



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA

Organo Cartografico dello Stato (legge n°68 del 2. 2. 1960)

MEMORIE

DESCRITTIVE DELLA

CARTA GEOLOGICA D'ITALIA

VOLUME XCIX

**Voragini in Italia. I sinkholes e le cavità
sotterranee: ricerca storica, metodi di
studio e d'intervento**

*Sinkholes in Italy. The sinkholes and underground
cavities: historical research, study methods and
intervention*



L'ultimo sprofondamento a Marsala: l'evento del 21 novembre 2013

*The last sinkhole at Marsala:
the November 21, 2013, event*

VATTANO M. (*), PARISE M. (**), BONAMINI M. (***),
DI MAGGIO C. (*), MADONIA G. (*)

RIASSUNTO - L'area di Marsala, Sicilia occidentale, è stata storicamente interessata da attività estrattiva con scavi sia in superficie che in sotterraneo. La roccia estratta è una calcarenite del Pleistocene inferiore denominata "Calcarenite di Marsala" e appartenente al Sintema che prende il nome dalla stessa località. Le cave sotterranee sono oggi abbandonate e mostrano un aumento dei segni di instabilità diventando nel tempo un fattore di rischio a causa di diversi fattori che contribuiscono, anche contemporaneamente, all'allargamento dei vuoti sotterranei e alla loro propagazione verso la superficie topografica, fino alla formazione di sprofondamenti. La veloce crescita della città ha contribuito a obliterare le cave causando una perdita della memoria storica sulla loro presenza e ubicazione. Negli ultimi decenni numerosi sprofondamenti si sono verificati sia in aree urbanizzate che in aree utilizzate per l'agricoltura, causando parecchi danni ad edifici ed infrastrutture.

L'ultimo episodio di sprofondamento si è verificato nell'area di Contrada Amabilina, alla periferia orientale di Marsala. La depressione ha un perimetro circa ellittico con assi di circa 100×70 m e una profondità approssimativa di 15 m. Lungo le pareti dell'area sprofondata sono ben visibili le stanze della cava sotterranea, alte fino a 5 m. Dalle testimonianze raccolte pochi giorni dopo l'evento, è stato possibile ricostruire la sequenza di formazione dello sprofondamento. Il collasso, causato dalla propagazione dei vuoti e dai primi cedimenti di alcuni pilastri, è stato seguito da un secondo evento che ha comportato un allargamento della depressione per la redistribuzione degli *stress*, dopo i primi cedimenti.

PAROLE CHIAVE: Marsala, sprofondamento, cave sotterranee, cavità artificiali, Sicilia

ABSTRACT - The Marsala area, at the western end of Sicily, has been historically interested by quarry activities, both at surface and underground. The carved rocks are Lower Pleistocene calcarenites, defined as "Calcarenite di Marsala" and referred to the Marsala syntheme. The subterranean quarries, now abandoned, show increasing instability signs becoming in time a risk factor for several causes, among which: a) breakdowns due to poor (weak) strength of rock and to large size of voids; b) progressive weathering of rock; c) effects of the discontinuities in the rock mass with the pillars and/or walls of the underground quarries. These factors contributed to enlargement of the subterranean voids and to their upward propagation, thus triggering several sinkholes.

The fast urbanization of the city masked many subterranean quarries causing the loss of memory of their location. In the last decades, numerous sinkholes occurred both in urban sectors and in areas designated for agricultural use, creating extensive damage to buildings and infrastructures.

The latest sinkhole episode occurred in the Amabilina area, at the eastern suburbs of Marsala. The depression shows an elliptical perimeter (100×70 m) and a depth of at least 15 m. At the bottom, some rooms up to 5 m high of an underground quarry are visible. From the evidences collected a few days after the event, it was possible to reconstruct the time sequence in the formation of the sinkhole. The collapse started due to the propagation of voids and a first failure of some pillars, and was subsequently followed by a second event, which caused a widening of the depression, due to the redistribution of the stress resulting after early failures.

