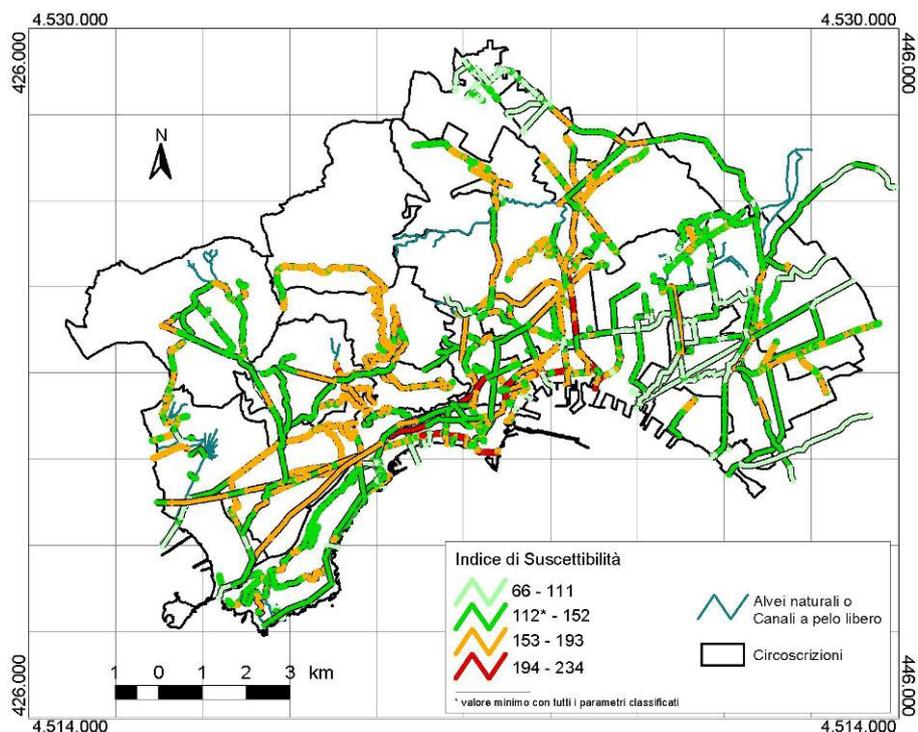
- materiale;
- dimensioni;
- pendenza;
- profondità di posa;
- difetti strutturali, infiltrazioni e perdite;
- età;
- carico idraulico;
- solidi sospesi e sedimenti;
- terreno e falda;
- localizzazione e carichi in superficie;

ai quali, ancora una volta, si aggiunge il parametro *piogge*, per il quale valgono le considerazioni espresse precedentemente per gli altri sotto-sistemi.

In definitiva (Figura 11), risulta classificato completamente circa il 43% della rete esaminata (pari a 128 km su un totale di 300 km). L'assenza di dati è distribuita più o meno uniformemente nell'intera rete. I parametri più frequentemente mancanti sono quelli legati alle quote (profondità di posa e pendenza) a causa dell'incompletezza della base-dati disponibile per ciò che riguarda i punti quotati, oltre all'informazione sul tipo di terreno e sulla falda, molto spesso mancante per motivi analoghi a quelli espressi per i muri di sostegno. A fronte di un minimo teorico di 101, una significativa aliquota della rete esaminata presenta valori di IS inferiori e quindi scarsamente attendibili; si tratta di porzioni di collettori per le quali la base-dati è notevolmente carente e richiede un ulteriore impegno per il suo completamento.

I tratti di rete completamente classificati manifestano valori di IS compresi tra 112 e 234, ben lontani – quindi – dal massimo possibile, che è pari a 288. Suddividendo in parti uguali l'intervallo numerico effettivamente occupato dai valori di IS,

si può classificare circa il 7% in lunghezza di questi tratti come altamente suscettibile al dissesto, mentre circa il 57% risulta mediamente suscettibile al dissesto.



**Figura 11.** Carta dell'indice di suscettibilità al dissesto della rete fognaria.

#### 4.4. Rete idrica

Per questo sotto-sistema si è individuato, con qualche adattamento, un modello interattivo simile a quello utilizzato per la rete fognaria. Dall'osservazione della matrice di prima risoluzione riportata in Figura 12 si può intuire la debole interattività di questo sistema, come è interpretato in questa sede. Questo deriva principalmente dalla limitata quantità di parametri che è stato possibile considerare, stanti i dati a disposizione. Allorché si potrà contare su un maggior numero di dati specifici, sarà possibile ottenere risultati più affidabili.

