

CARTA DELLE AREE A RISCHIO SINKHOLE DELLA REGIONE LAZIO.

SALVATI ROBERTO* CAPELLI GIUSEPPE* & GARELLO MARCO**

*Dipartimento di Scienze Geologiche, Università di Roma TRE

**Environ Italy S.r.l.

INTRODUZIONE

Uno dei principali obiettivi del "Progetto Sinkhole del Lazio" condotto tra il 1998 e il 2002 dal Dipartimento di Scienze Geologiche dell'Università Roma TRE in collaborazione e con finanziamento della Regione Lazio Ass.to U.T.V.RA. (Delib. C.R.L. n° 4662, 08/31/1999), è stato il censimento delle aree con fenomeni di sinkhole conclamati che, insieme alla identificazione delle condizioni geologiche e idrogeologiche al contorno e delle modalità di innesco e di potenziale sviluppo delle deformazioni, definiscono le Sinkhole Prone Areas ovvero le aree a rischio sinkhole.

In questa nota viene presentata la "Carta delle aree a rischio sinkhole della Regione Lazio" che rappresenta la sintesi delle elaborazioni del Progetto Sinkhole.

Nella carta sono identificate le aree a rischio censite nel territorio regionale, nonché l'elenco di tutti i fenomeni di sinkhole riconosciuti. L'elaborato è poi corredato da una sezione schematica interpretativa delle condizioni di innesco dei fenomeni di sprofondamento catastrofico e dalla loro classificazione dedotta da quanto proposto in letteratura e applicato alle evidenze rilevate nell'area di studio.

La "Carta" intende essere:

- a scala regionale, uno strumento conoscitivo dedicato a tutti coloro che si trovano ad operare in aree potenzialmente a rischio e soprattutto, agli enti locali e di gestione del territorio per poter pianificare studi di dettaglio, volti ad una ulteriore definizione dei fenomeni conclamati o potenziali;
- a scala nazionale, un contributo allo studio e alla comprensione di fenomeni che interessano molte più aree di quanto non fosse presumibile e che rappresentano di fatto un rischio geologico a tutti gli effetti.

1. DATABASE

Il censimento, in aree di pianura, dei sinkhole, le cui forme tendono ad essere "naturalmente" obliterato dall'uso del territorio, deve necessariamente avvalersi di strumenti di indagine multidisciplinare soprattutto per quanto attiene l'osservazione del paesaggio in tempi passati.

In particolare la consultazione e l'analisi approfondita sia di cartografie storiche che di foto o riprese aeree, oltre che ovviamente con la consultazione dei cataloghi speleologici. Il primo passo per la costruzione del DataBase di sostegno del censimento dei sinkhole nella Regione Lazio, è stato, quindi, la ricerca dei riferimenti storici circa l'esistenza di fenomeni di sprofondamento. Le annotazioni storiche sono sostanzialmente continue, escludendo il periodo dell'alto medioevo, e sono distribuite nell'arco di duemila anni. Ovviamente, sia per la conservazione degli archivi che per motivi più squisitamente scientifici e conoscitivi, le informazioni di maggior qualità sono quelle registrate nell'arco degli ultimi 150 anni, poiché solo a partire dalla seconda metà del secolo XIX, i fenomeni di sprofondamento catastrofico hanno iniziato ad essere considerati come un rischio per le popolazioni che insediavano nelle aree in cui tali fenomeni si verificavano con maggior ricorrenza.

Molti sono stati i manoscritti analizzati (rapporti, carte e cronache), pubblicati fra la fine del 1800 ed i primi anni del 1900, a cui è stata affiancata l'analisi di una buona selezione di materiale iconografico (pitture, immagini, illustrazioni) risalente agli ultimi quattro secoli.

L'analisi di queste fonti ha permesso che di ricostruire gli scenari di sviluppo dei fenomeni di sinkhole nel corso del tempo anche in tutte quelle aree in cui l'urbanizzazione ha in seguito cancellato ogni traccia dei fenomeni.