KEY WORDS: Marsala, sinkhole, underground quarries, artificial cavity, Sicily

(*) Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare, University of Palermo, Via Archirafi 22 – 90123 Palermo, Italy (marco.vattano@unipa.it)

(**) CNR IRPI, Via Amendola, 122/I, 70126 Bari, Italy (m.parise@ba.irpi.cnr.it)

(***) Engineer, Via Trinacria 8, 90144 Palermo, Italy (bonamini@neomedia.it)

1. – INTRODUZIONE

Il territorio di Marsala, all'estremità occidentale della Sicilia (fig. 1), è caratterizzato dalla presenza di numerose cave per l'estrazione di calcarenite utilizzata come materiale da costruzione. Non esistono dati certi e attendibili sull'inizio delle attività estrattive, molte di queste sono state realizzate in sotterraneo a profondità variabili tra pochi metri e circa 25 m, generalmente fino al raggiungimento della superficie piezometrica. Le cave sono scavate su uno o più livelli, seguendo la tecnica di coltivazione a camere e pilastri.

Nel tempo, circa 50-60 anni, le cavità sotterranee sono state progressivamente abbandonate a causa del decadimento delle proprietà fisiche e meccaniche dell'ammasso roccioso, degli alti costi di coltivazione, e delle difficoltà e dei pericoli legati al lavoro in sotterraneo. Molte cave mostrano evidenti segni di instabilità nelle volte, lungo le pareti e i pilastri, diventando nel tempo un fattore di rischio per diverse cause tra cui: a) crolli e cedimenti dovuti alla scarsa resistenza della roccia e alla dimensione dei vuoti realizzati; b) progres-

siva alterazione della roccia; c) gli effetti delle discontinuità dell'ammasso roccioso sui pilastri e/o le pareti degli ipogei. Questi fattori contribuiscono contemporaneamente, all'allargamento dei vuoti sotterranei e alla loro propagazione verso la superficie topografica causando l'innescio di fenomeni di subsidenza e/o *sinkhole* (BONAMINI *et alii*, 2013; CIOTOLI *et alii*, 2013; DELLE ROSE *et alii*, 2004; DEL PRETE *et alii*, 2010; DE PASCALIS *et alii*, 2010; FIORE & PARISE, 2013; GUTIERREZ *et alii*, 2014; LOLLINO *et alii*, 2015; MAZZA *et alii*, 2008; PARISE, 2010; VATTANO *et alii*, 2013, 2014; WALTHAM *et alii*, 2005), in accordo ai meccanismi descritti in PARISE & LOLLINO (2011), e possono creare ingenti danni a edifici e infrastrutture.

La Contrada Amabilina, localizzata ad est del centro abitato di Marsala, è stata più volte interessata da fenomeni di sprofondamento (BONAMINI *et alii*, 2013; VATTANO *et alii*, 2014). L'ultimo episodio si è verificato il 21 novembre 2013 a poche decine di metri dalla Strada Statale 188 (v. fig. 1). In questo contributo viene fornita una descrizione dello sprofondamento sulla base dei primi sopralluoghi effettuati nell'area.

