

Premessa

Preface

NISIO S. (*)

RIASSUNTO - Da alcuni anni sono stati condotti dal Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia (ISPRA già APAT) studi e ricerche riguardo particolari fenomeni di sprofondamento naturale (*sinkhole* s.s.) che hanno interessato alcune pianure del territorio nazionale.

Nel 2002 è stato avviato un progetto di ricerca a scala nazionale, "Progetto *sinkhole*" (Coordinamento dott.ssa Stefania Nisio), che ha come obiettivo il censimento e lo studio di tali tipologie di sprofondamento.

In tale ambito è stato costituito un gruppo di lavoro composto da esperti nella materia appartenenti ad Enti di Ricerca ed Università che ha avuto il compito di approfondire e discutere criticamente alcuni particolari aspetti riguardanti i fenomeni di *sinkhole*.

Nel 2004, nell'ambito del Progetto *sinkhole*, è stato organizzato il primo *workshop* internazionale, tenutosi a Roma il 20 e 21 maggio, dal titolo "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di *sinkhole* e ruolo delle Amministrazioni statali e locali nel governo del territorio".

Nell'ambito dello stesso progetto sono stati, sinora, censiti e studiati più di 800 casi di sprofondamento naturale in aree di pianura, attribuiti a fenomeni di *sinkholes* s.s., ed effettuati sopralluoghi ed analisi di dettaglio in sito sui primi 350 casi.

In tale contesto è stata realizzata la presente monografia che riassume i risultati delle prime ricerche svolte.

Questa monografia, redatta anche con il contributo dei costituenti del gruppo di lavoro nonché di altri esperti del settore, ha per oggetto la descrizione dei caratteri generali dei fenomeni di *sinkholes* studiati, con particolare riguardo ai fattori predisponenti ed innescanti. Sono stati descritti, nello specifico, gli aspetti geomorfologici ed i contesti geologici, idrogeologici suscettibili a *sinkholes*.

Dei casi più significativi, riportati di seguito, è stato possibile approfondire gli studi con indagini dirette mediante tecniche specifiche (indagini geognostiche, ispezioni subac-

quee, studi ed analisi idrogeologiche e geochemiche, indagini geofisiche, gas del suolo ed altro) al fine di raccogliere tutte le informazioni utili per giungere alla comprensione dei meccanismi genetici.

Tuttavia la ricerca sull'argomento è ancora all'inizio e permangono aperti molti problemi riguardo la genesi, l'evoluzione, l'innescamento e la propagazione nonché il trasporto dei materiali.

La presente monografia costituisce pertanto un primo contributo alla ricerca e alla comprensione dei *sinkholes*.

ABSTRACT - In the last twenty years several sinking phenomena have been detected in the Italian plain areas. Many specific observations allowed to follow the evolution of the phenomena. These studies showed that the genetic mechanisms are not the typical karst phenomena but, due to the thickness of the sedimentary cover, are related to deep piping processes. Some of these sinkholes phenomena are named deep piping sinkholes: the sudden collapse is caused by the uprising of fluids and following upward erosion.

Other anomalous cavities or subcircular hollows, both dry, observed on the Italian territory have been defined as "craters" or "pseudocraters". Some lie in volcanic areas so they have been described as maar or little volcanic craters. The cavities in karst areas have been identified as dolines. Other structures have been supposed to be of anthropic origin (quarries, mines, archaeological structures or explosion craters following the world war two bombing).

In several Italian regions lie many sub-circular ponds that have been formed in historic age. Their genetic mechanisms, the geological and structural setting and the morphology are compatible with a piping sinkhole collapse.

These ponds are usually sub-circular with diameters ranging from few to one hundred meters and maximum depth of fifty meters. The dialectical names usually derive from a sort of description of the crater-like shape: obico, sprofon-

do o sprofonno, ovizo, obizzo, Latium dialectal language (very similar to the word aviso o aiso that indicate doline in an ancient dialectal form of the Salento area), sprugola (Liguria), gorgo (Sicily, Romagna and Veneto), occhio pollino (Lombardia) commole, piscine, tonzi o occhi d'acqua, sparafunni, puri o putei (Campania), gurghi o puli (Puglia).

Some legends indicate that the sink followed a catastrophic event (i.e. earthquake, flooding).