Anche per la rete idrica si è limitato lo studio alla sola porzione principale della stessa. I dati relativi sono stati forniti dal CUGRi ed a partire da essi sono stati prodotti due archivi cartografici:

- l'archivio degli archi della rete, con dati sul materiale e sul diametro
- l'archivio dei serbatoi, con dati sulla capacità.

Successivamente, dall'archivio degli archi è stato ricavato un archivio dei nodi, ai quali sono state attribuite le classi di pressione ricavate da una verifica idraulica condotta nell'ambito di uno studio della rete eseguito dal gestore (AA.VV. 2001b).

<b>Condotta</b>		Il dissesto della condotta può condizionare lo stato del terreno ed il suo comportamento
Le condizioni di funzionamento determinano l'entità delle sollecitazioni interne	<b>Condizioni di funzionamento</b>	
Dal terreno e dalla superficie provengono i carichi esterni fissi e accidentali		<b>Ambiente esterno</b>

**Figura 12.** Matrice di inquadramento del sistema Rete idrica.

I dati disponibili hanno permesso di considerare all'interno del modello i seguenti parametri:

- materiale;
- diametro;
- difetti strutturali e perdite;
- pressione di esercizio;
- terreno e falda;
- localizzazione, carichi e attività in superficie.

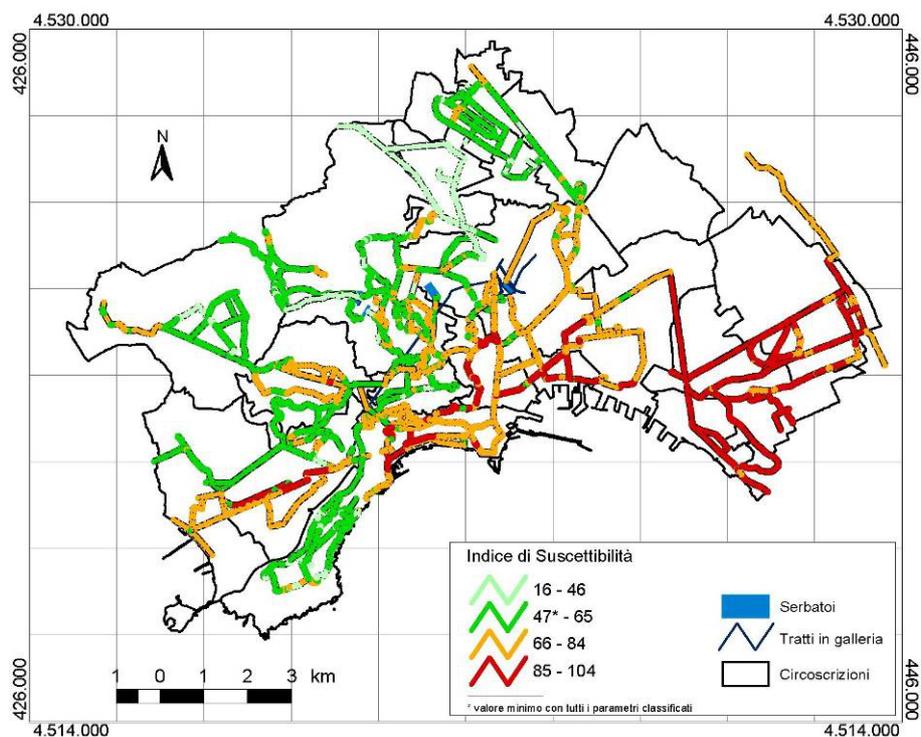
In questo caso non si è ritenuto necessario considerare con un parametro a sé stante l'influenza delle precipitazioni.

In definitiva (Figura 13), in termini di lunghezza, risulta classificato completamente circa il 47% della rete esaminata (118 km su 252 km). I parametri più frequentemente assente sono quelli inerenti al terreno ed alla falda, per quanto già illustrato anche nei casi precedenti.

Il valore minimo teoricamente possibile dell'IS è pari a 38, mentre il massimo è 114, valore – quest'ultimo – non raggiunto da alcun tratto della rete esaminata; i tratti di rete completamente classificati manifestano infatti valori di IS compresi tra 47 e 104. Suddividendo in parti uguali questo intervallo numerico, si può classificare circa il 10% in lunghezza di questi tratti come altamente suscettibile al dissesto, mentre circa il 50% risulta mediamente suscettibile al dissesto.

