

Carte di suscettibilità da sinkhole: risultati preliminari nella regione Lazio (Italia centrale)

*Sinkhole susceptibility maps: preliminary results
concerning the Latium region (Central Italy)*

LA VIGNA F. (*), TEOLI P. (**), LEONI G. (***),
MAZZA R. (****), CAPELLI G. (****).

RIASSUNTO - In questo lavoro viene presentato uno studio di tipo probabilistico riguardante la suscettibilità da sinkhole della Regione Lazio, derivante dal confronto tra l'inventario dei sinkhole e le informazioni geologiche ed idrogeologiche attualmente disponibili nel territorio regionale. La metodologia presentata ha permesso di ottenere una carta preliminare della suscettibilità da sinkhole.

PAROLE CHIAVE: Sprofondamenti, carte di suscettibilità, approccio probabilistico

ABSTRACT - In this study a probabilistic approach, regarding the sinkhole susceptibility of Latium Region (Central Italy), deriving from the comparison between the existing regional sinkhole inventory and the current available geological and hydrogeological information about this district is presented. Using the proposed methodology a preliminary susceptibility map was realized and discussed.

KEY WORDS: Sinkholes, susceptibility maps, probabilistic approach

1. - INTRODUZIONE

Diversi e frequenti studi sono stati presentati a livello internazionale sulla suscettibilità da frana

(ABBATTISTA *et alii*, 2005; CASAGLI *et alii*, 2004; LEONI *et alii*, 2009), mentre risultano piuttosto rari in letteratura studi regionali riguardanti la suscettibilità da sinkhole che vadano oltre la scala locale (TEOLI *et alii*, 2009).

Nonostante esista la difficoltà di regionalizzare l'occorrenza dei fenomeni da sinkhole nei bacini sedimentari dell'Appennino centrale alcuni elementi geologici, geomorfologici ed idrogeologici (fattori predisponenti) accomunano i sinkhole esistenti.

In questo lavoro viene presentato uno studio con approccio probabilistico riguardante la Regione Lazio derivante dal confronto tra l'inventario dei sinkhole regionali (LA VIGNA *et alii*, 2010) realizzato in un precedente progetto, le informazioni idrogeologiche derivanti dalla nuova Carta Idrogeologica della Regione Lazio, scala 1:100.000 (CAPELLI *et alii*, 2012) e altri dati geologici uniformemente distribuiti sul territorio regionale.

Queste informazioni sono state combinate in una matrice attraverso la quale è stata ottenuta la mappa preliminare di suscettibilità da sinkhole della Regione Lazio.

(*) ROMA CAPITALE, Dip. 10° Tutela ambientale e del Verde-protezione Civile, U.O. Gestione piano rifiuti e risanamenti ambientali, Ufficio Geologia e Idrogeologia Ambientale, Circonvallazione Ostiense, 191-00154 Roma. francesco.lavigna@comune.roma.it

(**) Golder Associates s.r.l., Roma

(***) Università degli Studi RomaTRE, Dipartimento di Scienze, Laboratorio di Geomorfologia, Roma

(****) Università degli Studi RomaTRE, Dipartimento di Scienze, Laboratorio di Geologia Applicata all'Ambiente, Roma

2. - ASSETTO GEOLOGICO E DISTRIBUZIONE DEI SINKHOLE NELLA REGIONE LAZIO

La geologia dell'Italia centrale è fortemente caratterizzata dalla presenza della catena appenninica e dalla sua tettonica distensiva post-collisionale (fig. 1). Adottando una descrizione molto sintetica le porzioni orientali e sud-orientali del Lazio sono prevalentemente caratterizzate dall'affioramento di rilievi carbonatici mesozoici di bacino e di piattaforma, mentre il settore centrale e nord-occidentale è caratterizzato da distretti vulcanici pleistocenici (Monti Vulsini, Monti Cimini-Vicani, Monti Sabatini, Colli Albani). Le principali aree pianeggianti, caratterizzate da depositi quaternari e sedimenti marini e continentali, di età compresa tra il Pliocene e Pleistocene superiore, corrispondono a bacini intramontani e ad aree limitrofe agli edifici vulcanici. Da un punto di vista idrogeologico le principali aree sorgive della regione si trovano nelle zone pedemontane e nei bacini in tramontani, e diverse manifestazioni sorgive idrotermali e minerali avvengono in corrispondenza di importanti faglie regionali distensive.