Nonostante una discreta continuità temporale dei dati, quantomeno a partire dal XVI secolo, l'estrema frammentazione della dislocazione delle fonti bibliografiche e soprattutto dei tipi di fonte bibliografica, hanno rappresentato uno dei principali elementi di rallentamento del lavoro di raccolta e catalogazione.

Parallelamente al lavoro bibliografico è stata condotta, come accennato in precedenza, l'analisi delle foto aeree. Sostanzialmente queste coprono l'arco di tempo che va dalla fine degli anni '40 fino ai giorni nostri, anche qui con una maggiore disponibilità di riprese, voli e strisciate man mano che ci si avvicina agli ultimi due decenni.

Le foto aeree, utilizzate per redarre il censimento delle forme tuttora esposte di sinkhole, sono state quelle raccolte per la realizzazione della topografia tecnica regionale (scala 1:10.000), realizzate durante gli anni 1990/1992. Il censimento basato su queste foto è poi stato confrontato con la cartografia risalente ai precedenti periodi storici. L'elaborazione critica congiunta delle diverse fonti bibliografiche ha permesso una prima valutazione dell'incidenza dei sinkholes nelle diverse aree e della evoluzione della loro attività in funzione del tempo.

Come è intuibile i dati raccolti rappresentavano un archivio di rilevante importanza, in funzione anche del trasferimento delle conoscenze alla Regione Lazio, ed allo stesso tempo una mole di informazioni tale da risultare difficilmente gestibile senza l'ausilio dei più moderni strumenti di archiviazione dati.

Tenendo presente quindi che, per convenzione, al termine del "Progetto Sinkhole" avrebbe dovuto essere consegnato l'archivio integrale e che tale archivio avrebbe rappresentato lo strumento principe su cui in seguito i tecnici dell'amministrazione regionale avrebbero basato le loro valutazioni, è stato creato un DataBase che contenesse tutte le caratteristiche, sperimentalmente rilevate o ricavate da fonti bibliografiche, dei sinkholes presenti sul territorio della Regione Lazio.

Per la realizzazione del DataBase si è scelto di utilizzare il software Microsoft Access nella release 2000, in ragione sia della sua diffusione che del suo facile interfacciamento con i software di gestione informatizzata del territorio (GIS), e di strutturare il DataBase secondo una architettura molto flessibile, che permettesse evoluzioni e personalizzazioni semplici anche da parte di non esperti.

Le tabelle di archiviazione dei dati sono state strutturate con i seguenti campi:

- caratteri geografici e toponomastici;
- caratteristiche morfometriche;
- geologia ed idrogeologia dell'area interessata dai fenomeni;
- stralcio della Carta Tecnica Regionale (1:10000) indicante la posizione del fenomeno;
- schema topografico a maggior scala (1:4000) o un'immagine fotografica da volo aereo (1:10000) raffigurante il sinkhole;
- caratterizzazione chimico-fisica e geochimica delle acque, se presenti all'interno del sinkhole;
- notizie riguardanti l'attività del fenomeno, la sua attivazione, la sua evoluzione, le possibili interferenze con l'attività e le strutture antropiche presenti nel suo immediato intorno.

Per una più facile consultazione ed inserimento dei dati sono state create maschere e sottomaschere di visualizzazione e report di stampa.

L'intero dataset è stato quindi, nell'ultima fase di lavoro, filtrato, normalizzato ed categorizzato così da rendere i dati utilizzabili per una cartografia di respiro regionale come quella prodotta. Per correttezza di informazione e di trasferimento dei dati, il dataset è stato comunque riportato in due tabelle a corredo della cartografia.

2. LA CARTA

Per fornire alla distribuzione dei fenomeni di sinkhole il necessario supporto cartografico di natura geologica ed idrogeologica, che mettesse in evidenza le caratteristiche delle diverse Sinkhole Prone Areas con l'incidenza e la densità di sviluppo dei sinkhole, è stata realizzata una base cartografica in scala 1:250.000 che, muovendo dalle carte prodotte da Boni (Boni et al., 1988) e da Bigi (Bigi et al., 1983), ha inteso fornire un quadro di lettura specificamente in chiave di studio dei sinkhole.