A proposito di questo sotto-sistema, è da tenere presente la quantità di dati estremamente ridotta su cui si è operato. Da essa deriva non solo il ridotto numero di parametri considerati, ma anche la bassa interattività complessiva del modello (che, a sua volta, si traduce in un intervallo di valori dell'IS molto più contenuto della norma). A causa di ciò, non è possibile attribuire ai risultati ottenuti in questo caso un'affidabilità paragonabile a quella degli altri modelli presentati. Anche – anzi so-

prattutto – in questo caso sarà la maggiore disponibilità di dati che consentirà in futuro di ottenere risultati di maggiore interesse.



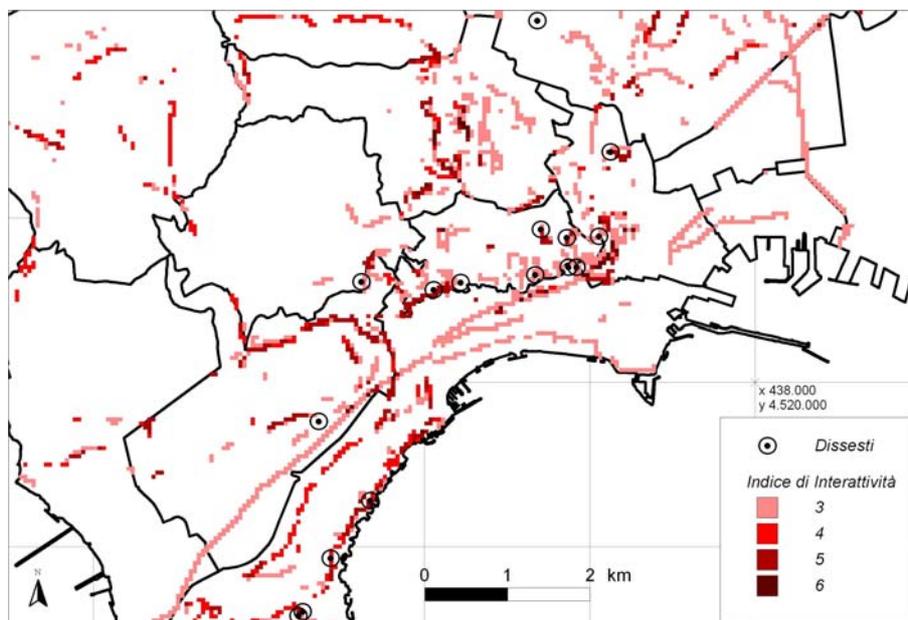
**Figura 13.** Carta dell'indice di suscettibilità al dissesto della rete idrica.

#### 4.5. Interazione tra rete fognaria e muri di sostegno

Con il modello implementato, seppur caratterizzato da un'incompleta copertura territoriale dei dati inseriti, è stato possibile iniziare ad analizzare le interazioni tra i sotto-sistemi individuati. In particolare, avendo osservato, nell'ambito della base dati dei dissesti verificatisi, un significativo numero di dissesti ad opere di sostegno causati da rotture di condotte fognarie è stato elaborato un semplice modello dell'interazione tra i due sotto-sistemi in oggetto, che presentano modelli alquanto simili. In questa sede, questa tipologia di dissesti è stata analizzata mediante la sovrapposizione delle carte dell'indice di suscettibilità ricavate per i due sotto-sistemi.

Prima di considerare tale interazione, le due diverse scale di codifica dell'*Indice di Suscettibilità* sono state omogeneizzate dividendole entrambe in tre parti di uguale ampiezza e ri-classificandole con valori da 1 a 3. Per la sovrapposizione delle carte si è adottato il formato *raster* con una cella di ampiezza pari a 25 m, misura che rappresenta il raggio all'interno del quale si assume possibile l'interazione tra una

condotta fognaria ed un muro. Infine, sommando i codici relativi ai due sottosistemi, si è ottenuto un *Indice di Interattività* distribuito su una scala a sei valori.



**Figura 14.** Stralcio della carta dell'*Indice di Interattività* tra rete fognaria e muri di sostegno, con l'ubicazione dei dissesti a muri di sostegno causati da rotture fognarie.