Nel Lazio sono stati riconosciuti numerosi casi di sprofondamento catastrofico (sinkhole), ed infatti la stessa risulta statisticamente la regione con maggiore occorrenza di questi fenomeni sul territorio nazionale (NISIO, 2008).

La tipologia di sinkhole più frequentemente riconosciuta nella regione è quella relativa ai “*deep piping sinkhole*” o “*spring sinkhole*” o “sinkhole senso stretto”, che si manifestano nelle aree di pianura e subordinatamente nelle aree pedemontane caratterizzate da coperture quaternarie (SALVATI & SASOWSKY, 2002). Caratteristica distintiva di questi fenomeni (fig. 2) è un meccanismo profondo complesso di crollo, connesso alla risalita di fluidi in pressione (acqua e gas) da acquiferi carbonatici confinati, attraverso faglie di importanza regionale, che investe spessori anche notevoli di copertura (NISIO, 2003; TUCCIMEI & SALVATI, 2003; NISIO & SALVATI, 2004). Per questo motivo i fattori predisponenti considerati in questa analisi sono stati, le litologie affioranti, le faglie principali (anche se sepolte), le sorgenti idrotermali, la pendenza della su-

perficie piezometrica, l'uso del suolo e gli epicentri dei terremoti recenti.

Le aree del Lazio maggiormente interessate da sinkhole sono la Pianura Pontina (LT) (fig. 3), la Piana di S. Vittorino (RI) e la Piana delle Acque Albule (RM).

3. - DATI DISPONIBILI E METODI

Tutti i fenomeni ricadenti nella regione Lazio e che sono stati scelti per essere analizzati in questo lavoro provengono dalla banca dati IWSD (*Italian Web Sinkhole Database*) dell'Università di Roma TRE (LA VIGNA *et alii*, 2010) e in parte dal Database Nazionale Sinkhole dell'ISPRA (<http://sgi2.isprambiente.it/sinkhole/>).

Le informazioni riguardanti la geologia di superficie derivano dalla Carta Geologica digitale del Lazio in scala 1:50.000, quelle riguardanti l'idrogeologia sono state estratte dalla nuova Carta Idrogeologica del Lazio (CAPELLI *et alii*, 2012) e le informazioni riguardanti l'uso del suolo sono state estratte dalla carta “*CORINE Land Cover*” della Regione Lazio.

Il livello informativo riguardante le faglie (sepolte e affioranti) è stato realizzato unendo i dati derivanti dal Modello Strutturale della Regione Lazio (scala 1:100.000) (BIGI *et alii*, 1988), le faglie della carta geologica digitale del Lazio in scala 1:50.000 e i dati di altre mappe di dettaglio (MANCINI *et alii*, 2004).

Gli epicentri dei terremoti recenti (dal 2005 ad oggi), indipendentemente dalla magnitudo, sono stati estratti sul territorio regionale dalla banca dati ISIDE (*Italian Seismic Instrumental and parametric Data-basE*) (<http://bollettinosismico.rm.ingv.it/>) dell'INGV.

L'analisi di suscettibilità sviluppata in questo lavoro ha seguito, la metodologia “*ENEA-RomaTRE*” (LEONI *et alii*, 2009) sviluppata per essere applicata originariamente ai fenomeni franosi. Questa metodologia si basa su un approccio ideale per cui ogni fenomeno geologico deriva da cause analiticamente ben descrivibili e può essere schematizzata in quattro differenti *step*:

1 - Realizzazione di una banca dati GIS in cui

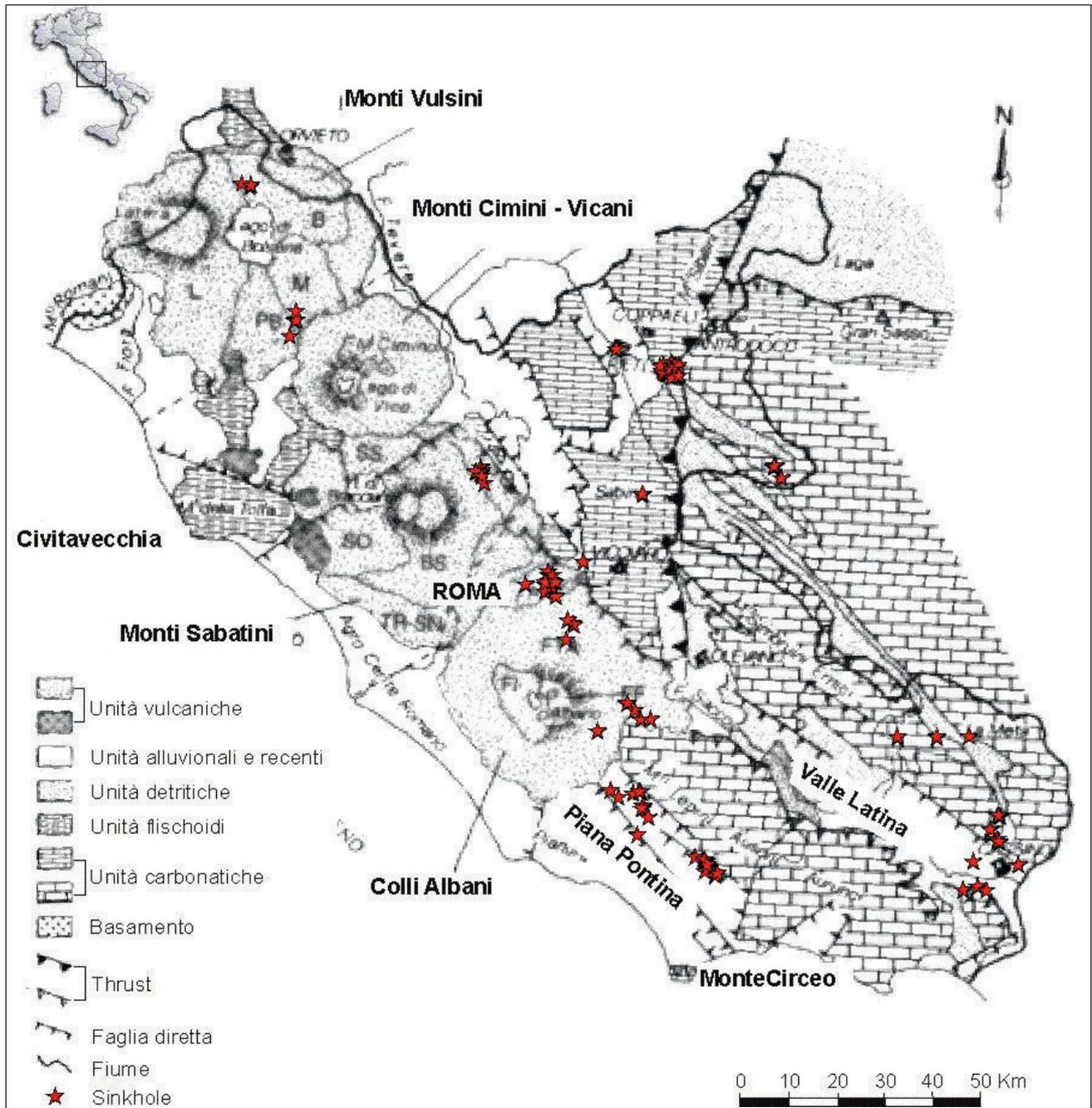


Fig. 1 – Assetto geologico semplificato della Regione Lazio con le ubicazioni dei fenomeni sinkhole (modificato da DE RITA, 1993).
 – Simplified geological setting of the Latium Region and sinkholes locations (modified from DE RITA, 1993).

vengono inserite tutte le informazioni di tipo naturale relative agli eventi presi in considerazione.

