

I sinkholes nella Regione Sardegna (Italia): Miniere e Cavità Carsiche

Sinkholes in the Sardinia Region (Italy): Mines and karst Cavities

CORDA A.S. (*), MUREDDU A. (**), RENIS M. (***)

RIASSUNTO - Le voragini apertesesi nelle aree urbane e industriali della Sardegna, in periodi più o meno recenti, riconducibili alla presenza nel sottosuolo di vuoti minerari e di cavità carsiche, pongono seri problemi di protezione del territorio e incolumità, soprattutto nei centri abitati. Da decenni si assiste sia nelle aree del Sulcis - Iglesiente sia nella città di Cagliari all'improvvisa apertura di grandi voragini a seguito del crollo nel sottterraneo di cavità antropiche e naturali, con ripercussioni significative e riverberi sulla superficie, in particolare quando sono localizzate a poche decine di metri di profondità da edifici, da infrastrutture stradali e ferroviarie, da aree industriali. Si citano gli imponenti sprofondamenti ascrivibili agli "*Anthropogenic Sinkholes*" nella città di Cagliari, nella città mineraria di Carbonia, compresi gli abitati di Bacu Abis e di Cortoghiana, nelle aree minerarie metallifere dell'Iglesiente - Guspinese (Acqueresi, Nebida, Monteponi, Montevecchio). Negli ultimi '20 anni il deterioramento della staticità dei vuoti minerari, agevolata soprattutto dalla chiusura delle miniere, ha determinato un incremento esponenziale dei crolli minerari e dei dissesti correlati in superficie. Sono state censite, finora, N. 60 voragini, distribuite all'interno di altrettante aree a rischio sinkhole per un'estensione complessiva di oltre 10 kmq. In tali aree proprio a testimonianza della precedente attività estrattiva nell'isola e dei rischi incombenti, permane nel sottosuolo una fitta rete di gallerie sovrapposte con sviluppi lineari di diverse migliaia di km, in parte sepolta dalle acque sotterranee, comprese le ampie camere di coltivazione non sempre stabilizzate dalle ripiene minerarie. Nelle stesse aree, ma per dinamiche differenti, sono stati rilevati altri N. 50 sinkholes, associati a eventi naturali per carsismo. Essi sono distribuiti nelle piane alluvionali interne e costiere del Sulcis - Iglesiente, spesso in contesti geologici caratterizzati da prevalenti coperture detritiche alluvionali quaternarie con

sottostanti rocce calcaree carsificate del cambriano. Si annoverano le voragini apertesesi nella piana alluvionale del rio Cixerri (in numero di 26), lungo il tracciato ferroviario al km 33+330 della linea Villamassargia - Iglesias, a circa 30 metri dall'asse del binario (già noti negli anni '50), in località Caput Acquas e nella stretta valle calcarea del riu Corongiu, tra l'abitato di Iglesias e di Villamassargia. Altre voragini si rilevano nell'abitato di Carbonia (località Cannas N. 3 e Serbariu N. 2), nella piana di Narcao e in località Acquacadda presso Nuxis (N. 14), nella stretta valle calcarea di Gutturu Saidu (N. 5), al confine amministrativo tra l'abitato di S. Anna Arresi e Teulada.

Il presente contributo illustra i risultati delle attività di ricerca sui sinkholes nella Regione Sardegna, avviata nel 2010 dal Servizio Geologico Regionale dell'Arpas - Dipartimento Specialistico Geologico Regionale, in collaborazione con la Provincia di Carbonia Iglesias, il Comune di Iglesias, il Servizio delle attività estrattive della Regione Sardegna, le Ferrovie dello Stato (Rete Ferroviaria Italiana S.p.A.). È stato elaborato un primo censimento dei dissesti in atto, comprendente gli approfondimenti di carattere bibliografico, storico minerario, integrati a loro volta da sopralluoghi e da rilievi geologici di dettaglio. Le attività sviluppate hanno consentito, in questa fase, di pervenire a un preliminare quadro conoscitivo che traccia le aree del territorio regionale a maggior rischio sinkholes, utile, come strumento di pianificazione territoriale per la programmazione degli interventi di messa in sicurezza, di monitoraggio e controllo ambientale e per l'inserimento di tali aree fra quelle soggette a disciplina P.A.I. (Piano di Assetto Idrogeologico).

PAROLE CHIAVE: Sinkholes, Sardegna, Miniere, Sulcis Iglesiente, Cagliari.

(*) Geologo - ARPAS - Dipartimento Specialistico Geologico Regionale, via Dolcetta 5, 09122 I - Cagliari (CA)

(**) Geologo - Provincia Carbonia Iglesias - Area dei Servizi Tecnologici - Servizio viabilità, via Mazzini 39, 09013 I - Carbonia (CI)

(***) Geometra - Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. Direzione Territoriale Produzione, via Roma 22, 09123 I - Cagliari (CA)

ABSTRACT - The opening of sinkholes in urban and industrial areas of Sardinia, in relatively recent times, triggered by the presence in the subsoil of empty mines and karst cavities, pose serious threats to the protection and safety of the territory, especially in urban centres.

For decades we have witnessed, both in the areas of Sulcis - Iglesiente and in the city of Cagliari, the sudden opening of large sinkholes following the collapse of underground natural and anthropogenic cavities, with major repercussions and reverberations on the surface, in particular when located at a few tens of meters depth from buildings, roads and rail infrastructures, and from industrial areas. We should mention the large soil collapses, attributable to anthropogenic sinkholes in the city of Cagliari, in the mining town of Carbonia, the villages of Bacu Abis and Cortoghiana, as well as in the metalliferous mining areas of Iglesiente-Guspinese (Acqueresi, Nebida, Monteponi, Montevecchio). Over the past 20 years the deterioration of the stability of the mining voids, facilitated mainly by the closure of mines, has resulted in an exponential increase of mining collapses and related surface disturbances. have been recorded, so far, 60 sinkholes distributed in as many sinkhole risk areas, for a total extension of over 10 sq km. In these areas, to testify the past mining activities on the island and the impending risks, it is still present in the subsoil a dense network of superimposed tunnels which developed in a straight line of several thousands of km, partly buried by groundwater, including spacious mining rooms not always stabilized by mines fills.

In the same areas, but triggered by other factors, other 50 sinkholes were detected, associated with natural karst phenomena. They are distributed in the inland and coastal flood plains of Sulcis - Iglesiente and are often located in geological settings characterized by prevailing quaternary alluvial deposits with underlying Cambrian karst calcareous rocks. These include the sinkholes opened in the alluvial plain of the rio Cixerri (for a total of 26), along the rail track at km 33+330 of the Villamassargia-Iglesias line, at about 30 meters from the center line of the track (they were already known in the years '50), in the locality of Caput Aquas and in the narrow limestone valley of riu Corongiu, between the town of Iglesias and Villamassargia. Other sinkholes are located in the town of Carbonia (locality of Cannas N. 3 and Serbariu N. 2), in the plain of Narcao and in the locality of Acquacadda in the vicinity of Nuxis (N. 14), in the narrow limestone valley of Gutturu Saidu (N. 5), at the administrative boundary between the village of S. Anna Arresi and Teulada.

This paper presents the results of the research into the sinkholes in the Sardinia Region, which was started in 2010 by the Regional Geological Service of Arpas - Regional Geology Department in collaboration with the Province of Carbonia Iglesias, the Municipality of Iglesias, the mining Service of the Sardinia Region, and the Italian State Railways (Rete Ferroviaria Italiana S.p.A.).

An initial census of the active disruptions has been drawn up, including in depth bibliographic and historical mining studies, integrated, in their turn, with inspections and

detailed geological surveys. At this stage the activities carried out have allowed to reach a preliminary region profile, which outlines the areas of the region at increased sinkholes risk, useful as a method of spatial planning and for safety interventions, monitoring and control of the environment as well as for the inclusion of these areas among those under P.A.I. regulation (Hydrological plan).

KEY WORDS: Sinkholes, Sardinia, Miniere, Sulcis Iglesiente, Cagliari.

1. - INTRODUZIONE

In Sardegna, da decenni, si assiste al repentino manifestarsi dell'apertura di grandi voragini a cielo aperto, nelle aree di antica tradizione mineraria del Sulcis - Iglesiente, nei centri urbani di Iglesias, di Carbonia, nelle piane alluvionali e nella città di Cagliari, a causa del crollo di volte o solette che individuano cavità di origini antropiche o naturali, con notevoli ripercussioni e significativi riverberi in superficie (fig. 1).