Confrontando, dunque, l'ubicazione dei dissesti a muri di sostegno causati da rotture a condotte fognarie con le zone a cui sono stati attribuiti i valori maggiori dell'*Indice di Interattività* (Figura 14), si può ricavare l'affidabilità di quanto previsto dal modello. Si osserva che questo raffronto è in parte inficiato dalla imprecisa ubicazione dei dissesti, effetto implicitamente bilanciato dalla dimensione relativamente ampia della cella di risoluzione adottata. Dall'osservazione della Figura 14 si nota come diversi casi di dissesto siano congruenti con quanto previsto dal modello, mentre in altri casi in cui il modello prevede un alto *Indice di Interattività* – cioè alti *Indici di Suscettibilità* sia del muro che della condotta presenti nella stessa area – non si è ancora verificato alcun dissesto. Inoltre, si fa osservare che i casi di dissesto non interpretati dal modello qui implementato sono per lo più ubicati a notevole distanza da un qualunque muro presente nella base-dati a disposizione: ciò è da ricondursi, come accennato, all'imprecisa ubicazione del dissesto, ovvero all'assenza nella base-dati stessa dell'opera colpita.

## 5. Conclusioni

Lo studio condotto ha permesso di raccogliere in un unico sistema informativo una grande mole di dati di diversa estrazione: oltre a quelli riguardanti i dissesti e le infrastrutture raccolti dal CUGRI, sono stati utilizzati dati sulla morfologia del territorio (modello digitale del terreno), sulle caratteristiche dei terreni (sondaggi stratigrafici, prove penetrometriche e carta geolitologica) nonché dati generali riguardanti l'ambito territoriale, quali l'ortofoto, la perimetrazione dell'area urbanizzata, il reticolo stradale, ecc. Altri dati potenzialmente utili sono ancora disponibili, in forme e presso Enti diversi: ciò suggerisce una prima, importante fonte di ulteriori sviluppi.

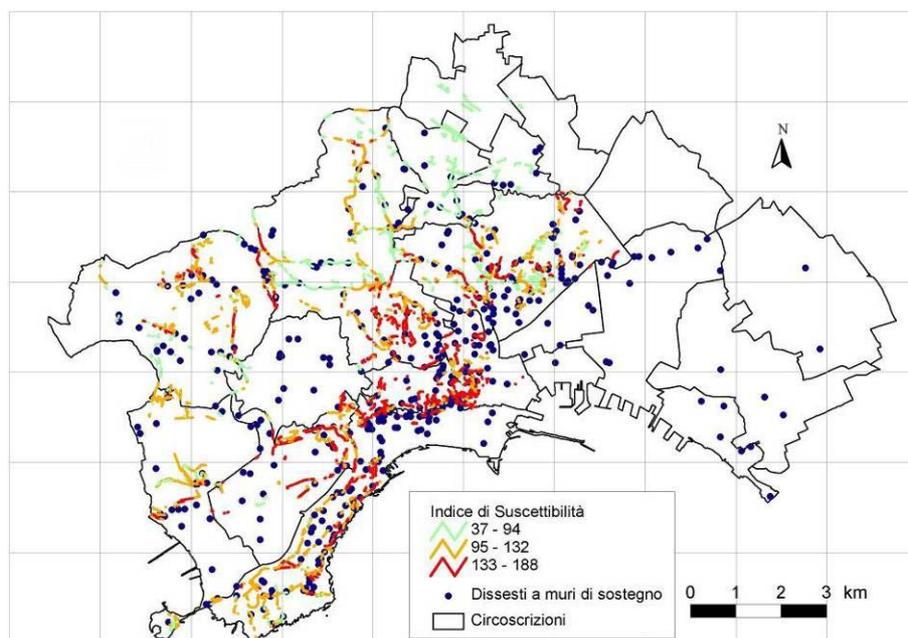
In alcuni casi, infatti, i dati disponibili, per quanto numerosi, si sono rivelati insufficienti a caratterizzare l'intero territorio esaminato; pertanto una loro integrazione potrebbe certamente apportare un contributo significativo sia alla caratterizzazione che alla comprensione ed interpretazione dei fenomeni in oggetto. A titolo di esempio, si ricordano le difficoltà emerse, per tutti i sotto-sistemi, nell'attribuire le proprietà relative ai terreni, stante la scarsa densità areale delle prove in sito. I risultati, dunque, non possono che migliorare con l'aggiunta di ulteriori dati al sistema informativo.