2 - Analisi dei dati effettuata attraverso la statistica descrittiva dei livelli informativi presi in considerazione finalizzata ad ottenere una valutazione del contributo al verificarsi dei fenomeni, dei fattori predisponenti e dei parametri discriminanti.

3 - Analisi GIS attraverso cui vengono discretizzate le mappe dei fattori predisponenti, attraverso l'identificazione di unità territoriali omogenee (HTU), ossia celle in cui il territorio risulta suddiviso, caratterizzate da una specifica combinazione di condizioni naturali.

4 - Analisi di suscettibilità calcolata a partire:
 a - dall'indicizzazione dei fattori predisponenti sulla

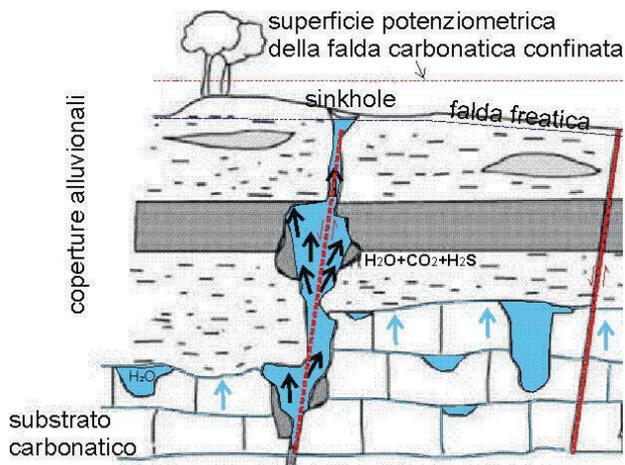


Fig. 2 – Modello concettuale dei sinkhole da *deep piping* o *spring sinkhole* (modificato da NISTO, 2008).

– *Conceptual model of the deep piping sinkholes or spring sinkholes (modified from NISTO, 2008).*

base della frequenza con cui si ripetono i fenomeni sotto certe condizioni (derivanti dallo *step 2*);

b - dalla identificazione di parametri discriminanti che individuano zone suscettibili e zone non suscettibili;

c - dal calcolo del valore della suscettibilità applicando una funzione su ogni HTU.

La funzione di suscettibilità applicata è la seguente:

$$S = (D) \times \frac{\sum_n (i_n \times W_n)}{\sum_n W_n}$$

Dove:

D = parametro discriminante

i = indice dei fattori predisponenti (0 – 9)

W = peso dei fattori predisponenti (1 – 3)

La statistica descrittiva, ovvero la l'analisi di frequenza dei sinkhole eseguita per ogni fattore predisponente ha condotto l'associazione di un indice ad ogni HTU, rappresentato da celle di 50 metri di lato. Gli indici attribuiti vanno da 0 a 9, dove 0 rappresenta un contributo nullo alla probabilità di accadimento di sinkhole, mentre 9 rappresenta un contributo massimo. I pesi di ogni fattore predisponente che vanno da 1 a 3, sono stati associati in base ad un grado di rilevanza dei singoli fattori rispetto alla dinamica dei sinkhole. I pesi sono stati attribuiti attraverso un metodo euristico e sono stati successivamente calibrati in funzione dei fenomeni osservati (*back analysis*).

Il parametro discriminante della funzione suscettibilità è rappresentato dai litotipi esterni alle unità mesozoiche e terrigene affioranti nelle dorsali appenniniche in quanto, come già specificato, l'ambito di studio comprende le aree di pianura.

4. - RISULTATI

Gli indici e i pesi utilizzati attribuiti ad ogni parametro connesso ai fenomeni di sprofondamento sono descritti nel dettaglio nella tabella 1.

L'indicizzazione dei parametri puntuali e lineari (sorgenti, faglie, epicentri dei terremoti) è stata effettuata sovrapponendo il *buffer* (fino a 3000 metri di distanza) di detti elementi alla carta inventario dei fenomeni. Non tutti i sinkhole ricadono all'interno di delle aree di *buffer* (tab. 1), ed in questi casi l'indicizzazione delle aree esterne ai *buffer* è stata comunque pari a zero. Questa scelta vuole sottolineare che per alcuni sinkhole alcuni fattori predisponenti non sono strettamente connessi alla loro origine.