Nelle aree colpite, sono visibili i segni del dissesto in atto, tanto da costituire un serio pericolo per le comunità locali e per le infrastrutture, soprattutto quando i vuoti sotterranei sono localizzati a poche decine di metri di profondità ed in prossimità di edifici, strade, ferrovie ed aree industriali. Gli effetti di tali fenomeni, spesso direttamente correlati a movimenti di massa in prossimità della superficie topografica, rivelano imponenti aperture a giorno del soprassuolo, difficilmente sanabili, con l'individuazione di morfologie topografiche concave più o meno estese e con l'apertura di profondi baratri talora a forma conica o cilindrica (fig. 2). Spesso queste manifestazioni sono accompagnate da alterazioni significative sull'idrologia superficiale e sull'idraulica sotterranea con potenziale diffusione incontrollata dell'inquinamento nelle falde e nei suoli (DI GREGORIO, *et alii*, 1988).

Molte località interessate dai dissesti sono state rilevate in corrispondenza di aree minerarie dismesse del Sulcis Iglesiente e nell'area urbana di Cagliari, per buona parte contraddistinte da continui assestamenti conseguenti ai vuoti lasciati dalle coltivazioni minerarie, con cedimento differenziale del basamento del soprassuolo. In tali aree, proprio a testimonianza dell'antica attività estrattiva nell'isola,

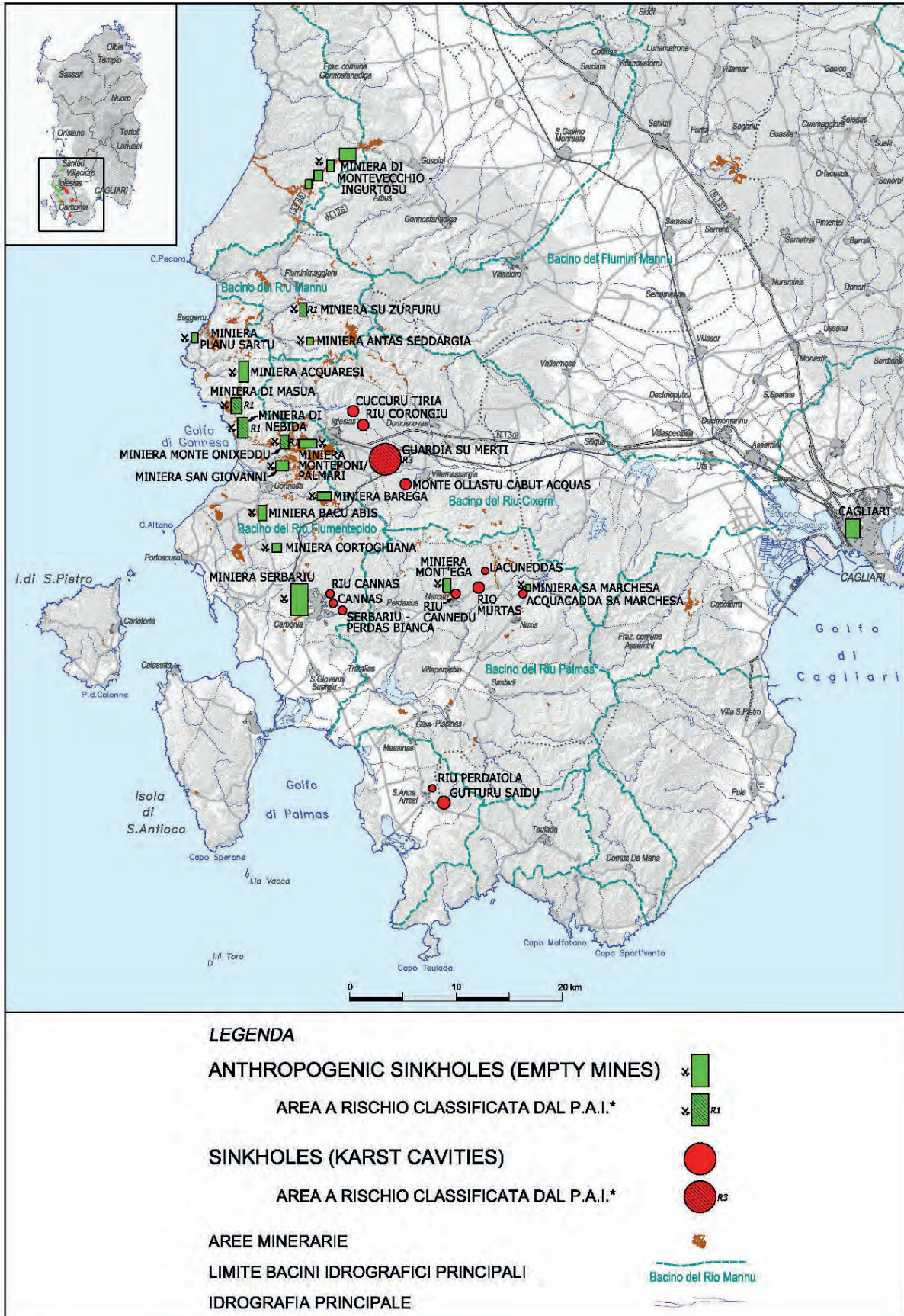


Fig. 1 – Quadro di sintesi regionale. Ubicazione dei fenomeni di sprofondamento (2011).
 – Framework of regional synthesis. Location of sinkholes phenomena (2011).



Fig. 2 – *Anthropogenic Sinkhole*. Profonda voragine mineraria alla sommità del rilievo calcareo di M. S. Giuseppe (Nebida, Comune di Iglesias.)
– *Anthropogenic Sinkhole*. Deep pit mining at the top of the calcareous relief M. S. Giuseppe (Nebida, Municipality of Iglesias).

sviluppatasi fin dalla notte dei tempi per la ricchezza dei suoi giacimenti, permane una fitta rete di “pericolose” gallerie, talora sovrapposte tra loro, con sviluppi lineari di diverse decine di migliaia di km; da rilevare che i vuoti estrattivi, non sempre stabilizzati con efficacia dalle ripiene minerarie, sono per buona parte invase dalle acque di falda.

Nello stesso territorio, ma per dinamiche differenti, sono diffusi dissesti da sinkholes associati a eventi naturali per carsismo, spesso innescati da alterazioni antropiche dell’ambiente naturale connesse anche con l’attività mineraria (CAREDDA *et alii*, 2009). Sono localizzati nelle piane alluvionali interne e costiere del Sulcis - Iglesiente, in contesti geologico strutturali caratterizzati da faglie legate alla tettonica disgiuntiva terziaria, mascherati da coperture detritiche alluvionali quaternarie e/o terziarie poggiate su rocce calcaree carsificate del cambriano. Al riguardo si menzionano le voragini apertesesi nella piana tettonica del Riu Cixerri, nell’abitato di Carbonia in località Cannas e Serbariu-

Perdas Bianca. Proseguendo verso Sud, nel Sulcis, rispettivamente nella piana di Narcao - Nuxis (fig. 3) nella stretta valle calcarea del riu di Perdaiola (fig. 4) e di Gutturu Saidu, al confine amministrativo tra l’abitato S. Anna Arresi e Teulada.

L’obiettivo dello studio è rappresentato dalla necessità di costruire un adeguato quadro conoscitivo ambientale sui fenomeni di dissesto da sinkholes incombenti in Sardegna, con particolare attenzione per le aree più vulnerabili quali: vie di comunicazione, centri urbani, periferie e zone di espansione urbanistiche, al fine di comprendere la genesi, l’evoluzione dei fenomeni e le possibili modalità d’intervento. A tal fine, risulta fondamentale recuperare la “memoria storica” degli eventi, cercando di arrivare ad una ricostruzione quanto più esaustiva della successione delle modificazioni verificatesi sia in superficie che nel sottosuolo, riuscendo così a formare ed affinare nel tempo, per ogni manifestazione, il relativo modello geologico. Scopo finale è quello di creare uno strumento di pianificazione territoriale per la programmazione degli interventi di messa a in sicurezza, di monitoraggio, controllo ambientale e per il miglioramento della stabilità geologica e strutturale dei terreni. È stato elaborato un primo censimento dei dissesti in atto, attraverso l’utilizzo di notizie di carattere bibliografico, storico minerario, integrate a loro volta da sopralluo-



Fig. 3 – Sinkhole apertesesi nel 2009 nelle colline Paleozoiche di Narcao, lungo un versante acclive in corrispondenza di una discontinuità tettonica localizzata al contatto calcari e scisti del Paleozoico. Ha una forma sub ellittica estesa circa 1000 mq, profonda 15 metri.

– Sinkhole that opened in 2009 in the Paleozoic hills of Narcao, along a steep slope near a tectonic discontinuity located at the contact of Paleozoic limestones and shales. With a sub elliptical shape extended for about 1000 square meters, 15 meters deep.



Fig. 4 – Sinkhole formatosi nel 2009 nella stretta piana calcarea del riu di Perdaiola, nel comune di S. Anna Arresi.
– Sinkhole formed in 2009 in the narrow limestone plain of torrent Perdaiola, in the municipality of Sant'Anna Arresi.

ghi e da rilievi geologici di dettaglio.