I risultati ottenuti per il sistema dei versanti, nonostante difettino di un'ideale caratterizzazione geologica e fisico-meccanica dei terreni, costituiscono un'inedita caratterizzazione della suscettibilità dei versanti stessi, permettendo di individuare delle zone di particolare *attenzione*. A tal proposito, è doveroso il riferimento alla Carta della Suscettibilità all'Innesco di Frana contenuta nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino Nord-Occidentale della Campania (AA. VV., 2002b). Confrontando globalmente le due cartografie, si evince come quella prodotta in questa sede sia marcatamente più cautelativa di quella ufficiale, comprendendo nelle proprie *zone rosse* la quasi totalità delle *aree a suscettibilità elevata* più buona parte delle *aree a suscettibilità media* individuate nella cartografia ufficiale. Ciò è presumibilmente da ricondurre al minore dettaglio dell'analisi qui illustrata.

Per quanto attiene alle carte prodotte per i sistemi ricadenti nell'area urbana, la più naturale fonte di validazione è costituita dall'ubicazione dei dissesti registrati negli ultimi anni. A tal proposito, bisogna osservare che le modalità con le quali le informazioni sulla localizzazione dei dissesti riportate dai Vigili del Fuoco (fondamentalmente indirizzi) sono state trasformate in coordinate geografiche non garantiscono una grande precisione, rendendo pertanto impossibile un confronto accurato con quanto elaborato in questa sede. Nel caso delle reti fognaria ed idrica, inoltre, bisogna ricordare che in questa sede è stata esaminata solo la rete di ordine superiore, mentre sono state trascurate le porzioni di più basso livello gerarchico alle quali è notoriamente collegata la maggiore frequenza dei dissesti meno gravi.

Pur con le riserve sopra espresse, il confronto visivo mostra un certo accordo tra alcune delle aree con maggiore densità di dissesti e le infrastrutture con i maggiori valori dell'*Indice di Suscettibilità* (Figura 15). Tale confronto suggerisce altresì le zone in cui è più utile un maggiore approfondimento, nelle quali, probabilmente a causa della limitatezza dei dati disponibili, non è stata stimata una suscettibilità al dissesto congruente con quanto emerge dai dati storici.

Benché quello elaborato in questa sede rappresenti solo lo schema di base, un *sistema informativo geografico integrato* di queste caratteristiche può senza dubbio fornire utili indicazioni per l'individuazione delle aree maggiormente suscettibili, o per la valutazione del rischio, e per la pianificazione urbana in generale. Si può, ad esempio, pensare di orientare non solo la programmazione degli interventi di manutenzione, recupero e ristrutturazione, ma anche la raccolta di informazioni verso le aree in cui viene segnalata la maggiore concomitanza di fattori negativi.



**Figura 15.** Confronto tra l'ubicazione dei dissesti a muri di sostegno e la relativa carta dell'Indice di Suscettibilità.

D'altra parte, in sede di pianificazione e programmazione urbana, può essere molto utile conoscere quali aree del territorio non è conveniente caricare di ulteriori insediamenti o flussi, pena l'aumento del rischio a cui vengono sottoposti gli utenti, ovvero quali zone converrebbe alleviare del carico attualmente sopportato, per non peggiorare le condizioni di funzionamento delle infrastrutture. Naturalmente, i migliori risultati possono essere ottenuti con la sinergia tra l'approccio preventivo e quello pianificatorio. A questo proposito, una notevole prospettiva di sviluppo è fornita dal "dialogo" e dall'integrazione con analoghi sistemi informativi implementati in altre sedi.

## 6. Ringraziamenti

*Gli autori ringraziano: il prof. Lucio Lirer e la dott.<sup>ssa</sup> Ines Alberico, che hanno messo a disposizione la base-dati dei sondaggi stratigrafici raccolta dal CIRAM; il gruppo di lavoro del prof. Aldo Evangelista del Dipartimento di Ingegneria Geotecnica, da cui sono stati forniti dati delle prove geotecniche, ed in particolare l'ing. Anna Scotto di Santolo per la sua cortesia; Gianni Urso e Giovanni Palmiero che, oltre a fornire i dati raccolti dal CUGRI, si sono mostrati disponibili in molte occasioni.*