Come esposto in numerosi lavori da parte di diversi Autori (Capelli et al., 2000; Capelli&Salvati, 2002; Salvati&Sasowsky, 2002; Tharp, 2000; Tuccimei et al., in printing), i sinkhole s.s. (Nisio&Salvati, 2004), sono fenomeni di natura complessa nella cui genesi e sviluppo giocano un ruolo di primo piano sia le condizioni idrogeologiche che il contesto geologico, oltre ovviamente a tutta un'altra serie di fattori, i cosiddetti triggering issues che non sono oggetto di questa trattazione.

Tutte le informazioni sulla geologia e sull'idrogeologia delle formazioni affioranti sono state quindi elaborate organicamente e congiuntamente, in modo da fornire un framework geo-idrogeologico di riferimento univoco.

L'interesse primario era ovviamente la localizzazione dei fenomeni di sinkhole e la conseguente identificazione delle Sinkhole Prone Areas, con un particolare accento posto sulla localizzazione delle aree in funzione delle caratteristiche geologiche ed idrogeologiche.

Per realizzare questo obiettivo sono stati, quindi, identificati dei complessi idrogeologici, sensu (Boni et al., 1986) che riuniscono tutte le litologie con medesimo comportamento idraulico e caratteristiche sedimentologiche simili. I dati provenienti dalle ricostruzioni litostratigrafiche e strutturali sono stati poi usati, insieme a quelli propri del sistema idrogeologico, per suddividere le litologie affioranti secondo una gerarchizzazione orizzontale. In altre parole quelle indicate in legenda non sono formazioni geologiche né facies, ma piuttosto metacomplexi idrogeologici, ed estesamente:

- il "Complesso delle sabbie dunari", depositi dunari, depositi eolici costieri prevalentemente sabbiosi, con uno spessore massimo di alcune decine di metri. Questo complesso contiene una falda continua ed estesa, se pur di spessore limitato;
- il "Complesso dei depositi plio-quadernari". Questo metacomplexo comprende i sedimenti plio-pleistocenici e quadernari continentali, marini, lacustri e fluviali. Caratterizzato da permeabilità e spessore molto variabili (da pochi metri a circa un centinaio), è sede di numerosi acquiferi di modesto spessore ed estensione, sia liberi che confinati. In esso sono compresi i corpi travertinosi e quelli detritici di pendio;
- il "Complesso dei depositi vulcanici", ovvero piroclastiti indifferenziate, lave ed ignimbriti litoidi dei complessi vulcanici laziali. Di spessore variabile da pochi metri ad oltre un migliaio, questo complesso è caratterizzato in grande da una buona permeabilità primaria e secondaria ed ospita una estesa falda basale; al di sopra di questa, sono presenti numerose falde superficiali minori, il cui il rischio da inquinamento è molto alto. Sono localmente presenti cospicue risalite di gas (principalmente anidride carbonica, solfati e solfuri), dovute ad attività idrotermale tardiva;
- il "Complesso dei sedimenti silicoclastici-argillosi". In questo metacomplexo sono compresi tutti i terreni caratterizzati da una permeabilità da bassa a bassissima e dalla presenza di limitate e locali falde idriche. Sono compresi le argille marine plioceniche, i depositi flyschoidi cretaci e miocenici e le formazioni metamorfiche affioranti ad est di Castro;

- il “Complesso dei calcari e delle marne di transizione”, comprendente i depositi della successione di transizione umbro-sabina, caratterizzata dalla presenza di calcari micritici e marnosi, calcareniti, marne e marne calcaree, argille e selci. Ha una buona permeabilità in grande ed ospita estese falde di importanza regionale, a volte discontinue a causa dei livelli argillosi e marnosi e delle deformazioni tettoniche, che ne interrompono spesso la continuità. Di spessore variabile dalle centinaia alle migliaia di metri;
- il “Complesso dei calcari di piattaforma”, costituito da una potente sequenza di calcari e calcari dolomitici, privi di intercalazioni significative di altra natura, e da scarse dolomie basali. E' caratterizzato da una elevatissima permeabilità per carsismo e fratturazione; questo complesso ospita gli enormi acquiferi che saturano la base dei rilievi carbonatici.