Dalla tabella 1 si può notare come al parametro litologia affiorante, l'attribuzione dell'indice non ha seguito una logica puramente statistica; infatti si sottolinea come per alcune litologie, quali le alluvioni recenti e i travertini l'attribuzione degli indici abbia seguito una logica soggettiva. Per i travertini si è deciso di assegnare l'indice più alto (9) in quanto questi depositi sono (esclusi i travertini di "cascata") strettamente legati a dinamiche endogene in comune con i meccanismi di formazione dei *deep piping* sinkhole e inoltre, a parità di estensione di affioramento, l'occorrenza dei sinkhole su questi terreni risulta la maggiore. Di contro alle alluvioni recenti è stato ridotto l'indice da 9 a 8 in quanto a parità di estensione di affioramento l'occorrenza dei fenomeni, per quanto alta, assume importanza leggermente minore.

L'applicazione della funzione suscettibilità precedentemente esposta ha restituito la carta preliminare di suscettibilità della Regione Lazio (fig. 4), dove i colori tendenti al rosso evidenziano le aree a maggiore suscettibilità.



Fig. 3 – Il *deep piping sinkhole* di Doganella di Ninfa (Piana Pontina – LT) in una immagine recente.
 – The Doganella di Ninfa *deep piping sinkhole* (Pontina Plain – LT) in a recent picture.

5. - DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Molti dei sinkhole noti ricadono nelle aree della carta ad alto valore di suscettibilità come si può notare dalla tabella riportante il risultato della “*back analysis*” (tab. 2), ossia il controllo tra la carta inventario e la carta di suscettibilità. Questi risultati confermano la validità di questa metodologia applicata anche ai fenomeni di sprofondamento; un approccio quantitativo quindi risulta possibile anche per i sinkhole e può costituire un utile strumento per lo studio dei rischi da sprofondamento.

La carta mette anche in evidenza aree della regione ad alto valore di suscettibilità in cui però non sono attualmente censiti sprofondamenti. Queste aree potranno essere nel futuro oggetto di approfondimento per ricercare eventuali fenomeni non censiti o nascosti dall’urbanizzazione o dalle attività agricole, ma presenti in memorie storiche e

vecchie cartografie (NISIO & VENTURA, 2009; PIRRO, 2009).

Questa versione preliminare della carta di suscettibilità da sinkhole del Lazio verrà ulteriormente validata e implementata con l’aggiunta di nuovi parametri nel calcolo quali la profondità del substrato carbonatico e lo spessore dei terreni di copertura, e l’utilizzo di metodologie statistiche (regressione logistica) per ridurre la soggettività nell’attribuzione dei pesi ai parametri (FALASCHI *et alii*, 2007). Una volta validata, questa carta potrà essere utilizzata dagli enti preposti alla pianificazione territoriale e alla prevenzione dei rischi naturali, quali quelli da sprofondamento, come primo elemento per analisi di maggior dettaglio che potranno prendere in considerazione anche altri parametri connessi ai sinkhole e che non sono cartografabili e/o noti in modo omogeneo su tutto il territorio regionale.

Tab. 1 – Tabella riportante le statistiche di occorrenza dei sinkhole relativamente ai parametri predisponenti e le relative indicizzazioni per il calcolo della suscettibilità.

– The table reports the statistics of sinkhole occurring for every predisposing parameter and their indexes for the susceptibility evaluation.