Le attività sviluppate hanno consentito, in questa fase, di pervenire ad un primo quadro conoscitivo che traccia le aree del territorio regionale a maggior rischio sinkholes, utile per l'inserimento di tali aree fra quelle soggette a disciplina P.A.I. (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico di cui alla Legge 18 maggio 1989, N. 183, art. 17, comma 6, ter D.L. 180/98 e successive modifiche ed integrazioni). Nell'isola sono stati censiti finora N. 110 sinkholes di cui N. 60 classificati come di origine antropica e N. 50 associati ad eventi naturali legati al carsismo. Le aree dissestate, localizzate in contesti territoriali a rischio per le infrastrutture e per le comunità locali, interessano complessivamente una superficie di oltre 15 kmq. Circa il 64% di tali aree non sono state pianificate dalle norme di attuazione del Piano di Assetto Idrogeologico, e conseguentemente escluse dalle norme di attuazione degli strumenti urbanistici locali.

2. - MINIERE – “ANTHROPOGENIC SINKHOLES”

Nelle aree minerarie della Sardegna, ricche di storia e di lavori minerari, permangono nel sottosuolo immensi vuoti di coltivazione, gallerie, forneli, discenderie, oggi quasi del tutto invasi dalle acque sotterranee. Di questa attività antica si possono ritrovare ancora testimonianze interessanti, anche se in gran parte offuscate dal tempo. Già dal primo millennio a.C., fu fiorente lo sviluppo dell'attività estrattiva in epoca punica, romana e medievale, concentrata prevalentemente nell'area dell'Iglesiente, per la produzione di piombo e argento, ma probabilmente anche di rame e stagno. Da allora intere colline furono svuotate dai lavori minerari che lasciarono sul posto cunicoli, pozzi e vuoti di varia natura. A tali epoche risalgono anche gran parte dei vuoti sotterranei, oggi instabili, insistenti nella città di Cagliari, nel colle calcareo di Tuvixeddu e Tuvumannu, realizzati per ottenerne materiale da costruzione (blocchi di calcare e arenaria), luoghi di culto funerario, camere mortuarie e cisterne idriche.

Complessivamente nel sottosuolo sono stimati

oltre 70 milioni di mc di vuoti minerari, gran parte dei quali localizzati nella vasta regione del Sulcis - Iglesiente (Sardegna sud occidentale). In particolare sono incombenti nelle città minerarie di Iglesias e Carbonia, nelle miniere del Fluminese (Su Zurfuru, Candiazzus), dell'Oridda (Arenas, Malacalza, Baueddu, San Benedetto), nei borghi minerari di Montevecchio e di Ingurtosu (Guspini, Arbus), dove peraltro si ritrovano importanti strutture di archeologia mineraria, aree urbane e agricole (CORDA & DESSI, 1999; CORDA, 1995; BENEDETTI *et alii*, 1994). Nel solo territorio della città mineraria d'Iglesias, incombono oltre 15 Milioni di mc di vuoti minerari localizzati nel sottosuolo al di sotto dei quartieri urbani di Campo Romano, Monteponi e Palmari, nelle frazioni minerarie di Bindua e Norman, e lungo la costa nei centri minerari di Nebida, Mausea ed Acquaresi. Purtroppo molti cantieri sotterranei sono da considerarsi definitivamente inaccessibili in quanto franati, insicuri, poco ventilati o allagati, anche a seguito dell'interruzione dell'eduzione delle acque, finalizzato all'abbattimento dei livelli della falda, per lo sfruttamento delle parti profonde delle miniere dell'Iglesiente (CIVITA & COCOZZA, 1983). Risultano invece essere ancora parzialmente accessibili, alcuni vuoti minerari denominati “Grotta Pisani” e “Massa Punta La Torre” (facenti parte della concessione di San Giovanni miniera), i vuoti “Massa Scalittas” della Miniera di Acquaresi, i vuoti della miniera di Barega (“Cantiere Oscar”, “Cantiere Litopone” e “Cantiere Rinaldo”), e i vuoti minerari di Mont'Ega del “Cantiere Fausta” e il “Cantiere Onnis”. Negli ultimi vent'anni, in tali territori profondamente modificati dall'industria mineraria, il repentino peggioramento delle capacità statiche dei vuoti minerari, agevolato dalla risalita della falda acquifera, dalla dismissione delle attività minerarie, ha determinato un incremento esponenziale dei crolli e dei dissesti ad essi collegati e riverberati in superficie, spesso comunicanti con il sottosuolo con salti di quota maggiori di 30 metri dal piano di campagna. Un dissesto dinamico che evolve bruscamente, in luoghi talvolta inaspettati, con gravi ripercussioni al territorio, alle attività produttive, ai beni culturali insistenti (BENEDETTI & CORDA, 2000). Veri e propri baratri ascrivibili agli

“*Anthropogenic Sinkholes*” diffusi nel Sulcis Iglesiente, Guspinese, con notevoli ripercussioni sulla stabilità geologico - strutturale per i terreni circostanti, lungo i crinali delle colline, con la comparsa di estese e profonde fratture (alcune decine di metri) nelle rocce in posto (fig. 5), così come riscontrabile nell’area mineraria di Acquaresi (Comune di Iglesias).

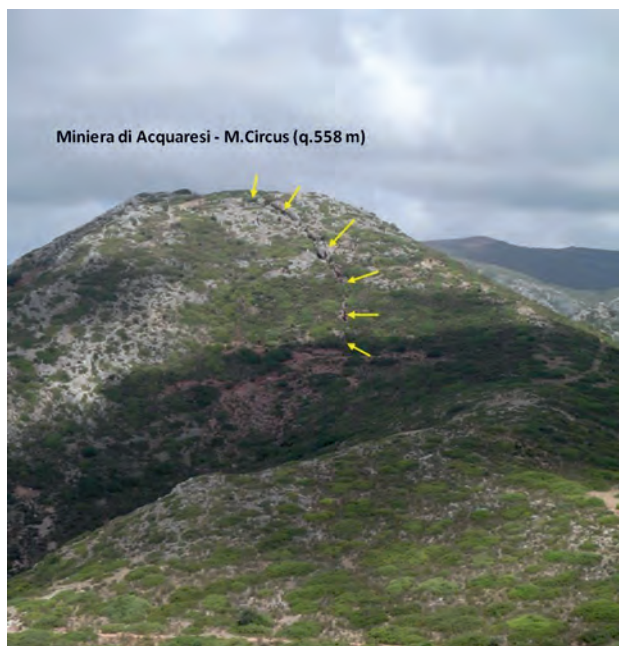


Fig. 5 – Miniera di Acquaresi. Estesa frattura apparsa negli anni '70 nella collina calcarea di M. Circus (q. 558 m s.l.m.).
– Mine Acquaresi. Extended fracture appeared in the 70s in the limestone hill of M. Circus (558 m above sea level).

Si rilevano analoghi fenomeni nella città di Cagliari, nell’area urbana di Iglesias, nelle aree minerarie metallifere dell’Iglesiente e Guspinese (Monteponi, Masua, Nebida, Acquaresi, Montevecchio, etc.), nella città di Carbonia, nelle concessioni carbonifere “lignite del Sulcis” di Serbariu, Cortoghiana e Bacu Abis, per citare solo alcune delle più importanti località interessate dai pericoli sopra descritti (FADDA A. *et alii*, 1994). Si fa notare che nell’ultimo decennio nelle miniere metallifere dell’Iglesiente i fenomeni di sprofondamento provocati dal crollo dei vuoti minerari, inizialmente diffusi nei giacimenti minerari meno stabili con sponde franose, coltivati con metodi di abbattimento discendente con frana controllata (*sub-level caving*) frequentemente sviluppati a San Giovanni e Monteponi si sono estesi

anche nei giacimenti ritenuti da sempre più stabili, impostati in rocce resistenti, coltivati con metodi a vuoti aperti (*sub-level stoping*), dei quali sussistono interessanti esempi presso la miniera di San Giovanni (masse del cantiere Blendosi) a Nebida per la coltivazione delle masse calaminari (Alice), ad Acquaresi (cantiere Marx), Barega (filone Gianni) e Mont’Ega.

Nel territorio sono stati finora censiti N. 60 sinkholes, alcuni di recente formazione altri già conosciuti in passato, localizzati in contesti territoriali visibilmente a rischio con un impatto ambientale sulla risorsa suolo e/o territorio che interessa un’area di oltre 10 kmq (fig. 6, 7).

Nella tabella 1 si riporta l’elenco sintetico delle località finora rilevate e maggiormente colpite, per le quali sono stati ritenuti, a priori, urgenti interventi di consolidamento geologico strutturale e geotecnico, con la stima delle superfici di soprasuolo dissestaste. Molte di queste aree non sono state pianificate dalle norme di attuazione del P.A.I. (85% sul totale delle aree rischio) e conseguentemente escluse dalle norme di attuazione dei piani urbanistici locali.