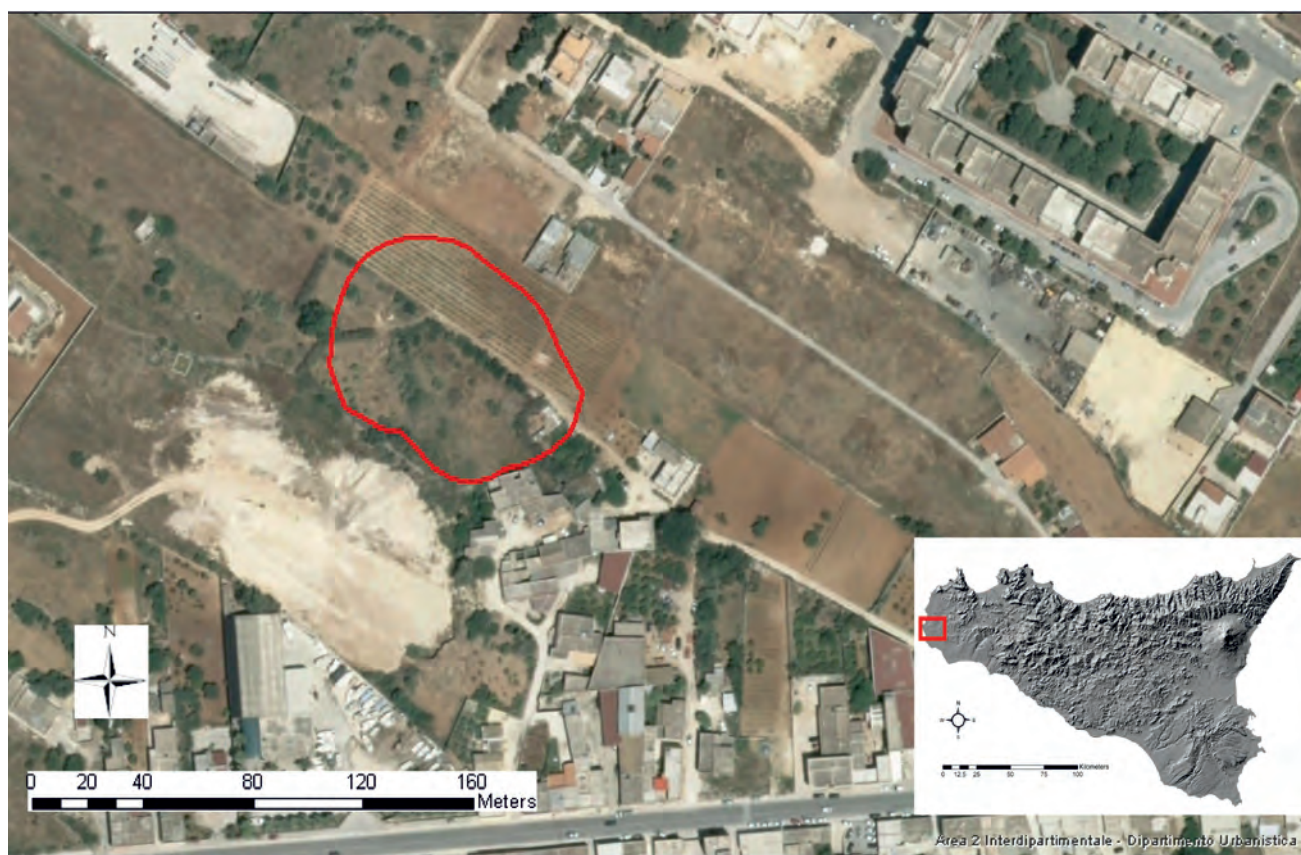


Fig. 1 - Vista dell'area di Contrada Amabilina interessata dallo sprofondamento (perimetro in rosso), formatosi il 21 novembre 2013. In basso è riconoscibile la Strada Statale 188. Nel riquadro è mostrata la localizzazione della zona di Marsala (Ortofoto dal SITR – Ass. Territorio ed Ambiente, Regione Siciliana).
- View of the Contrada Amabilina area. In red the perimeter of the sinkhole formed on November 21, 2013. In the lower part of the picture the State Road 188 is visible. The inset shows the localization of Marsala (Orthophoto from SITR – Sicilian Regional Environmental Department).

2. – ASSETTO GEOLOGICO

Nell'area investigata affiorano calcareniti del Pleistocene inferiore (Calabriano), indicate in letteratura come “Calcarenite di Marsala” (RUGGIERI & UNTI, 1974; RUGGIERI *et alii*, 1975) e riferite attualmente al Sintema di Marsala (DI MAGGIO *et alii*, 2009). La “Calcarenite di Marsala” è composta da tre litofacies con relazioni verticali e laterali che indicano un'evoluzione regressiva del sistema deposizionale. In particolare le litofacies sono formate da: a) calcareniti litoclastiche e bioclastiche da grossolane a fini, ricche in macrofossili; b) sabbie; c) argille grigie sabbiose. I termini *b* e *c* sono entrambi ricchi in microfossili. Le calcareniti e le sabbie passano lateralmente in maniera graduale alle argille sabbiose e a silts che in generale si ritrovano alla base dell'intera successione. Come indicato da RUGGIERI *et alii* (1975) e ARCES *et alii* (2000), la litofacies calcarenitica può essere ulteriormente suddivisa in tre litotipi: 1) calcareniti grossolane e calciruditi in strati potenti tra 10 e 100 cm; 2) calcareniti a grana media e fine con grani addensati; 3) calcareniti a grana da media a grossolana in strati di diverso spessore (7-15 cm) con sottili intercalazioni siltose spesse 1-2 cm. Le cave sono state generalmente scavate in corrispondenza delle calcareniti a grana media e fine.