*Un particolare ringraziamento, per avere incoraggiato alcuni degli autori ad intraprendere e portare avanti questa "missione impossibile", è rivolto ai professori Roberto de Riso, Aldo Evangelista, Giacomo Rasulo e soprattutto al compianto prof. Arturo Pellegrino, tra i primi ad incoraggiare tale studio sottolineandone l'interesse.*

*Si ringraziano anche l'ing. Giovanni de Martino e Antonio D'Ambrosio della Direzione Centrale Sicurezza e Mobilità Urbana del Comune di Napoli per aver fornito il database della rete stradale.*

## 7. 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)*.
- AA.VV., (2001a), Censimento dei muri di sostegno della città di Napoli. Database Access e ArcView. Obiettivo MUR\_1. *CUGRI, Napoli*.
- AA.VV., (2001b), Sistemazione, razionalizzazione e potenziamento della rete idrica della città di Napoli e salvaguardia del sottosuolo. *ARIN S.p.A., Napoli*, 115 pp..
- AA.VV., (2002a), High-level nuclear waste disposal project: the mechanism of thermal-hydrological-mechanical-chemical coupling. Disponibile su [http://www.hydrofrac.com/hfn\\_home.html](http://www.hydrofrac.com/hfn_home.html).
- AA.VV., (2002b), Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania. 4 voll., *TPS – Selca, Napoli*.
- Bertalanffy, v. L., (1971), Teoria Generale dei Sistemi: fondamenti, sviluppo e applicazioni (trad. it Bellone, E.). *ILLI, Milano*.
- Calcaterra, D., de Luca Tuppiti Schinosa, F., Fenelli, G.B., (2004a), Rockfall hazard assessment at Mt. San Costanzo (Sorrento Peninsula, Italy). *Proc. 9<sup>th</sup> Intern. Symp. on Landslides, Rio de Janeiro*, 265-271, Taylor & Francis Group, London.
- Calcaterra, D., de Riso, R., Di Martire, D., (2004b), Assessing shallow debris slide hazard in the Agnano Plain (Naples, Italy) using SINMAP, a physically based slope-stability model. *Proc. 9<sup>th</sup> Intern. Symp. on Landslides, Rio de Janeiro*, 177-183, Taylor & Francis Group, London.
- Calcaterra, D., de Riso, R., Di Martire, D., (2005), Valutazione della suscettibilità da frana nella Conca di Agnano (Napoli) mediante applicazione di un modello su base fisica

(SHALSTAB). *Atti Workshop "Modelli matematici per la simulazione di Catastrofi Idrogeologiche"*, Arcavacata di Rende, 355-368, AGM, Castrovillari (CS).

- Calcaterra, D., de Riso, R., Nave, A., Sgambati, D., (2002), The role of historical information in landslide hazard assesment of urban areas: the case of Naples (Italy). *Proc. 1<sup>st</sup> European Conference on Landslides, Prague*, 129-135, Swets & Zeitlinger, Lisse, The Netherlands.
- Calcaterra, D., Guarino, P.M., (1999a), Dinamica morfologica e fenomeni franosi recenti nell'area collinare napoletana (settore occidentale). *Geologia Tecnica ed Ambientale*, 2/99, 11-17.
- Calcaterra, D., Guarino, P.M., (1999b), Fenomeni franosi recenti nell'area urbana napoletana: il settore centro-orientale. *Atti Conv. C.N.R.-Regione Emilia Romagna "Geologia delle grandi Aree Urbane"*, Bologna, 4-5 novembre 1997, 257-261.
- 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*
- de Riso, R., Budetta, P., Calcaterra, D., Santo, A., (1999), Le colate rapide in terreni piroclastici del territorio campano. *Atti Conv. "Previsione e prevenzione di movimenti franosi rapidi"*, Trento, 133-150, GEAM – Ass. Georisorse e Ambiente, Torino.
- de Riso, R., Budetta, P., Calcaterra, D., Santo, A., Del Prete, S., De Luca, C., Di Crescenzo, G., Guarino, P. M., Mele, R., Palma, B., Sgambati, D., (2004), Fenomeni di instabilità dei Monti Lattari e dell'area flegrea (Campania): scenari di suscettibilità da frana in aree-campione. *Quaderni di Geologia Applicata*, 11(1), 5-30.
- de Riso, R., Evangelista, A., Mazzoleni, S., Pellegrino, A., (2002), Stabilità delle coltri piroclastiche nelle aree collinari della città di Napoli. *Atti XXI Conv. Naz. di Geotecnica, L'Aquila*, 143-155, Patron Editore, Bologna.
- Dematteis, A., Kalamaras, G., Eusebio, A., (2001), A system approach for evaluating springs drawdown due to tunneling. *Proc. AITES-ITA 2001 World Tunnel Congress, Milano*, 249-356.
- Di Martire, D., (2003), Uso di metodi deterministici e probabilistici per la valutazione della suscettibilità da frana nell'area flegreo-napoletana: la Conca di Agnano. *Tesi di laurea inedita, Università di Napoli Federico II*.
- Evangelista, A., Cestroni, V., Conte, G., Napoli, M., Lombardi, G., Mandolini, A. Russo, G., (2002a), I muri di sostegno nella città di Napoli: inventario, condizioni di sicurezza, interventi di stabilizzazione. *Atti XXI Conv. Naz. di Geotecnica, L'Aquila*, 193-200, Patron Editore, Bologna.
- Evangelista, A., Nicotera, M.V., Scotto di Santolo, A., (2003), Indagine sul regime delle pressioni interstiziali nelle coltri piroclastiche di copertura delle colline di Napoli. *Proc. Intern. Workshop "Convivere con le frane", Anacapri (NA)*.
- Evangelista, A., Pellegrino, A., Viggiani, C., Perrella, A., (2002b), Un paradiso abitato da diavoli? I problemi geotecnici della città di Napoli. *Atti XXI Conv. Naz. di Geotecnica, L'Aquila*, 53-62, Patron Editore, Bologna.