Fig. 6 – Miniera di Montevecchio. Cantiere Casargiu. Nel 2010, nelle vicinanze del pozzo minerario “Fais”, si aprì, lungo la Strada Provinciale n. 66, una grossa voragine di forma sub ellittica profonda circa 10 metri, innescata dal crollo della volta di sottostanti vuoti minerari (circa 15 metri dal p.c. - galleria Fais). Altre profonde voragini (N. 2), anch’esse conseguenti del crollo dei vuoti di coltivazione sottostanti, si sono rilevate lungo il versante sotto la strada dissestata.

– Mine Montevecchio – Casargiu yard. 2010, in the proximity of the mine shaft “Fais”, along the Provincial Road n. 66, a large chasm of sub elliptical shape was opened, with a depth of about 10 meters, triggered by the collapse of the underlying mining voids roof (about 15 meters from ground level of Fais gallery). Other deep chasms (N. 2), also resulting of the collapse of voids growing below, were observed along the slope below the bumpy road.



Fig. 7 – Profonde voragini a cielo aperto nelle miniere dismesse di Monte Agruxiaiu (a sinistra) e di Monteponi (Comune di Iglesias).
 – Deep open chasms in the abandoned mines of Monte Agruxiaiu (left) and Monteponi (Municipality of Iglesias).

I casi seguenti rappresentano situazioni di forte criticità e per i quali occorre una maggiore attenzione ai fini della protezione delle infrastrutture viarie, delle abitazioni, dei beni culturali e delle comunità locali.

3. - MINIERE METALLIFERE DI MASUA E NEBIDA

Sorte lungo la costa dell'Iglesiente, in posizione panoramica sulla falesia calcarea nel tratto compreso tra la spiaggia di Funtanamare e l'isolotto calcareo di Pan di Zucchero, l'attività mineraria si sviluppò in sotterraneo per raggiungere le ricche mineralizzazioni piombo zincifere incassate sia nelle dolomie che nei calcari paleozoici.

Nell'area mineraria di Masua furono coltivate diverse masse filoniane delle quali quella più importante fu il filone Podestà lungo circa 2 km e potente 40 m, mentre a ridosso della piccola frazione di Nebida furono coltivati giacimenti minerari rinvenuti nei canali del Monte S. Giovanni e di Cuccuru Aspu, dove sorse tra l'altro una prima laveria meccanica. Nel 1897 fu realizzata la grande laveria Lamarmora servita dalla galleria di ribasso "Cuccuru Aspu" e nel frattempo, a bocca di miniera, nacque il villaggio dei minatori di Nebida ca-

pace di ospitare verso la fine del secolo circa 2000 persone. All'inizi del secolo scorso i lavori minerari arrivavano già fino a 40 metri sotto il livello del mare. Negli anni '20 nella stessa miniera fu razionalizzato l'imbarco del *tout-venant* estratto con la realizzazione in sotterraneo di una ferrovia elettrica che collegava gli impianti di Masua con l'imbocco della galleria Porto Flavia, a picco sul mare.

A distanza di oltre vent'anni dalla chiusura dei cantieri minerari, il paesaggio si presenta, come allora, caoticamente invaso da imponenti discariche minerarie e rifiuti di varia natura, da ampi bacini di decantazione contenenti i rifiuti di trattamento dei minerali ("fanghi di flottazione") ma soprattutto da inquietanti voragini a cielo aperto, estese e profonde fratture nel terreno visibile alla sommità dei rilievi calcari, quale risultato degli effetti superficiali provocati dal crollo dei vuoti minerari sottostanti (fig. 8, 9). Nell'area mineraria sono stati censiti N. 7 sinkholes localizzati a monte del paese di Nebida, lungo la direttrice NW-SE, nei bastioni calcarei che si irradiano sul mare dal Monte S. Giuseppe (q. 383 m) fino al rilievo di P.ta Speranza (q. 424 m). In superficie gli effetti degli sprofondamenti, estesi anche ai terreni circostanti, coinvolgono una vasta area stimata in 100 ettari.

Tab. 1 – *Anthropogenic sinkholes. Località colpite con la stima delle superfici a rischio (Aprile 2011).*
 – Anthropogenic sinkholes. Location subject of study and estimate of the risk areas (April 2011).

LOCALITÀ		Comune	Sinkholes (n.)	Quota s.l.m. (m)	Aree a Rischio (kmq)	Piano di assetto Idrogeologico P.A.I.*
IGLESIENTE GUSPINESE	MINIERA DI MONTEVECCHIO/INGURTOSU (Pb, Zn, Ag)	Guspini-Arbus (VC)	10	170	0,8	Area non classificata
	MINIERA DI SU ZURFURU (Pb, Zn)	Fluminimaggiore (CI)	1	290	0,07	R2
	MINIERA DI ANTAS-SEDDARGIA (Fe)	Fluminimaggiore (CI)	2	400	0,15	Area non classificata
	MINIERA DI PLANU SARTU (Pb, Zn)	Buggerru (CI)	1	120	0,3	Area non classificata
	MINIERA DI ACQUARESI/MINIERA SCALITTAS (Pb, Zn, Ag)	Iglesias (CI)	6	350	1,6	Area non classificata
	MINIERA DI MASUA (Pb, Zn, Ag)	Iglesias (CI)	1	190	0,2	R1
	MINIERA DI NEBIDA (Pb, Zn)	Iglesias (CI)	6	320	0,8	R1
	MINIERA DI MONTE AGRUXIAU-MONTE SCORRA (Pb, Zn)	Iglesias (CI)	3	220	0,55	R1
	MINIERA DI MONTEPONI (Pb, Zn, Ag)	Iglesias (CI)	2	285	0,35	Area non classificata
	MINIERA DI S. GIOVANNI-MONTE ONI-XEDDU (Pb, Zn, Ag)	Iglesias-Gonnesa (CI)	3	380	0,75	Area non classificata
	MINIERA DI BAREGA (Ba, Pb, Zn)	Iglesias (CI)	5	190	0,8	Area non classificata
	SULCIS	MINIERA DI MONTEGA (Pb, Zn, Ba)	Narcao (CI)	4	240	0,15
MINIERA DI SA MARCHESA (Pb, Zn)		Nuxis (CI)	1	210	0,05	Area non classificata
MINIERA DI SERBARIU-NURAXEDDU-CENTRO ABITATO DI CARBONIA (Lignite)		Carbonia (CI)	6	85	2,75	Area non classificata
MINIERA DI BACU ABIS (Lignite)-FRAZIONE DI CARBONIA		Carbonia (CI)	3	127	0,21	Area non classificata
MINIERA DI CORTOGHIANA (Lignite)		Carbonia (CI)	1	69	0,02	Area non classificata
CAGLIARI	CENTRO ABITATO DI CAGLIARI-COLLINA CALCAREA DI TUVUMANNU-TUVIXEDDU	Cagliari (CA)	5	76	0,5	Area non classificata
TOTALE ANTHROPOGENIC SINKHOLES (Aggiornamento Aprile 2011)			60		10,5 kmq (Aree a rischio)	85% (Aree a rischio non classificate dal P.A.I.)
* P.A.I. -Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico - Classificazione del Rischio (R1, R2, R3, R4) Legge 18 maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6, ter D.L. 180/98 e successive modifiche ed integrazioni; Decreto del Presidente della Regione Sardegna n. 35 del 21 marzo 2008						

4. - MINIERA METALLIFERA DI ACQUARESI

La miniera sorge nella stretta conca valliva di Acquaresi, a breve distanza dalla miniera di Masua strutturalmente orientata nella direzione N-S. Nel fondo valle si rilevano gli scisti del cambriano ("Formazione di Cabitza") in contatto tettonico sub verticale con le litologie calcareo-dolomitiche della "Formazione di Gonnesa", sede quest'ultima delle mineralizzazioni piombo zincifere e di un importante acquifero.

Nell'area mineraria dagli anni '70 ad oggi, a se-

guito del crollo nel sottterraneo dei cantieri minerari, si sono aperti, in prossimità della strada provinciale n. 83 Nebida - Buggerru (fig. 10), complessivamente N. 6 sinkholes di cui quattro perfettamente allineati a ridosso dei versanti W di M.te S. Giorgio, coincidente con la direzione N-S del giacimento minerario. Gli effetti degli sprofondamenti, visibili anche nei terreni circostanti, interessano una vasta area stimata in 1,9 kmq (190 ettari).

Le prime notizie storiche della miniera risalgono al 1870 anno in cui si ottenne la dichiarazione di scoperta del giacimento piombo - zincifero. La



Fig. 8 – I sinkholes e le fratture localizzate a monte del borgo minerario di Nebida (comune di Iglesias - Sardegna sud occidentale).
 – The sinkholes and fractures located upstream of the mining village of Nebida (Municipality of Iglesias – South - Western Sardinia).