Per completezza ed organicità di rappresentazione sulla Carta sono stati riportati anche i lineamenti tettonici di carattere regionale ed il reticolo fluviale principale.

3. ELEMENTI A CORREDO DELLA CARTA

A corredo della Carta di localizzazione delle Sinkhole Prone Areas della Regione Lazio, è stato ritenuto necessario, oltre che funzionale ad una corretta e completa lettura del fenomeno in se, rappresentare anche altri elementi conoscitivi o frutto di elaborazioni. In particolare sono state inserite delle esplosioni a scala di dettaglio (1:25.000 o 1:10.000) delle aree con maggiore incidenza del fenomeno (Piana di S.Vittorino, Piana Pontina, Bacino delle Acque Albule), in cui sono evidenziati i singoli fenomeni censiti. In questi balloon anche le informazioni di carattere geologico, idrogeologico ed idrologico sono maggiormente dettagliate.

A fianco delle tabelle che riportano l'intero dataset, censito, poi, sono è stata inserita una tabella che mostra l'incidenza dei sinkhole nelle diverse aree, espressa come numero dei fenomeni/estensione areale. Questo dato, sebbene sia affetto da approssimazioni, permette di visualizzare la pericolosità di un'area in chiave numerica come espressione di un rapporto.

3.1. Sezione sintetica e classificazione del fenomeno

Per concludere, in calce alla Carta è stata inserita una sezione geologica tipo (massiccio carbonatico/piana e bedrock carbonatico/riempito clastico sedimentario) in cui sono riportati i diversi tipi di fenomeni identificati sperimentalmente in tutta l'area studiata, in funzione delle caratteristiche geologiche ed idrogeologiche del framework di innesco e sviluppo. Come esposto in Nisio & Salvati (Nisio&Salvati, 2004) non tutti i fenomeni di sprofondamento catastrofico posso essere classificati come sinkhole. Nella sezione in parola tuttavia son riportate tutte le tipologie di fenomeni riconosciuti, sebbene l'accento sia da porre sui cosiddetti cover collapse sinkhole e spring sinkhole. Per la trattazione delle basi scientifiche e le considerazioni sulla classificazione dei fenomeni di sinkhole si rimanda al citato lavoro di Nisio & Salvati (Nisio&Salvati, 2004).

In questa sede viene fornito un quadro conoscitivo e descrittivo generale dei fenomeni censiti.

- 1) Sinkholes per collasso della copertura (piccoli spessori) (Thin layered karst cover collapse sinkhole). A questa categoria appartengono quegli sprofondamenti catastrofici presenti solitamente sui pendii delle dorsali carbonatiche. La loro genesi è dovuto alla presenza, sotto superficie a poca profondità, di una rete carsica ben svi-

luppata, con cavità e condotti in grado drenare verso il basso la regolite. Il sovraccarico è dovuto ai depositi di versante poco cementati. Le loro dimensioni sono generalmente modeste, a meno che siano il risultato superficiale di un crollo di una cavità sotterranea importante. Comunemente sembrano avere il fondo asciutto, composto di detriti, poiché la superficie topografica è ben al di sopra della superficie piezometrica.