Usually these ponds are of karst origin due to the collapse of the roof of a karst cavity (collapsed dolines) or for very strong chemical dissolution of the calcareous bedrock. Sometimes the genetic mechanisms are more complex with the influence of the deep piping processes.

The correlation within these ponds and the piping sinkholes is due to the presence of water inside the sinkhole. In almost all observed cases the sinkhole "drowns" within few ten of days after the formation. The water may be of surficial origin (shallow aquifers or streams) otherwise the pond hosts submerged springs feed by a deep regional aquifer.

Discern which of the many ponds and little cavities in Italy is a sinkhole strict sense is not easy. Specific investigations (geological surveys, geophysical, geochemical and hydrogeological studies) must be used to verify the hypothesis.

The high costs of the analyses reduce the possibility of making an extensive study. In many cases is possible just to express an hypothesis. The first step is to verify the geological and structural scenario both from literature and by direct investigations and surveys.

The aim of this work has been the census of all the natural collapse phenomena in plain areas, the location of pseudo-craters forms in the plains, in the pedemountains or hills areas, the survey of the ponds or little lakes that could be originated by a deep piping phenomenon. The census has been conducted through historical researches (ancient maps, reports etc.) and by direct investigations in particular on the morphology and hydrochemistry of the sinkholes.

The phenomena identified as sinkholes strict sense have been seen in perspective of the geological and structural setting scenario. Some cases of study have been chosen for further specific investigations to identify the real genetic processes of the collapses.

The triggering factors, the genesis and development of sinkholes strict sense are basically different from those that generate the karst landforms. Sinkholes show an hypogean upward propagation, instead dolines grow downward by following step collapses.

The resulting morphologies of dolines and sinkholes are very similar and this is the main problem to discern the two phenomena.

Sinkholes phenomena may show diameters up to some hundreds of meters and, when locate in volcanic areas in pyroclastic deposits may be confused with volcanic craters (maar). The maar are not erosive landforms and usually at the top of the cavity there is a small deposit creating a smooth relief that is not present in the sinkholes.

The morphology and morfometry of volcanic forms, anthropogenic sinkholes and dolines have been studied by several Authors. Hereby it will discuss only about some of the sinkholes strict sense and the different morphology, hydrogeology and litology of these collapses in some Italian region.

Sinkholes strict sense are erosive sub-circular and cylindrical shaped forms that collapse and develop quickly and are characterized by an endorheic drainage net.

This definition fits with the definition for dolines but sinkholes strict sense are located just in plain areas characterized by the presence of a very thick sedimentary cover.

The sub-cylindrical or pseudo-conic shape of the sinkho-

les strict sense has been verified by several Authors by bathymetric surveys, geophysical scans or by direct scuba explorations. Several numerical models highlight this cylindrical shape. This shape is due to the physical characteristic of the collapse that could be considered as a collapsed vertical shaft.

The shape and the geometry of the sinkholes derive from a genetic process that starts with the creation of a small cavity close to the carbonatic bedrock with a sort of progressive emptying from the bottom to the top of the cover layers.

The cave develops upward by following steps; the resulting shape, funnel or cylindrical, depends on the leading issue (ravelling or piping or a mixing of both) and on the mechanic response of the soil.

The final collapse, when the deformation reaches the soil surface, is catastrophic with the formation of the sinkhole.

Sometimes the same processes may reactive several times in the same place. In this case sinkholes may be twin or multiple.

Developing issues are defined as factors that facilitate, support or characterize the propagation of the collapse phenomenon from the triggering point towards the soil surface.

A first grade importance factor is represented by the mechanic and reologic characteristics of the cover terrain. The upward propagation may be described as a poroelastic deformation of terrains undergone to stress. The triggering stressing factors that may cause the sinkhole formation are several, in particular:

- sudden and harsh decompression of the confined karst aquifer hosted in the carbonatic bedrock
- break of the boundary layer bedrock/soil cover with ravelling phenomena and formation of micro-cavities
- over pumping of the pressurized karst aquifer with action on the overlying soil layers
- deep piping by the aggressive, fast-flow and chemically aggressive ground-waters on the less cohesive cover deposits.

The upward propagation of the deformation strictly depends on the mechanics characteristics of the terrains.

A non cohesive cover will acts as sand in a sandglass with an homogeneous downward flow originating a conic shaped form. The presence of cohesive or lithoids layers will causes a step progression of the collapse. This last is the typical Italian situation.