- Evangelista, A., Scotto di Santolo, A., (2001), Mechanical behaviour of an unsaturated pyroclastic soil. Proc. Intern. Conf. on Landslides: Causes, Impacts and Countermeasures, Davos-Switzerland. UEF International Conference on Landslides - Causes, Impacts and Countermeasures, Davos, Switzerland. Verlag Glückauf GmbH, Essen
- Farina, L., (2005), Un approccio sistemico allo studio della suscettibilità al dissesto idrogeologico del Comune di Napoli. *Tesi di laurea inedita, Università di Napoli Federico II.*
- Grosso Ciponte, V., (2002), Caratterizzazione geotecnica del sottosuolo della città di Napoli con prove penetrometriche statiche. *Tesi di laurea inedita, Università di Napoli Federico II.*
- Hudson, J.A., (1992), Rock Engineering Systems: Theory and Practice. *Ellis Horwood, New York.*
- Lombardi, G., Perrone, S., Viggiani, C., (2002), Le voragini nella città di Napoli: una calamità naturale ? *Atti XXI Conv. Naz. di Geotecnica, L'Aquila*, 537-544, Patron Editore, Bologna.
- Mazzoccola, D.F., (1992), A comprehensive method of rock mass characterization for indicating slope instability. *PhD Thesis, Imperial College of Science, Technology and Medicine, London.*
- Migliore, C., (2001), Instabilità e discontinuità negli ammassi di Tufo Giallo Napoletano. *Tesi di laurea inedita, Università di Napoli Federico II.*
- Nathanail, C.P., Earle, D.A., Hudson, J.A., (1992), A stability hazard indicator system for slope failure in heterogeneous strata. Proc. Intern. Symp. ISRM EUROCK '92, Chester, U. K., 111-116, Thomas Telford Ltd., London.
- Parise, M., Calcaterra, D., de Luca Tuppiti Schinosa, F., Palma, B., (2004), Rockfall stability assessment at the western slope of Camaldoli Hill (Naples, Italy). *Proc. 9<sup>th</sup> Intern. Symp. on Landslides, Rio de Janeiro*, 257-263, Taylor & Francis Group, London.
- Pellegrino, A., (2002), Dissesti idrogeologici nel sottosuolo della città di Napoli - Analisi ed interventi. *Atti XXI Conv. Naz. di Geotecnica, L'Aquila*, Patron Editore, Bologna.
- Rasulo, G., (ed.) (2000), Il sistema fognario della città di Napoli alle soglie del 2000. *CUEN, Napoli.*
- Temel, T., Maru, A., (2002), A conceptual framework for studying linkages in an Agriculture - Health - Environment system. The Hague, Netherlands, International Service for National Agricultural Research. Disponibile su <http://www.cgiar.org/isnar>.
- Zito, G., (2003), Analisi dei dissesti del sottosuolo della città di Napoli *Tesi di laurea inedita, Università di Napoli Federico II.*