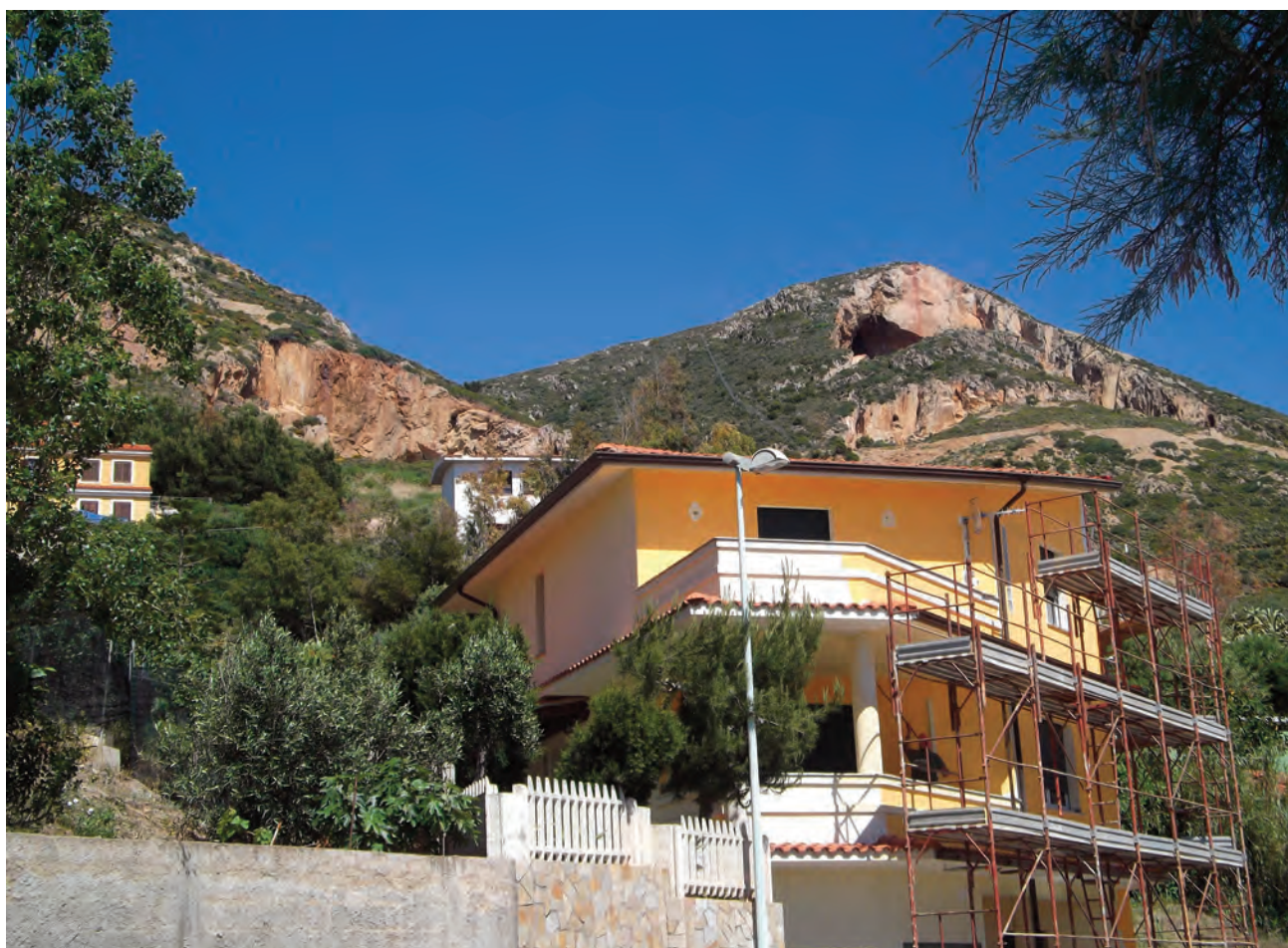


Fig. 9 – Nebida (Comune di Iglesias). In alto i sinkholes incombenenti sull'abitato apertesi sui vuoti minerari sottostanti.
 – Nebida (Municipality of Iglesias). At the top, the sinkholes overhanging the settlement occurred on the underlying empty mining.



Fig. 10 – Miniera di Acquaresi (Comune di Iglesias). Imponenti voragini a cielo aperto apertesi nei sottostanti vuoti minerari nelle vicinanze della S.P.n.83, lungo il contatto tettonico N-S tra calcari e scisti del cambriano.

– Mine Acquaresi (Municipality of Iglesias). massive opencast mining sinkholes in the underlying mining voids in the proximity of the main road n. 83 along the tectonic contact between NS limestones and shales of the Cambrian.

concessione fu intestata nel 1874 alla società inglese Gonnese Mining L.t.d. Agli inizi del secolo la miniera contava circa 500 operai e produceva 1000 tonnellate di *tout-venant* l'anno. In quegli anni sorse il villaggio dei minatori, l'impianto di trattamento, e iniziò lo sfruttamento industriale delle mineralizzazioni ricche di piombo e zinco, con interessanti quantitativi di argento. Il giacimento metallifero, disseminato entro i calcari cambriaci ad andamento sub verticale, risultava allungata in direzione Nord Sud, limitata verso Ovest dal contatto tettonico con le formazioni scistose. Nel sotterraneo è stato mantenuto un setto di roccia franca di almeno 10 metri di rispetto dal contatto con gli scisti. L'attività estrattiva fu impostata principalmente sul giacimento Marx (fig. 11) tramite gallerie disposte a più livelli e fu spinta, con l'abbassamento della falda sotterranea, oltre 400 metri di profondità dal piano

di campagna (da 318 a -90 m) generando vuoti minerari per oltre 4,5 milioni di metri cubi (compresi i lavori minerari nel cantiere Scalittas).

L'estrazione procedeva, per la compattezza del giacimento e degli ammassi rocciosi incassanti, con la coltivazione per vuoti senza sostegno (*sub-level stopping*), la cui stabilità però nel lungo periodo non ha avuto certamente riscontro. Man mano che si procedeva con l'estrazione venivano lasciati sul posto, in precarie condizioni di stabilità, spesso in frana, ampi vuoti minerari separati da solette di spessore di 20 metri, collocati al contatto sub verticale tra i calcari e gli scisti. Le stesse coltivazioni avevano già raggiunto verso l'alto quote prossime alla superficie, con copertura comprese tra i 40 e gli 80 metri. Nella collina calcarea di M.te Circus (558 m s.l.m.) alla fine degli anni '70, a seguito del susseguirsi nel sottosuolo di crolli minerari, si ma-

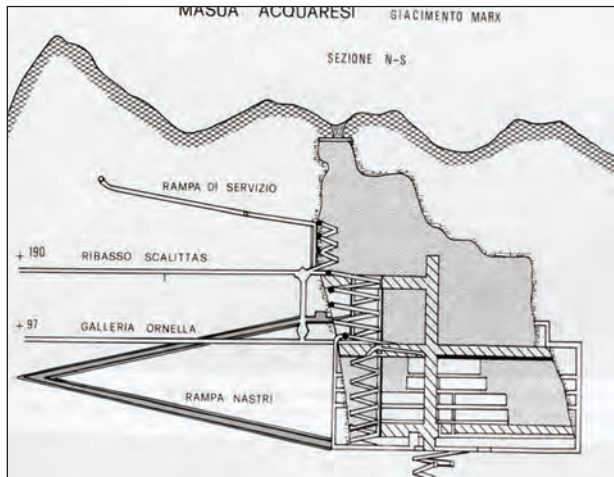


Fig. 11 – Sezione Schematica N-S dei vuoti minerari nella miniera di Acquaresi.
– Schematic NS section of the voids in the mine Acquaresi.

nifestarono i primi segnali di instabilità della miniera, i cui effetti si fecero sentire con la comparsa in superficie di una estesa e profonda frattura e di una grossa voragine mineraria.

Con la chiusura della miniera e l'allagamento dei cantieri minerari provocata dalla risalita della falda sotterranea fino alla quota + 90 metri s.l.m., si intensificarono i crolli minerari e il conseguenti processi di collasso a giorno delle coperture rocciose superficiali nei sottostanti vuoti di coltivazione.

Nel mese di Agosto del 1991 si aprì a cielo aperto, nell'area di contatto tra i calcari e scistosi, una grossa voragine di forma ellittica di circa 60.000 m³, coincidente nel sottosuolo con il vuoto di coltivazione posto a circa 100 m al di sotto del piano di campagna (cantiere Marx Nord). Nell'area del crollo, ancora oggi visibile, si intersecano anche alcune strutture con direzione EW e NS che hanno contribuito alla dinamica del collasso che appare del tipo “*plug subsidence*”, con formazione di un camino e scivolamento di un corpo solido rigido (CICCU & MANCA, 1992). In pochi mesi dall'evento il fenomeno franoso si stabilizzò per collasso ulteriore degli scisti conseguente riempimento del vuoto minerario sotterraneo.