Parametro	n° fenomeni	Percentuale	Indice 0-9
<i>Distanza da sorgenti termominerali (Analisi di frequenza)</i>			
Buffer 500 m	34	27.0 %	9
Buffer 1000 m	23	18.3 %	8
Buffer 1500 m	6	4.8 %	5
Buffer 2000 m	5	4.0 %	4
Buffer 2500 m	5	4.0 %	4
Buffer 3000 m	2	1.6 %	1
Distanza >3000	126	100.0 %	0
<i>Distanza da faglie e faglie sepolte (Analisi di frequenza)</i>			
Buffer 500 m	55	43.7 %	9
Buffer 1000 m	14	11.1 %	6
Buffer 1500 m	14	11.1 %	6
Buffer 2000 m	9	7.1 %	4
Buffer 2500 m	9	7.1 %	4
Buffer 3000 m	3	2.4 %	1
Distanza >3000	22	17.5 %	0
<i>Geologia (Analisi di frequenza)</i>			
Alluvioni recenti	58	46.0 %	8
Depositi lacustri	23	18.3 %	7
Travertini	22	17.5 %	9
Detrito di versante	8	6.3 %	5
Tufi	8	6.3 %	5
Pozzolane	4	3.2 %	3
Sabbie costiere	3	2.4 %	1
Tutte le altre litologie	0	0.0 %	0
<i>Pendenza della superficie piezometrica in gradi (Boxplot)</i>		Percentile	
0° - 0.2°	32	0th - 25th	5
0.2° - 1°	63	25th - 75th	7
1° - 2°	30	75th - 95th	4
2° - 3°	1	Outliers	1
>3°	0		0
<i>Uso del suolo da (Voci del Corine land cover) (Analisi di frequenza)</i>			
Open spaces with little or no vegetation	0	0.0 %	0
Coastal wetlands	0	0.0 %	0
Inland waters	0	0.0 %	0
Marine waters	0	0.0 %	0
Industrial, commercial and transport	1	0.8 %	1
Inland wetlands	1	0.8 %	1
Heterogeneous agricultural areas	1	0.8 %	2
Urban fabric	4	3.2 %	3
Mine, dump and construction sites	5	4.0 %	3
Pastures	5	4.0 %	3
Artificial, non-agricultural vegetated areas	7	5.6 %	4
Permanent crops	6	4.8 %	4
Forests	11	8.7 %	5
Shrub and/or herbaceous vegetation associations	15	11.9 %	6
Arable land	70	55.6 %	9
<i>Distanza da epicentri dei terremoti recenti (Analisi di frequenza)</i>			
Buffer 500 m	25	19.8 %	9
Buffer 1000 m	39	31.0 %	9
Buffer 1500 m	19	15.1 %	9
Buffer 2000 m	11	8.7 %	9
Buffer 2500 m	6	4.8 %	7
Buffer 3000 m	16	12.7 %	7
Distanza >3000	10	7.9 %	0