The resulting shapes are not conic but usually cylindrical. The more endurance materials slow the evolution of the sinkhole that becomes more dangerous due to the less predictability of the event.

Other relevant elements of the developing set are the pumping and deep pumping effects of the karst aquifer on the overlying strata once the boundary layer between the aquifer and the cover sediments has been broken. In this case the pressurized aquifer is able to act on the sediments with a mechanical direct erosion and, where the chemistry of the water is acidic, with a chemical dissolution. The eroded sediments will be flushed away by the underground water flow.

Acidic and aggressive gasses (CO₂ and H₂S mainly) and mineralized fluids deep seated may rise altering the structure of the cover materials and increasing the erosion. The mechanical action of the gasses and fluids may also increase the effect of the water pumping.

The sinkhole prone areas are characterized (in many cases) by the widespread presence of faults affecting the bedrock. Some of these tectonic structures may be still active with seismic activity. Some sinkholes are aligned along these tectonic displacements

The drowning process affects the sinkhole in areas where the table water is close to the soil surface. In these cases the

formed sub-circular depressions often contain small lakes or ponds. This phenomenon, called “drowning”, generally represents the first stage of sinkhole evolution. Under such conditions water levels may be affected by seasonal fluctuations caused by rain and/or by the presence of a water outlet. In some cases fluctuations of the water surface are not recognised, but gas emissions and stream outflow from the pond may occur, this suggests the presence of a spring on the bottom of the lake fed by the deep aquifer.

These lakes are often characterised by bubbling phenomena caused by deep-origin gases (CO₂, H₂S, H₂, He) uprising along crustal discontinuities. The presence of acidic gases (CO₂, H₂S, H₂), which dissolve into the groundwater, can cause dissolution and weakening of the supporting geological structure, in particular of travertines and other carbonate-rich sediments. Carbonate dissolution combined with siphoning off of the fine particles results in a loss of structural integrity and subsequent collapse. This hypothesis is supported both by the water chemistry and by direct observation of the lake bottom. The deep origin of the fluids has been verified by chemical analyses of the dissolved gasses in the water filling the sinkholes.

After several years from its formation a the sinkhole cavity could become dry and could be filled until the depression is no longer visible on surface and/or filled by sediment. This stage is called extinction. Some hypotheses may be advanced regarding the sinkhole extinction:

- filling with stream sediments and/or with colluvial material from range fronts;
- slumping of the sinkhole borders which increases the diameter and simultaneously causes the filling of the cavity with the collapsed material;
- draining of the sinkhole caused by changes in groundwater circulation and/or water table level, for example induced by seismic events.

Extinct sinkholes may be re-opened in the same location or undergo a sudden collapse which may cause changes in their dimensions. Sinkhole re-activation may be explained with a renewing of the conditions which caused the original collapse (seismic events, human activities, flood events, etc.).

The extinct sinkholes can be reopened in the same position with the same shape or can change the morphology (i.e. variation of diameter and depth).

Sometimes extinguished sinkholes could re-open in a shifted position. This process is called “migration”. The causes of this migration and of the possible preferential direction are still studying.

1. - I SINKHOLES NELLE AREE DI PIANURA ITALIANE

Il presente volume riguarda alcune tipologie di sprofondamenti naturali, noti in letteratura con il termine *sinkhole* s.s.

I *sinkholes* in senso stretto sono voragini di forma sub-circolare, con diametro e profondità variabili da pochi metri a centinaia di metri, che si aprono rapidamente nei terreni, nell’arco di poche ore.

I processi che originano questi fenomeni non sono riconducibili alla sola gravità e/o alla dissoluzione carsica, ma entrano in gioco una serie di cause predisponenti ed innescanti (fenomeni di

liquefazione, substrato carsificabile posto anche a notevole profondità, copertura costituita da terreni a granulometria variabile con caratteristiche geotecniche scadenti, presenza di lineamenti tettonici, faglie o fratture, risalita di fluidi mineralizzati, eventi sismici, eventi pluviometrici, attività antropica, ecc.).

In relazione ai suddetti fattori genetici e alle modalità di propagazione del fenomeno (dal basso verso l’alto all’interno dei terreni di copertura) questa tipologia di sprofondamento si contraddistingue dalle depressioni naturali di origine prettamente carsica (doline).