Nel mese di Febbraio 1998 si aprì un'altra profonda voragine anch'essa di forma ellittica, in prossimità della strada provinciale sottostante, provocata dal distacco nel sottosuolo di una consistente porzione di rocce scistose al contatto con le masse calcaree mineralizzate, fino a colmare le più

profonde camere di coltivazione localizzate a -90 m.s.l. (Cantiere Marx-sud). L'evento franoso fu valutato in 230.000 mc di materiale.

In data 27 luglio 2003, a soli 10 metri dalla strada provinciale n.83 Nebida–Buggerru, occorre un ulteriore crollo minerario e la fuoriuscita di una cospicua quantità di acqua e fango nella spiaggia di Masua distante oltre 3 km dalla valle. Tale evento imputabile alla risalita della falda fu agevolato dalla riattivazione nel sottosuolo di una vecchia frana al contatto calcari scisti. Il vuoto creatosi nel sottosuolo ha prodotto il collassamento delle porzioni rocciose sovrastanti fino al soprasuolo con l'apertura di una grossa voragine imbutiforme di ampiezza di circa 8000 mq, profonda 20 metri ed un volume di circa 46.000 mc. In superficie il crollo interessò solo le litologie scistose in prossimità del contatto con i calcari. Nell'area circostante si sviluppò un fitto sistema di fratture esteso sulla strada provinciale per un lunghezza di oltre 250 metri.

Nel mese di Maggio 2005 ripresero i fenomeni di dissesto innescatesi nel 2003.

5. - MINIERA METALLIFERA DI S. GIOVANNI “CANTIERE CONTATTO OVEST”

Nell'anno 1987, nella miniera di S. Giovanni, in corrispondenza del Cantiere “Contatto Ovest”, localizzato sul versante N dell'omonimo monte, si aprì con apprensione un imponente cratere a cielo aperto e la comparsa di profonde fratture nella zona circostanza, prossime alla vicina rete viaria (S.S. 193) e alle abitazione del villaggio Norman. Il dissesto fu provocato dall'improvviso cedimento della roccia di tetto sino alla superficie a causa dei sottostati lavori estrattivi effettuati adottando metodi di abbattimento discendente con frana controllata (*sub-level caving*). Da allora furono avviati numerosi accertamenti che consentirono sulla base di misure topografiche e geofisiche di prevedere l'evoluzione dei collassi gravitativi nel sottosuolo (BALIA *et alii*, 1990). Con la dismissione della miniera altri importanti fenomeni di collasso gravitativo si sono ripetuti causando la formazione di nuove voragini. Nell'area mineraria sono stati finora rilevati N. 3 sinkholes perfettamente allineati

alle sottostanti coltivazione minerarie, i cui effetti si rilevano su un'estesa superficie stimata in 75 ettari.

La miniera di San Giovanni, sorta nella valle di S. Giorgio (fig. 12), è stata una delle miniere più importanti e antiche dell'isola, conosciuta all'epoca dei pisani con il nome Monte Barlao. Già in quell'epoca, numerosi lavori minerari furono realizzati sulle pendici occidentali della montagna i cui segni, ancora in parte visibili consistono in cunicoli, pozzi e brevi gallerie. In tempi più moderni l'attività produttiva si fece consistente soprattutto a partire dalla scoperta di un importante giacimento di calamina ricco in galena avvenuto nel 1904. Nello stesso anno si dette inizio alla costruzione di una grande laveria seguita dalla messa in opera di un grande sistema di pompe mosse da un potente motore a vapore. Nel dopo guerra ci fu l'avvento dei nuovi mezzi meccanici che portò la produzione dalle 20.000 tonnellate del 1950 alle 426.000 tonnellate degli anni '60. Si estraeva un corpo mineralizzato a solfuri di piombo e zinco assimilabile per

forma e dimensione a un filone sub verticale (circa 80°), posto tra i calcari cambri e gli scisti paleozoici, sviluppato con andamento NE-SW per più di 100 m e per una profondità di profondità di oltre 200 metri. I lavori minerari intercettarono una straordinaria cavità naturale denominata Santa Barbara (un'ampia sala sotterranea con possenti stalattiti e stalagmiti, lunga settanta metri e alta più di venticinque metri). Alla fine del secolo scorso la miniera fu dismessa. Dalle viscere della terra furono estratti oltre 5 milioni di metri cubi di *tout-venant* lasciando sul posto enormi vuoti di coltivazione, in parte colmati con le ripiene minerarie.

6. - CAVITÀ CARSIICHE - "NATURAL SINKHOLES"

Nelle aree del Sulcis - Iglesiente, come detto in precedenza, si rilevano altri numerosi fenomeni di sprofondamenti del soprassuolo associati però a



Fig. 12 – La Miniera di S. Giovanni (Comune di Iglesias). In alto il massiccio calcareo al cui interno sono state estratte le ricche mineralizzazioni piombo-zincifere (ARPAS 2011).

- The Mine of San. Giovanni (Municipality of Iglesias). At the top, the limestone massive from which the rich Pb-Zn mineralization extracted (ARPAS 2011).

eventi naturali correlati a fenomeni carsici (NISIO, 2008). Nel territorio sono stati rilevati N. 50 sinkholes localizzati in contesti territoriali ad alto rischio, con una superficie complessiva interessata di oltre 5 kmq.

I sinkholes sono distribuiti nelle piane alluvionali interne e costiere del Sulcis - Iglesiente, spesso in contesti geologici e geomorfologici pressoché omogenei, impostati in strutture (rocce calcaree carsificate del cambriano) dislocate da sistemi di faglie formatesi in seguito alla tettonica disgiuntiva terziaria, sopra cui giacciono le coperture di età terziaria e quaternaria. Si rilevano soprattutto nella piana tettonica del rio Cixerri, nel tratto compreso tra la città di Iglesias e di Villamassargia (catalogate in numero di 26), lungo il tracciato ferroviario al km 33+330 della linea Villamassargia-Iglesias, a circa 30 metri dall'asse del binario (già noti negli anni '50), in località Caput Acquis (N. 4) e nella stretta valle calcarea del riu Corongiu (N. 10). Altre voragini si rilevano nell'area urbana di Carbonia in località Cannas e Serbariu Perdas Bianca (catalogate in numero di 5 di cui due di recente formazione), proseguendo verso Sud, nel Sulcis, rispettivamente nella piana di Narcao e di Nuxis (catalogate in numero 14 di cui una di recente formazione), nella stretta valle calcarea del riu di Perdaiola e di Gutturu Saidu (catalogate in numero 5), localizzate al confine amministrativo tra l'abitato S. Anna Arresi e Teulada (fig. 13, 14).

Nella tabella 2, si riporta l'elenco delle località finora rilevate maggiormente colpite, con la stima delle superfici del soprassuolo dissestaste. Molte aree non sono state pianificate dalle norme di attuazione del P.A.I e conseguentemente escluse dalle norme di attuazione dei piani urbanistici locali.

7. - I SINKHOLES NELLA PIANA TETTONICA DEL RIU CIXERRI

Nella piana tettonica del Cixerri (Sardegna sud occidentale), nel territorio posto tra l'abitato di Iglesias e Villamassargia, si sono succeduti, a partire dagli anni '50 e intensificatesi negli anni '90, improvvisi fenomeni di crollo del soprassuolo con l'apertura di numerosi sinkholes (fig. 15). In tale



Fig. 13 – Sinkhole apertosi nel 2009 nella Valle di Gutturu Saidu (Comune di Teulada). Bedrock calcareo dolomitico carsificato del Cambriano inf. sormontato caoticamente da una coltre detritica alluvionale quaternaria ciottolosa in matrice argillosa (Arpas 2011).

– Sinkhole that opened in 2009 in the Valley of Gutturu Saidu (Municipality of Teulada). Karstified limestone bedrock, dolomite of the lower Cambrian chaotically topped by a blanket detrital Quaternary alluvial pebble in clayey matrix (ARPAS 2011).

aree nel 2010 sono stati rilevati, quale aggiornamento dei dati già esistenti, i sinkholes diffusi nei terreni calcarei di Monte Ollastu (catalogate in numero di 4), prossimo all'abitato di Villamassargia, nell'area industriale di Iglesias in località Guardia Su Merti e riu Trulli (catalogate in numero di 12) e nella valle calcarea del riu Corongiu (catalogate in numero di 10), in località Cuccuru Tiria (fig. 16). In quest'ultima località i sinkholes sono localizzati in prossimità di antichi forni minerari per la calcinazione dei minerali.