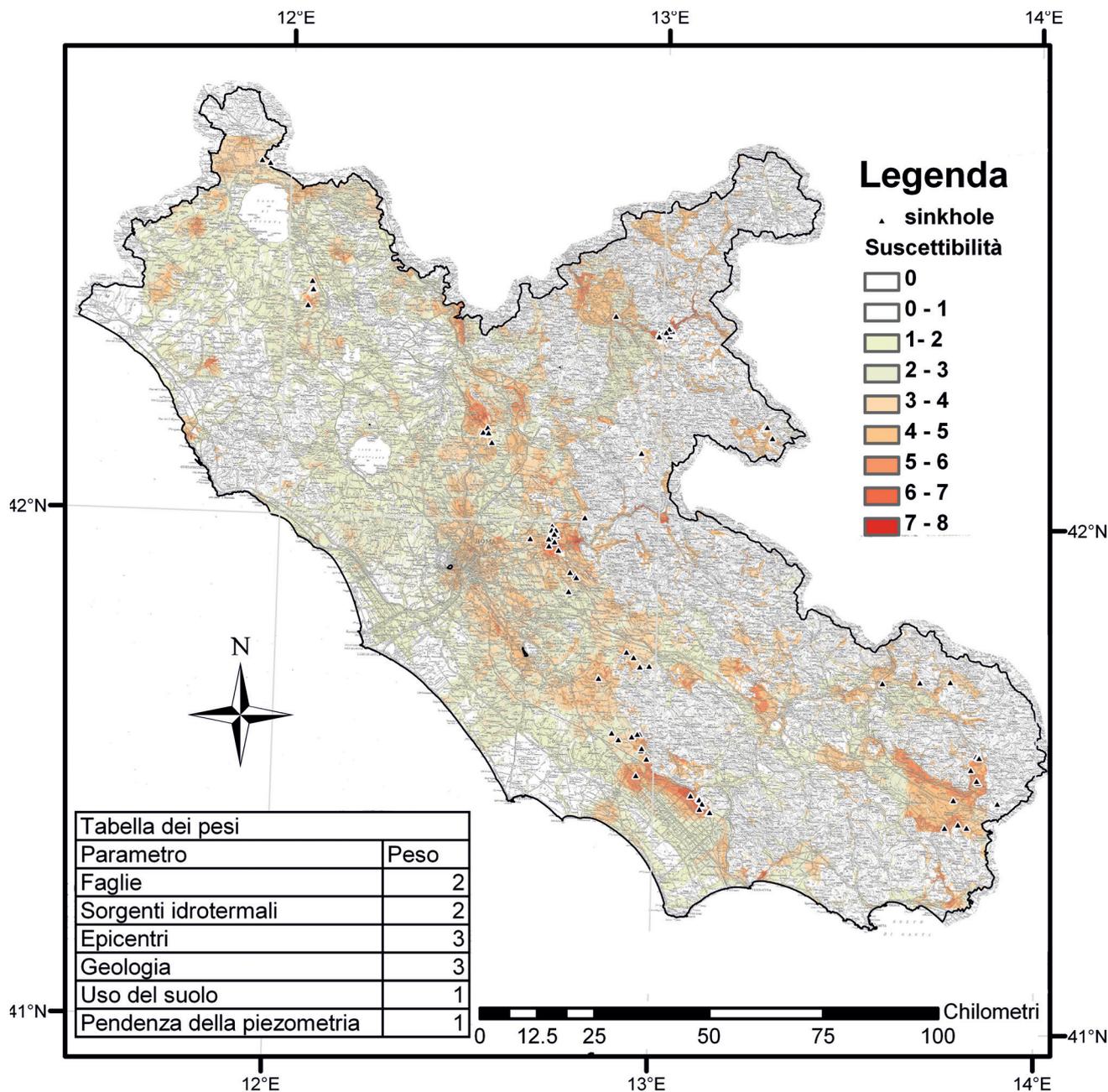


Fig. 4 – Carta preliminare della suscettibilità da sinkhole della Regione Lazio.
 – Preliminary sinkhole susceptibility map of the Latium Region.

Tab. 2 – Tabella riportante le statistiche di occorrenza dei sinkhole relativamente alle classi di suscettibilità (back analysis). Più dell'80% dei fenomeni ricade su classi tra 5 e 8.

– The table reports the statistics of sinkhole occurring for every susceptibility class (back analysis). More than 80% of phenomena falls on values between 5 and 8.

Classe di suscettibilità	n° fenomeni	Percentuale
Valori 8	16	12.7 %
Valori 7	24	19.0 %
Valori 6	28	22.2 %
Valori 5	38	30.2 %
Valori 4	16	12.7 %
Valori 3	3	2.4 %
Valori 2	0	0.0 %
Valori 0-1	1	0.8 %