Tali fenomeni si verificano in aree di pianura al di sopra di elevati spessori di terreni di copertura.

Gli spessori dei sedimenti di copertura, per lo più costituiti da alluvioni miste con alternanze di intervalli a differente granulometria, sono generalmente prossimi ai cento metri, a volte superano ampiamente tali valori.

Nella maggior parte dei casi le voragini sono strettamente connesse a fenomeni di liquefazione (*piping*), a suffosione profonda, a oscillazioni della tavola d’acqua dovute a diverse cause (*deep piping sinkhole*).

I *sinkholes* s.s. sono più diffusi di quanto originariamente si pensasse, si verificano sul nostro territorio da tempi storici, quando le cause ed i meccanismi genetici di innesco erano ancora sconosciuti. Le fonti storiche ci confermano che gli sprofondamenti catastrofici erano già noti in epoca romana e, con frequenza centennale, hanno interessato le medesime aree, laddove i primi fenomeni erano stati oblitterati artificialmente o naturalmente.

Gli scenari morfologici in cui si originano queste tipologie di *sinkholes* sono: conche intramontane, valli alluvionali, pianure costiere; subordinatamente fasce pedemontane di raccordo con aree di pianura e piccole depressioni intracollinari (fig. 1).

I fenomeni analizzati sono stati raggruppati in aree suscettibili (*sinkhole prone areas*).

Le aree suscettibili si concentrano sul medio versante tirrenico ed in particolare nelle regioni del Lazio, Abruzzo, Campania e Toscana (fig. 2). Il versante adriatico, a causa del proprio assetto geologico-strutturale, non ne è interessato, così come l’arco Alpino e le Dolomiti.

In Italia settentrionale (dove è in corso ancora il censimento) le condizioni sono differenti. Nelle pianure del Veneto ed in Emilia-Romagna, soprattutto in Pianura Padana alla confluenza del Po con l’Adige, sono presenti numerosi laghi di forma sub-circolare la cui formazione è imputabile a processi di evorsione (fenomeni erosivi legati a turbolenze ad asse verticale) a carico di corpi sedimentari

caratterizzati da discreti spessori di materiali sabbiosi e/o a processi di liquefazione e suffosione.

In Pianura Padana sono inoltre diffuse voragini di piccolo diametro e modesta profondità i cui meccanismi genetici di innesco sono ancora in fase di studio.

Nelle pianure e conche interne del Veneto, del Friuli, della Provincia Autonoma di Bolzano i fenomeni di sprofondamento sono strettamente controllati dalla dissoluzione di litotipi evaporitici e carbonatici che si rinvengono al di sotto di una copertura generalmente di modesto spessore, riconducibili pertanto a tipologie di *cover-collapse sinkhole*.

I fenomeni segnalati in Calabria, invece, sono riconducibili a piccole cavità, oggi ricolmate, di difficile ubicazione, originatesi nella totalità dei casi durante eventi sismici e connesse a fenomeni di liquefazione dei terreni.

Il contesto geologico appare sostanzialmente differente in Sicilia e in Puglia in cui i casi di sprofondamento sono condizionati dalla presenza di terreni evaporitici (gesso e sale) o calcarei e da coperture argillose o sabbiose di spessore più modesto.

Caratteristica di alcune aree suscettibili è la

presenza di faglie attive che interessano *bedrock* e la copertura quaternaria.

In una buona percentuale di casi è stata riscontrata una stretta correlazione tra evento sismico ed innesco del fenomeno, in minore percentuale dei casi si è riscontrata una correlazione con alternanze di periodi secchi e piovosi.

Nei capitoli seguenti verranno descritti i fenomeni più peculiari dei diversi ambiti regionali ed esposte le prime ipotesi riguardo i meccanismi genetici.

2. - IL PROGETTO *SINKHOLE*

Il Progetto *sinkhole*, avviato a partire dal 2002, risulta il primo tentativo di censimento dei fenomeni naturali di sprofondamento, in aree di pianura, a scala nazionale.

Esso è stato realizzato e coordinato dal Servizio Geologia Applicata ed Idrogeologia dell'ISPRA, in dettaglio ha avuto come obiettivo la realizzazione di un data base e l'ampliamento delle ricerche sull'argomento *sinkhole*; per ottemperare a tali obiettivi sono state svolte alcune attività.