Le forme più frequenti riscontrate sono quella sub ellittica o irregolare con diametri che talvolta raggiungono anche alcune decine di metri. La profondità varia da alcuni metri fino a 20 m. La genesi dei sinkhole è riconducibile a dinamiche evolutive derivanti dal crollo nel sottosuolo di cavità carsiche (fori a sviluppo fusiforme, diaclasi evolute in crepacci, grotte, etc.), talora ad opera della neotettonica



Fig. 14 – I sinkholes nella stretta valle calcarea di Gutturu Saidu, al confine amministrativo tra S.Anna Arresi e Teulada (Arpas, 2011).
 – *The limestone sinkholes in the narrow valley of Gutturu Saidu, the administrative border between S.Anna Arresi and Teulada (ARPAS, 2011).*

che ha riacutizzato i sistemi di faglie terziarie, con conseguente collasso del piano di campagna. Altresì la genesi è riconducibile all'azione erosiva operata dalle acque sotterranee nei confronti delle porzioni clastiche poggianti sul *bedrock* calcareo, con progressive azioni di dilavamento o sifonamento, che una volta asportate, sono convogliate verso le aperture carsiche del substrato calcareo, determinano nel tempo, in corrispondenza di queste, progressivi svuotamenti verticali e il conseguente rapido crollo del soprassuolo.

Alcune di queste voragini presentano criticità elevate anche in ragione della prossimità di alcune importanti sorgenti di approvvigionamento idrico locale (sorgente di Monte Figù e Caput d'Acquas), altre ancora in ragione della prossimità ai luoghi d'interesse produttivo (Area Industriale di Iglesias Z.I.R.) e di importanti infrastrutture viarie (ferroviaria dello Stato della linea Villamassargia Iglesias). Data l'entità dei fenomeni verificatesi, con D.P.R. della R.A.S. N. 35 del 21/03/200, il territorio compreso tra l'area Industriale di Iglesias e la sorgente acquedottistica di Caput Acquas, prossima all'abitato di Villamassargia, è stato dichiarato a elevato rischio e pericolosità di frana e viene disciplinata all'art. 31 dalla normativa di attuazione del P.A.I. (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico). Rimangono escluse da tale disciplina,

i terreni dissestati lungo la stretta piana del riu Corongiu in località Cuccuru Tiria (N. 10 sinkholes), i terreni in località Captu Acquas (N. 4 sinkholes), i terreni dissestati posti lungo il tracciato ferroviario al km 33+330 della linea Villamassargia Iglesias (N. 3 sinkholes), compresi i terreni dell'azienda agricola Aru (1 sinkhole).

I sinkholes di notevole entità, con la formazione di voragini singole e/o coalescenti profonde alcune decine metri sono diffuse nel settore centrale della valle in corrispondenza dell'edificato industriale di Iglesias, in località Guardia su Merti (catalogate in numero di 12) (CAREDDA G. *et. alii*, 2004). In particolare si menziona il dissesto riattivatosi nel mese di Ottobre del 1998, a circa 30 metri dal binario del tracciato ferroviario Iglesias-Villamassargia, che causò l'apertura nel suolo di un'ampia voragine profonda e con diametro di circa 35 metri (fig. 17). La causa primaria dei fenomeni di sprofondamento fu imputata alla presenza di circuiti carsici ipogei nel substrato roccioso calcareo del cambriano, sepolto a breve distanza dalla superficie. Gli effetti di tale dissesto sono rappresentati nelle fotografie aeree del 1954 a testimonianza della remota instabilità dell'area di cui però negli anni si è persa la memoria storica, probabilmente perché più volte colmate da detriti e stabi-

Tab. 2 – I Sinkholes di origine naturale. Località colpite e stima della superficie dissestata (Aprile 2011).
 – The Sinkholes of natural origin. Affected locations and estimate of the rough area (April 2011).

LOCALITÀ		Comune	Sinkholes (n.)	Quota s.l.m. (m)	Aree a rischio (kmq)	Piano di assetto Idrogeologico P.A.I.*
PIANA ALLUVIONALE DEL RIU CIXERRI	Z.I.R. GUARDIA SU MERTI	Iglesias (CI)	10	132	4	R3
	AZIENDA AGRICOLA ARU	Iglesias (CI)	1	135	0,02	Area non classificata
	CUCCURU TIRIA-RIU CORONGIU	Iglesias (CI)	10	180	0,75	Area non classificata
	MONTE OLLASTU-CABUT ACQUAS	Iglesias (CI)	4	129	0,07	Area non classificata
	RIU TRULLI	Iglesias (CI)	1	121	0,01	R3
CARBONIA RIU CANNAS E SERBARIU	RIU CANNAS-ABITATO DI CARBONIA	Carbonia (CI)	2	116	0,05	Area non classificata
	CANNAS-SERRA BEGHE FORRU-ABITATO DI CARBONIA	Carbonia (CI)	1	140	0,05	Area non classificata
	FRAZIONE DI SERBARIU-PERDAS BIANCAS	Carbonia (CI)	2	120	0,05	Area non classificata
PIANA ALLUVIONALE DI NARCAO E NUXIS	RIU CANNEDU	Narcao (CI)	3	145	0,06	Area non classificata
	RIU SA CANNIGA-LACUNEDDAS	Narcao (CI)	1	325	0,05	Area non classificata
	RIU MURTAS-FRAZIONE DI NARCAO	Narcao (CI)	4	135	0,05	Area non classificata
	ACQUACADDA-SA MARCHESA	Nuxis (CI)	6	170	0,08	Area non classificata
PIANA ALLUVIONALE DEL RIU PERDAIOLA E DI GUTTURU SAIDU	VALLE DEL RIO DI PERDAIOLA	S. Anna Arresi (CI)	2	90	0,04	Area non classificata
	VALLE DI GUTTURU SAIDU	S. Anna Arresi (CI)	1	89	0,01	Area non classificata
		Teulada (CA)	2			Area non classificata
TOTALE (Aggiornamento Aprile 2011)			50	5,38 kmq (Aree a rischio Sinkholes)	25% (Aree a rischio non classificate dal P.A.I.)	

* P.A.I. - Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico - Classificazione del Rischio (R1, R2, R3, R4) Legge 18 maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6, ter D.L. 180/98 e successive modifiche ed integrazioni; Decreto del Presidente della Regione Sardegna n. 35 del 21 marzo 2008

lizzate dal lavoro agricolo.

Nella primavera del 2011 l'amministrazione locale effettua, per ragioni di sicurezza, ma con scarso successo, il riempimento dei sinkholes con l'apporto di detriti prevalentemente ghiaiosi.

Nel settore la morfologia dei terreni è caratterizzata dalla emergenza del basamento carbonatico, tiltato dalla tettonica terziaria nella direzione NE-SO, carsificato, talvolta mineralizzato nel quale si rilevano i litotipi calcarei paleozoici costituenti rilievi di Guardia Su Merti (q.145 m) e di Medau Pattollo (q.140 m), le coperture arenacee e argillose terziarie della Formazione del Cixerri, i detriti alluvionali Pleistocenici e Olocenici costituiti da ciottoli, sabbie argillose, blocchi e lastre rimaneggiate di arenarie siltose. In prossimità del tracciato ferroviario al km 33+330 della linea Villamassargia

Iglesias si rileva una collina calcarea, allungata nella direzione NE-SW, impregnata, con notevole sviluppo di cavità ipogee, di ammassi e filoncelli di barite coltivati di recente con scavi minerari superficiali. La mineralizzazione incassata nei calcari cambri, si estende in direzione NE con andamento sub verticale, oltre il tracciato ferroviario, fino a scomparire del tutto in corrispondenza dei sinkholes lungo la direzione EW. Poco più Nord dell'area industriale, a ridosso della SS. 130, si segnala la presenza di un orizzonte di argille terziarie, a pochi metri di profondità dal suolo, affiorante negli scavi di una vecchia cava di argilla perennemente colma d'acqua. Le argille, estese nel sottosuolo fino ad interessare l'area coinvolta dai sinkholes, trattengono una falda acquifera superficiale di discreta portata.