La successione rocciosa, potente fino a circa 80 m, mostra una stratificazione con pendenze comprese tra 5 e 10° e una generale immersione verso i quadranti occidentali e sud-occidentali. Essa è anche interessata da sistemi di fratturazione ad alto

angolo con piani di discontinuità orientati principalmente in direzione NO-SE e secondariamente E-O. In alcune aree, la “Calcarenite di Marsala” è ricoperta da depositi di terrazzi marini del Pleistocene medio-superiore.

3. – LO SPROFONDAMENTO DEL 21 NOVEMBRE 2013

In Contrada Amabilina, alla periferia orientale del centro abitato di Marsala, nel tardo pomeriggio del 21 novembre 2013 si è formato uno sprofondamento a poche decine di metri dalla Strada Statale 188 (v. fig. 1). Lo sprofondamento ha interessato un fondo agricolo, localizzato in prossimità di edifici rurali, plessi residenziali e piccoli capannoni industriali, dove fino a pochi minuti prima l'evento stava lavorando il proprietario.

Pochi giorni dopo il collasso è stato eseguito un sopralluogo per verificare l'accaduto. Lo sprofondamento è di dimensioni ragguardevoli. Presenta un perimetro ellittico allungato in direzione NO-SE, con asse maggiore e minore rispettivamente di circa 100 e 70 m, e una profondità massima di circa 15 m (figg. 2, 3). Lungo le pareti nord-occidentale e sud-orientale sono visibili le ampie camere di una cava sotterranea che raggiungono 5 m di altezza (figg. 2, 3 e 4B). Tali ambienti sono stati cavati in corrispondenza delle calcareniti a grana media e fine, raggiungendo verso l'alto il limite con le calcareniti a grana da media a grossolana, a pochi metri dal piano campagna.



Fig. 2 - Panoramica dell'area interessata dallo sprofondamento ripresa da Nord-Ovest. Sulla sinistra sono ben visibili le camere ed i pilastri della cava sotterranea.
- View of the Contrada Amabilina sinkhole, from the North-West. On the left, pillars and chambers of the underground quarry are visible.



Fig. 3 - Panoramica dell'area interessata dallo sprofondamento, ripresa da Est. Sulla destra sono ben visibili le camere ed i pilastri della cava sotterranea, mentre sulla sinistra si apprezzano grossi pilastri di roccia basculati rispetto alla loro posizione originaria.

- View of the Contrada Amabilina sinkhole, from the east. On the right, pillars and chambers of the underground quarry are visible. At the left margin of the picture tilted portions of calcarenite rock are present.



Fig. 4 - A: Fratture parallele al perimetro dello sprofondamento, legate al rilascio tensionale successivo alla sua formazione. B: Particolare del settore NO dello sprofondamento con visibili i vani ipogei e l'allargamento dei vuoti, in corrispondenza della porzione più grossolana del corpo calcarenitico.

- A: Fractures parallel to the sinkhole perimeter, formed due to the stress release after the collapse. B: view of the NW sector of the sinkhole with pillars and chamber and the voids enlargement due to the lithological change.

All'interno dello sprofondamento è presente sia il materiale derivante dal crollo della volta della cava sotterranea, sia grossi blocchi di roccia basculati, dove sono ancora riconoscibili i pilastri e il soffitto degli ambienti ipogei (v. figg. 2, 3).

In superficie sono state rilevate diverse fratture parallele al perimetro dello sprofondamento, mostranti differenti ampiezze e profondità, legate a fenomeni di rilascio tensionale conseguenti l'evento (fig. 4A).