Fig. 1 - Esempi di pianure interessate dai fenomeni di *sinkhole* : a) la piana costiera di Grosseto; b) la pianura Pontina (LT); c) la conca in tramontana di S. Vittorino (RI); d) la conca di Forino (AV).

- Examples of the *sinkholes* prone areas: a) coastal plain of Grosseto; b) Pontina coastal plain (LT); c) St. Vittorino intermountain plain (RI); d) Forino (AV) intermountain plain.



Fig. 2 - Distribuzione dei fenomeni di sinkholes censiti nelle aree di pianura italiane.
- Distribution of the sinkholes phenomena taken a census in the Italian plain areas.

Censimento dei fenomeni di sinkhole verificatisi nel territorio nazionale e raccolta dati.

È stato avviato il censimento dei fenomeni di *sinkhole* in aree di pianura, mediante ricerche bibliografiche, al fine di reperire, valutare, archiviare i dati. È stata condotta un'analisi storica in archivi e biblioteche specializzate al fine di reperire cartografia antica e/o cronache relative a sprofondamenti. È stata, di seguito, effettuata una raccolta di stratigrafie dei sondaggi provenienti dagli archivi del Servizio Geologico d'Italia (L. n. 464) nelle aree oggetto di sprofondamenti. Successivamente sono state inoltrate richieste ad enti pubblici e comuni interessati di possibilità di accesso ad indagini geognostiche e geofisiche svolte sulle aree colpite.

Per integrare il materiale documentale reperito in letteratura sono stati avviati inoltre contatti di lavoro con i tecnici degli Enti locali interessati a questo fenomeno.

Rilevamenti geologici, geomorfologici, idrogeologici di dettaglio sui siti interessati.

Sono stati effettuati rilevamenti geologici, idrogeologici e geomorfologici nelle aree interessate dai fenomeni di *sinkhole*. I dati raccolti durante i sopralluoghi geologici sono stati restituiti a scale appropriate su basi topografiche idonee, seguendo le normative previste dal Servizio Geologico d'Italia.

Fotointerpretazione delle aree al contorno.

L'analisi fotointerpretativa, multiscalare e multitemporale, eseguita sull'area vasta, circostante le voragini, con particolare attenzione agli elementi tettonici delle aree interessate e alle forme quiescenti ed inattive, è risultata fondamentale per l'individuazione delle morfologie da sprofondamento attive e ricolmate. Lo studio foto geologico ha pertanto consentito di integrare i dati raccolti dalle analisi in sito.

Studio dei processi genetici in relazione al contesto geologico-strutturale, geomorfologico e idrogeologico che portano

alla formazione dei sinkholes.

L'individuazione di un meccanismo genetico in grado di provocare la formazione di un *sinkhole* s.s. è un tema ancora non risolto e tuttora dibattuto nel mondo scientifico, in quanto sono molte le variabili al contorno, le cause predisponenti ed innescanti il fenomeno. Le ipotesi avanzate, dipendenti dal contesto geologico-idrogeologico, vengono illustrate, nel presente volume, per i diversi casi esaminati.

Individuazione di linee guida per la classificazione dei fenomeni di sprofondamento.

Data la notevole confusione e la diversità di interpretazioni sull'argomento si è ritenuto necessario elaborare una classificazione idonea delle forme di sprofondamento; tentativo che peraltro non era mai stato fatto prima in Italia. Nel presente volume si propone dunque un primo tentativo di classificazione dei *sinkhole* in base alla casistica italiana.

Studio dell'evoluzione e della migrazione delle cavità.

È stato dimostrato che le depressioni formate evolvono nel tempo, esse possono ricolmarsi ed estinguersi, venendo a mancare l'apporto di acque ma soprattutto di gas nel terreno. Spesso si riaprono in altri siti, a poca distanza dai primi, secondo meccanismi ben precisi.

Informatizzazione dei dati.

È stata realizzata una banca dati dei fenomeni censiti, che raccoglie l'ubicazione e la perimetrazione delle aree di pianura suscettibili.

Elaborazione e pubblicazione dei dati.

Durante lo svolgimento del progetto è prevista la periodica pubblicazione di articoli, l'organizzazione di convegni e seminari, la presentazione dei risultati in sedi opportune in Italia e all'estero.