- 2) Sinkholes per crollo di cavità (Cave collapse sinkhole). Queste forme sono tipiche di quei punti in cui affiorano i terreni carbonatici, che possono essere sia i calcari meso-cenozoici che i travertini o le ghiaie cementate quaternarie. Questo tipo di sprofondamento catastrofico è conosciuto generalmente nella bibliografia europea come dolina di crollo. Sono nella vasta maggioranza riempiti di acqua dell'acquifero superficiale. Il loro sviluppo si genera dal crollo del tetto della cavità e le loro dimensioni, in termini di diametro e profondità, dipendono direttamente dalla cavità sotterranea da cui derivano.
- 3) Sinkholes per collasso della copertura (grandi spessori) (Thick layered karst cover collapse sinkhole). Assomigliano alla prima categoria descritta, essendo entrambi definiti come sprofondamenti catastrofici per crollo della copertura; diversamente da questi però, lo spessore dei terreni di colmamento delle piane attraverso cui si propaga la deformazione può essere spesso 100 e più metri. La loro origine deve essere messa in rapporto non con il crollo di una cavità sotterranea preesistente, piuttosto con lo sviluppo di una deformazione all'interno dei depositi sovrastanti. Il processo principale dovrebbe essere l'erosione chimica dei sedimenti dei depositi sovrastanti, per mezzo di acqua di falda resa aggressiva nei confronti dei carbonati. Il materiale sciolto in seguito sarebbe mobilitato per mezzo della circolazione delle acque di falda attraverso le discontinuità tettoniche, causando l'aumento dei vuoti nei depositi sovrastanti. Condizione necessaria per lo sviluppo di questo tipo di sinkholes è:
 - a) la presenza, all'interno dei depositi sovrastanti, di termini carbonatici (travertini, ghiaie e sabbie calcaree, depositi clastici con cemento calcareo);
 - b) una circolazione dell'acqua di falda abbastanza potente (in termini di velocità di flusso e di scarico), in modo da poter corrodere e trasportare meccanicamente il materiale sciolto (o reso tale) dei depositi sovrastanti;
 - c) una circolazione di acqua di falda aggressiva, in grado di attaccare chimicamente i depositi calcarei (Capelli et al., 2000; Capelli&Salvati, 2002; Salvati&Sasowsky, 2002; Sharp, 2000; Tuccimei et al., in printing).

Le dimensioni di questi sinkholes possono variare secondo la profondità di innesco della deformazione e sulle caratteristiche geomeccaniche dei terreni dei depositi sovrastanti. Occasionalmente possono essere completamente asciutti, ma sono riempiti spesso di acqua meteorica così come di acqua di falda. In questa ultima situazione le analisi chimiche delle acque mostrano la contaminazione dovuta ad acqua di circolazione più profonda. I crolli tendono a non riformarsi nello stesso punto. Il modello di sviluppo per questi sinkholes non fornisce soluzioni per i fenomeni reiterativi nello stesso punto.

- 4) Sinkholes sorgente (Spring sinkholes). E' questo un tipo completamente nuovo di sinkhole (Nisio&Salvati, 2004), sinora non definito o descritto in qualsiasi altro luogo nel mondo. Sino ad oggi, i dati raccolti indicano che questo tipo di sinkhole sembra essere una caratteristica delle località termali italiane, in particolare delle Sinkhole Prone Areas dell'Italia centrale. Questi fenomeni di crollo catastrofico sono stati interpretati come classe a parte dei sinkholes di crollo della copertura discussi sopra. Diversamente dai fenomeni già descritti, per gli spring sinkholes le differenze possono essere evidenziate come segue:

- a) un contributo importante da acqua di falda proveniente da una circolazione profonda, relativa agli strati acquiferi più profondi; questa prova è indicata chiaramente dalle analisi dei parametri chimico-fisici e dalle analisi di isotopi radioattivi geogenici;
- b) il loro collegamento idraulico e la conseguente origine nella rocce del substrato carbonatico;
- c) l'indipendenza del loro sviluppo dalla profondità nella rocce del substrato carbonatico, così come dallo spessore della copertura sovrastante;
- d) i fenomeni di crollo catastrofico tendono a ripetersi nello stesso punto; questo effetto conduce alla formazione di depressioni importanti, soprattutto quando sinkholes differenti sono coalescenti;
- e) la presenza di risalite di fluidi profondi ricchi di gas;
- f) l'artesianità dello strato acquifero in cui si sviluppa il sinkhole sorgente.