La cava era conosciuta in epoca storica e risultava citata anche in alcuni atti di vendita dei terreni soprastanti. Tuttavia nel tempo se ne era persa memoria e solo la presenza di diverse discenderie, oggi parzialmente occluse, poteva suggerire l'esistenza di manufatti ipogei e far porre maggiore attenzione all'antropizzazione dell'area in superficie. Come succede per diverse cave sotterranee della zona, anche di questo ipogeo, purtroppo, non si hanno dati sull'estensione e sulla direzione di sviluppo degli ambienti, né tantomeno sul loro stato di conservazione. Di conseguenza non si è a conoscenza di come proseguano i vuoti e se questi si articolano al di sotto dei manufatti adiacenti (fig. 4B).

Dalla prima investigazione effettuata in superficie e dalle testimonianze raccolte pochi giorni dopo l'evento è stato possibile ricostruire la sequenza di formazione dello sprofondamento.

Il collasso ha avuto inizio a causa della progressiva migrazione dei vuoti verso l'alto e del cedimento di alcuni pilastri. Questi fenomeni hanno subito un'accelerazione nel momento in cui è stata raggiunta la porzione più grossolana del corpo calcarenitico, come testimoniato dall'aumento di dimensioni dei vuoti in questa porzione di roccia (fig. 4B). Ad un primo evento, nell'intervallo di qualche ora, ne è seguito un altro, legato all'immediata ridistribuzione degli stress dopo il primo collasso,

che ha causato l'allargamento dell'area sprofondata verso sud con il basculamento di grandi pilastri di roccia interessati da altri settori della cava.

Al fine di comprendere se le acque di infiltrazione possano avere influito sull'innesco dello sprofondamento sono stati presi in considerazione i dati pluviometrici relativi all'anno 2013, registrati dalla stazione meteorologica "Marsala", gestita dal Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano (SIAS) della Regione Sicilia. L'analisi dei dati pluviometrici mette in evidenza come nel mese di novembre 2013 si siano registrati 119 mm di pioggia, pari al 16% del totale annuo (fig. 5A).

Analizzando nello specifico i dati relativi al solo mese di novembre, si evince una marcata variabilità nella quantità di precipitazioni giornaliere (fig. 5B). In particolare, è stata registrata un'alternanza di giorni con precipitazioni che superano anche i 20 mm di pioggia, e giorni senza alcun contributo meteorico. Questo fattore, che difficilmente può essere indicato come la sola causa scatenante l'innesco di sprofondamenti in questo contesto geologico, può certamente contribuire in tempi lunghi a far variare le capacità di resistenza della roccia, influenzando anche sul coefficiente di stabilità dell'ammasso roccioso, e quindi a favorire condizioni di instabilità (BONAMINI *et alii*, 2013; VATTANO *et alii*, 2013; LOLLINO *et alii*, 2015), anche in relazione all'alta porosità del corpo calcarenitico (ARCES *et alii*, 2000).

4. – CONCLUSIONI

Il presente contributo riveste i caratteri di uno studio preliminare, ma evidenzia ancora una volta la fragilità del territorio di Marsala. La presenza di numerose cave sotterranee, il loro stato di crescente degrado, la progressiva riduzione della resi-