BIBLIOGRAFIA

- ABBATTISTA F., D'AGOSTINO G., DELMONACO G., DI FILIPPO L., FALCONI L., LEONI G., MARGOTTINI C., PUGLISI C., ROMANO P. & SPIZZICHINO D. (2005) – *Assessment of landslide susceptibility: application to rapid flows at Cervinara (Southern Italy)*. *Geologia Tecnica ed Ambientale*, **1**: 25-40.
- BIGI G., COSENTINO D. & PAROTTO, M. (1998) – *Modello lito-stratigrafico-strutturale della Regione Lazio*.
- CAPELLI G., MASTRORILLO L., MAZZA R., PETITTA M., BALDONI T., BANZATO F., CASCONI D., DI SALVO C., LA VIGNA F., TAVIANI S. & TEOLI P. (2012) – *Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio, scala 1:100000 (4 fogli)*. Regione Lazio, S.EL.CA., Firenze.
- CARAMANNA G., CIOTOLI G. & NISIO S. (2008) – *A review of natural sinkhole phenomena in Italian plain areas*. *Natural Hazards*, Springer, **45**: 145-172.
- CASAGLI N., CATANI F., PUGLISI C., DELMONACO G., ERMINI L. & MARGOTTINI C. (2004) – *An inventory-based approach to landslide susceptibility assessment and its application to the Virginio River basin, Italy*. *Environmental and Engineering Geoscience*, **10**, 203-216.
- DE RITA D. (1993) – *Il vulcanismo*. In: *Guide Geologiche Regionali – Lazio*. - Società Geologica Italiana, BE-MA. 50 -70.
- FALASCHI F., FEDERICI P.R., PUCCINELLI A., BOTTAI M., CASAROSA N., D'AMATO AVANZI G., GIACOMELLI F., GIANNECCHINI R., POCHINI A., RIBOLINI A., SALVATI N., STANO S. & TESTI C. (2007) – *Metodologie di valutazione della suscettibilità di frana in alcune aree campione della Toscana settentrionale*. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali Memorie, Serie A*, **112**: 21-39.
- LA VIGNA F., DI SALVO C., MAZZA R., CAPELLI G., TAVIANI S. & TEOLI P. (2010) – *IWSD – Italian Web Sinkhole Database. Caratteristiche, stato d'aggiornamento e prospettive future della banca dati on line dei sinkholes dell'Università di Roma-TRE*. *Proceedings of the II International workshop on sinkholes*. ISPRA: 223-229, Rome.
- LEONI G., BARCHISI F., CATALLO F., DRAMIS F., FUBELLI G., LUCIFORA S., MATTEI M., PEZZO G. & PUGLISI C. (2009) – *GIS Methodology to assess landslide susceptibility: application to a river catchment of central Italy*. *Journal of Maps*: 87-93.
- MANCINI M., GIROTTI O. & CAVINATO G.P. (2004) – *Carta Geologica della Media Valle del Tevere (Appennino Centrale) – scala 1:40000*.
- NISIO S. (2003) – *I fenomeni di sprofondamento: stato delle conoscenze ed alcuni esempi in Italia Centrale*. *Il Quaternario*, **16** (1): 121-132.
- NISIO S. (2008) – *I fenomeni naturali di sinkhole nelle aree di pianura italiane*. *Mem. Descr. Carta Geol. d'It.*, **85**, ISPRA, GEDA Srl., Torino.
- NISIO S. & SALVATI R. (2004) – *Fenomeni di sprofondamento catastrofico. Proposta di classificazione applicata alla casistica italiana*. *Atti Conv.: "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio"*. Roma, 20-21 maggio 2004, 573-584.
- NISIO S. & VENTURA G. (2009) – *Le ricerche storiche nello studio dei fenomeni di sprofondamento: alcuni esempi*. *Atti del 2° Workshop internazionale: I sinkholes: "Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato"*. ISPRA. 113-130.
- PIRRO M. (2009) – *Il contributo della toponomastica in chiave geologica nello studio delle aree soggette agli sprofondamenti del suolo: il caso di un tratto della campagna romana (Lazio)*. *Atti del 2° Workshop internazionale: I sinkholes: "Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato"*. ISPRA: 131-141.
- SALVATI R. & SASOWSKY I.D. (2002) – *Development of collapse sinkholes in areas of groundwater discharge*. *Journal of Hydrology*, **264**: 1-11.
- TEOLI P., CAPELLI G. & MAZZA R. (2009) – *Metodologie per la definizione della pericolosità da Sinkhole nella Piana Pontina*. *Atti del 2° Workshop internazionale: I sinkholes: "Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato"*, ISPRA: 371-385.
- TUCCIMEI P. & SALVATI R. (2003) – *New Hydrochemical Data on the deep-seated groundwater circulation in the Pontina Plain (Central Italy)*. *Geological Society of America*, Seattle, WA.