Attraverso l'analisi dei casi reali censiti nel territorio laziale e considerando gli elementi concettuali che emergono dalla classificazione proposta, al termine del Progetto Sinkhole si è giunti, quindi, ad una proposta preliminare di normativa per la gestione delle aree a rischio che si basa su una serie di criteri e di interventi strutturali (reti di monitoraggio) che affrontano il rischio connesso ai sinkhole su base multidisciplinare (Capelli&Salvati, 2002).

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

In chiusura di questa nota si vuole porre l'attenzione sullo fatto che la "Carta delle aree a rischio sinkhole della Regione Lazio" è il primo tentativo organico di censimento, catalogazione e classificazione dei fenomeni di sinkhole alla luce delle più moderne conoscenze scientifiche sullo sviluppo di questi fenomeni e con l'ausilio della integrazione di strumenti conoscitivi e di indagine. Di fatto essa rappresenta uno "strumento" di consultazione e supporto per la pianificazione e la gestione del territorio nelle aree a rischio. Lungi dall'essere un documento definitivo, la Carta ha però come scopo primario quello di trasferire in modo sintetico, chiaro e facilmente utilizzabile le informazioni e le conoscenze verso gli utilizzatori di riferimento rappresentati dai tecnici dell'amministrazione regionale. Allo stesso tempo il DataBase di supporto rappresenta una banca dati che può essere assunta come punto di riferimento, per la strutturazione del dataset, ma anche come punto di partenza per tutti i tecnici e ricercatori impegnati nello studio e nella comprensione dei fenomeni di sinkhole. La strutturazione della Carta e del DataBase di supporto è stata tale che in futuro sarà possibile implementare e integrare in un unico strumento informatizzato (GIS) tutte le conoscenze per una migliore e soprattutto integrata e ottimizzata gestione delle aree e del rischio sinkhole ad esse connesso.

Gli Autori intendono ringraziare tutti quanti a vario titolo hanno lavorato al Progetto Sinkhole del Lazio con il cui lavoro ed impegno è stato possibile realizzare questa Carta.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- BIGI, G., COSENTINO, D. & PAROTTO, M. (1983). Modello litostratigrafico-strutturale della Regione Lazio: scala 1:250000. REGIONE LAZIO, Assessorato alla Programmazione, Ufficio Parchi e Riserve Naturali.
- BONI, C., BONO, P. & CAPELLI, G. (1986). Schema Idrogeologico dell'Italia centrale. Memorie della Società Geologica Italiana **35**, 991-1012.

- BONI, C., BONO, P. & CAPELLI, G. (1988). Carta Idrogeologica del territorio della Regione Lazio. Regione Lazio e Dip. Sc. della Terra - Univ. "La Sapienza"
- CAPELLI, G., PETITTA, M. & SALVATI, R. (2000). Relationships between catastrophic subsidence hazards and groundwaters in the Velino Valley (Central Italy), Ravenna, Italy.
- CAPELLI, G. & SALVATI, R. (2002). Il Progetto Sinkhole del Lazio. Dip. Sc. Geologiche Univ. Roma TRE & Regione Lazio Ass.to U.T.V.R.A., Rome.
- NISIO, S. & SALVATI, R. (2004). Fenomeni di sprofondamento catastrofico. Proposta di classificazione applicata alla casistica italiana. APAT, Rome.
- SALVATI, R. & SASOWSKY, I. D. (2002). Development of cover collapse sinkholes in areas of groundwater discharge. *Journal of Hydrology* **264**.
- THARP, T. M. (2000). Cover-collapse sinkhole formation and piezometric surface drawdown. P.E.LaMoreaux and Associates, Louisville, Kentucky.
- TUCCIMEI, P., SALVATI, R., DELITALA, M. C. & CAPELLI, G. (in printing). Radon tracing of groundwater input into a cover collapse sinkhole within the discharge zone of a karst aquifer (Green Lake, Pontina Plain, Central Italy). *Applied Geochemistry*.