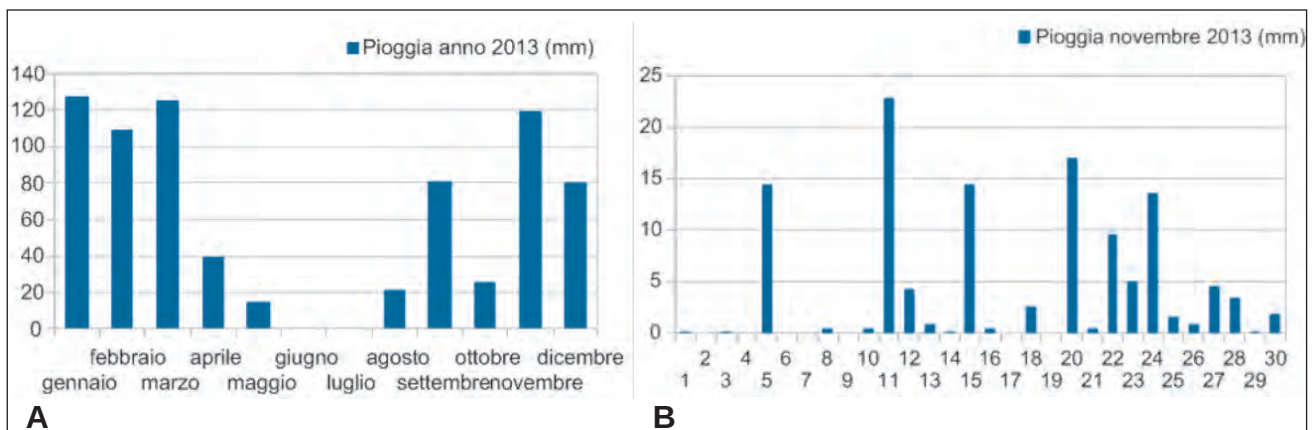


Fig. 5 - Precipitazioni mensili relative all'anno 2013 (A), e precipitazioni giornaliere relative al mese di novembre 2013 (B) registrate dalla stazione "Marsala" del Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano (SIAS).

- A: Monthly rainfall relative to the year 2013. B: daily rainfall relative to November 2013. Dataset from the meteorological station "Marsala", Sicilian Agro-meteorological Information Service.

stenza necessaria a mantenere la stabilità dell'ammasso roccioso, e l'antropizzazione che spesso si spinge al di sopra delle aree interessate dai vuoti, costituiscono un continuo fattore di pericolosità e di rischio. Ne è prova lo sprofondamento apertosi il 21 novembre 2013 in Contrada Amabilina, in un'area già interessata da altri fenomeni simili.

Alla formazione dello sprofondamento hanno contribuito diversi elementi tra cui: lo stato di fessurazione della roccia calcarenitica, lo stato di saturazione della roccia e le sue variazioni, il naturale degrado all'interno delle cavità e il rapporto pieno/vuoti, spesso deficitario. L'insieme di questi fattori, unito alla continua ridistribuzione dei carichi litostatici seguente ai primi cedimenti, favorisce la tendenza alla migrazione dei vuoti verso la superficie topografica, fino alla formazione di sprofondamenti. L'assetto geologico dell'area di Marsala permette, come riscontrato durante i rilievi in campo, un'accelerazione nella propagazione dei vuoti non appena questi raggiungono la litofacies calcarenitica più grossolana.

Un contributo importante nella formazione di queste depressioni, oltre a quelli citati in precedenza, è da imputare alle acque di infiltrazione. Queste infatti, attraversando facilmente il corpo calcarenitico, possono causare continue modifiche nei legami intergranulari, facendo anche variare il coefficiente di stabilità dell'ammasso roccioso. Inoltre, per quanto registrato dalla stazione meteorologica "Marsala", si assiste ad una marcata ciclicità negli apporti meteorici, fattore che contribuisce e crea una veloce saturazione e desaturazione della roccia calcarenitica.

Ancora una volta si mette in evidenza quanto il territorio di Marsala sia estremamente vulnerabile, e la necessità di incoraggiare studi volti alla creazione di un censimento delle cavità sotterranee esistenti, alla realizzazione di rilievi topografici e strutturali di estremo dettaglio, e opportune analisi geotecniche, che permetterebbero elaborazioni, anche a ritroso (*back-analysis*), sulla dinamica di formazione ed evoluzione degli sprofondamenti in 2D e in 3D.

BIBLIOGRAFIA

- ARCES M., AVERSA S., LO CICERO G. & NOCILLA N. (2000) – *The Pleistocene "Calcareniti di Marsala": geotechnical and sedimentological characterisation*. Mem. Soc. Geol. It., **55**: 483-489.
- BONAMINI M., DI MAGGIO C., LOLLINO P., MADONIA G., PARISE M. & VATTANO M. (2013) – *Sprofondamenti di origine antropica nell'area di Marsala (Sicilia occidentale) analizzati mediante rilievi in sito e analisi numerica dei processi di instabilità nelle cave sotterranee*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **93**: 105-120.
- DI MAGGIO C., AGATE M., CONTINO A., BASILONE L. & CATALANO R. (2009) – *Unità a limiti inconformi utilizzate per la cartografia dei depositi quaternari nei Fogli Carg della Sicilia nord-occidentale*. Il Quaternario, **22** (2): 345-364.
- CIOTOLI G., CORAZZA A., FINOIA M.G., NISIO S., SERAFINI R. & SUCCHIARELLI C. (2013) – *Anthropogenic sinkholes in the territory of Roma Capitale*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It. **93**: 143-182.
- DELLE ROSE M., FEDERICO A. & PARISE M. (2004) – *Sinkhole genesis and evolution in Apulia, and their interrelations with the anthropogenic environment*. Natural Hazards and Earth System Sciences **4**: 747-755.
- DE PASCALIS A., DE PASCALIS F. & PARISE M. (2010) – *Genesi ed evoluzione di un sinkhole connesso a cavità antropiche sotterranee nel distretto estrattivo di Cutrofiano (prov. Lecce, Puglia)*. Atti 2° Workshop Int.: "I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma, 3-4 dicembre 2009: 703-718.
- DEL PRETE S., IOVINE G., PARISE M. & SANTO A. (2010) – *Origin and distribution of different types of sinkholes in the plain areas of Southern Italy*. Geodin. Acta **23** (1/3): 113-127.
- IOVINE G. & PARISE M. (2013) – *Cronologia degli eventi di sprofondamento in Puglia, con particolare riferimento alle interazioni con l'ambiente antropizzato*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **93**: 239-252.
- GUTIERREZ F., PARISE M., DE WAELE J. & JOURDE H. (2014) – *A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst*. Earth Science Reviews, **138**: 61-88.
- LOLLINO P., PARISE M. & VATTANO M. (2015) – *Some Considerations on 3-D and 2-D Numerical Models for the Assessment of the Stability of Underground Caves*. In: LOLLINO G., MANCONI A., GUZZETTI F., CULSHAW M., BOBROWSKY P. & LUINO F. (Eds.): *Engineering Geology for Society and Territory*, **5**: Urban Geology, Sustainable Planning and Landscape Exploitation. Springer International Publishing Switzerland, 585-588.
- MAZZA R., CAPELLI G. & LANZINI M. (2008) – *Rischio di crollo di cavità nel territorio del VI Municipio del Comune di Roma*. In: *La geologia di Roma. Dal Centro Storico alla periferia*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **80** (2): 149-170.
- PARISE M. (2010) – *The impacts of quarrying in the Apulian karst*. In: CARRASCO F., LA MOREAUX J.W., DURAN VALSERO J.J. & ANDREO B. (Eds.): "Advances in Research in KarstMedia", Springer: 441-447.
- PARISE M. & LOLLINO P. (2011) – *A preliminary analysis of failure mechanisms in karst and man-made underground caves in Southern Italy*. Geomorphology, **134**: 132-143.
- RUGGIERI G. & UNTI M. (1974) – *Pliocene e Pleistocene nell'entroterra di Marsala*. Boll. Soc. Geol. It., **93**: 723-733.
- RUGGIERI G., UNTI A., UNTI M. & MORONI M.A. (1975) – *La calcarenite di Marsala (Pleistocene inferiore) e i terreni contermini*. Boll. Soc. Geol. It., **94**: 1623-1657.
- VATTANO M., BONAMINI M., PARISE M., LOLLINO P., DI MAGGIO C. & MADONIA G. (2014) – *Le cave sotterranee di Marsala (Sicilia occidentale) e i fenomeni di sprofondamento connessi*. Atti del VIII Convegno Nazionale di Speleologia in Cavità Artificiali. Ragusa 7-9 settembre 2012: 97-103.
- VATTANO M., DI MAGGIO C., MADONIA G., PARISE M., LOLLINO P. & BONAMINI M. (2013) – *Examples of anthropogenic sinkholes in Sicily and comparison with similar phenomena in southern Italy*. Proc. 13th Multidisc. Conf., May 6-10, Carlsbad, New Mexico: NCKRI Symposium 2: 263-271.
- WALTHAM T., BELL F. & CULSHAW M. (2005) – *Sinkholes and subsidence*. Karst and cavernous rocks in engineering and construction, pp. 382, Springer Praxis.