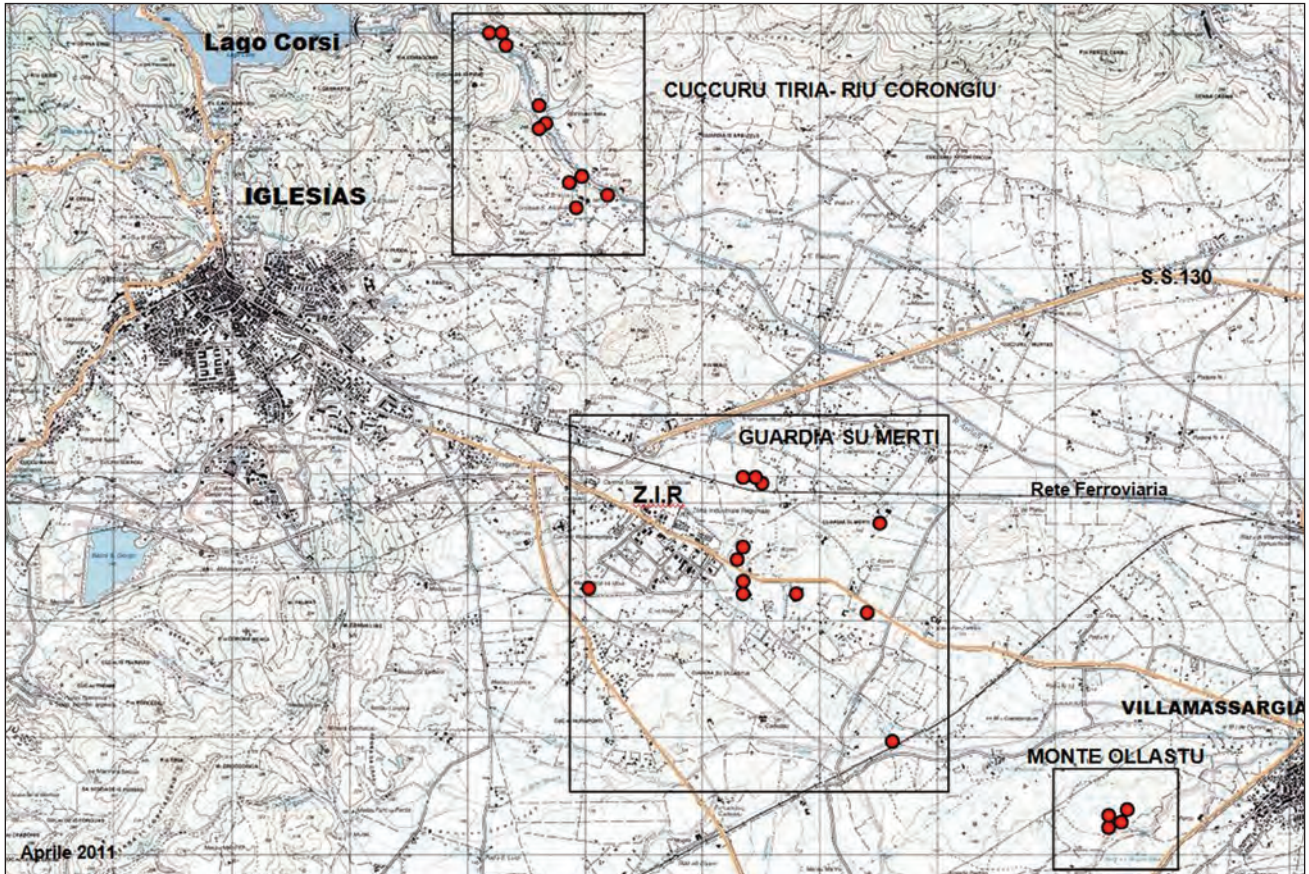


Fig. 15 – Piana del rio Cixerri (Iglesias, Villamassargia). Ubicazione dei Sinkholes in località Curruru Tiria, Guardia Su Merti e Caput Acguas-Monte Ollastu (Aprile 2011).
 – Plain of the Rio Cixerri (Iglesias, Villamassargia). Location of Sinkholes in the locality Curruru Tiria, Guardia Su Merti and Caput Acguas - Monte Ollastu (April 2011).



Fig. 16 – Sinkhole di nuova formazione (2011). Piana calcarea del rio Corongiu in località Cuccuru Tiria (Comune di Iglesias).
 – Newly formed Sinkhole (2011). Limestone Valley of torrent Corongiu, location Cuccuru Tiria (Municipality of Iglesias).

8. - CONCLUSIONI

Le attività sviluppate con il presente lavoro hanno consentito, in questa fase, di pervenire ad un preliminare quadro conoscitivo che traccia le aree del territorio regionale a maggior rischio sinkholes, utile come strumento di pianificazione territoriale per la programmazione degli interventi di messa in sicurezza, di monitoraggio e controllo ambientale e per l'inserimento di tali aree fra quelle soggette a disciplina P.A.I. (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico di cui alla Legge 18 maggio 1989, N. 183, art. 17, comma 6, ter D.L. 180/98 e successive modifiche e integrazioni). A tal fine è stato avviato un primo censimento sinkholes partendo dai casi già conosciuti, come quelli localizzati nella piana del Cixerri, ed estendendo la ricerca nelle aree minerarie della Sardegna, sede anch'esse di imponenti fenomeni di sprofondamenti, generati dal crollo dei vuoti minerari sotterranei. Inol-



Fig. 17 – Sinkhole apertosi in località Guardia Merti a circa 30 metri dal binario del tracciato ferroviario Villamassargia – Iglesias. Sullo sfondo il Massiccio calcareo dolomitico del Paleozoico di M. te Marganai (906 m s.l.m.) (Arpas, nov. 2009).

– Sinkhole that opened in the locality Guardia Merti at about 30 meters from the railway Villamassargia – Iglesias. In the background the dolomitic limestone massif of the Paleozoic of M.te Marganai (906 m) (ARPAS, nov. 2009).

tre al fine di comprendere l'evoluzione dei fenomeni, sono stati approfonditi i dati storici e bibliografici, integrati a loro volta da sopralluoghi e da rilievi geologici di dettaglio. L'obiettivo dello studio è rappresentato dalla necessità di costruire un adeguato quadro conoscitivo ambientale sui fenomeni di dissesto da sinkholes incombenti in Sardegna, con particolare attenzione per le aree più vulnerabili quali: vie di comunicazione, centri urbani, periferie e zone di espansione urbanistiche, al fine di comprendere la genesi, l'evoluzione dei fenomeni e le possibili modi d'intervento. Scopo finale è creare lo strumento di pianificazione per comprendere l'entità delle ripercussioni prevedibili sulla superficie topografica, migliorare la sicurezza e la stabilità geologica dei terreni, riuscendo così a formare per ogni manifestazione il relativo modello geologico: a tal fine, è fondamentale recuperare la "memoria storica" degli eventi, cercando di arri-

vare a una ricostruzione quanto più esaustiva della successione delle modificazioni sia in superficie sia nel sottosuolo.

Nell'isola sono stati censiti complessivamente N. 110 sinkholes di cui N. 50 associati a eventi naturali per carsismo e N. 60 ascrivibili agli "Anthropogenic Sinkholes", noti da tempo ma non ancora segnalati, riconducibili alla presenza nel sottosuolo di vuoti profondi da attività mineraria. La localizzazione dei fenomeni ha messo in evidenza contesti territoriali particolarmente a rischio per le infrastrutture e per le comunità locali, interessando una superficie di oltre 15 kmq. Circa il 64% di tali aree non sono state pianificate dalle norme di attuazione del P.A.I. (Decreto del Presidente della Regione Sardegna N. 35 del 21 marzo 2008), e conseguentemente escluse dalle norme di attuazione degli strumenti urbanistici locali.

Molte aree sono diffuse nelle miniere dismesse

dell'Iglesiente e nell'area urbana di Cagliari, a causa dei continui assestamenti conseguenti alle coltivazioni minerarie con cedimento differenziale del sovrassuolo.

Si annoverano, data l'entità del fenomeno, gli imponenti sprofondamenti nella città di Cagliari, nella città mineraria di Carbonia, compresi gli abitati di Bacu Abis e di Cortoghiana, nelle aree minerarie metallifere dell'Iglesiente - Guspinese (Acquaresi, Nebida, Monteponi, Montevecchio, etc.). Altri ancora sono associati a eventi naturali per carsismo distribuiti nelle piane alluvionali interne e costiere del Sulcis - Iglesiente, spesso in contesti geologici caratterizzati da faglie disgiuntive prevalenti da coperture detritiche alluvionali quaternarie, terziarie con sottostanti rocce calcaree carsificate del cambriano. Si menzionano le voragini apertesi nella piana alluvionale del rio Cixerri (catalogate in numero di 26), nel centro urbano di Carbonia (catalogate in numero di 5), nel Sulcis rispettivamente nella piana di Narcao e in località Acquacadda presso Nuxis (catalogate in numero di 14), nella stretta valle calcarea di Gutturu Saidu (catalogate in numero di 5), al confine amministrativo tra l'abitato S. Anna Arresi e Teulada.

BIBLIOGRAFIA

- ARDAU F., BALIA R., BIANCO M., CINUS S. & DE WAELE J. (2005) – *Assessment of cover-collapse sinkholes in southwest Sardinia (Italy)*. Geophysical Research Abstract, 7.
- BALIA R., MASSACCI G., CONGIU M., FIORAVANTI E., LAI S., LIPARI D. & SARITZU R. (1990) – *Progressive hangingwall caving and subsidence prediction at the San Giovanni Pb-Zn Sulphur ore Mine in Italy*. Pro. 9th International conference on ground control in mining Morgantown (West Virginia) June 4-6, 3003-311.
- BENEDETTI E., CORDA A. & DESSI R. (2000) – *L'analisi del Rischio idrogeologico finalizzato alla tutela di beni ambientali e culturali: la Miniera dismessa di Monte Narba (Sardegna SE)*. AIGA- ROMA.
- BENEDETTI E., CORDA A., DE CARLO I., DESSI R., MANCA F. & SIRIGU E. (1994) – *Recupero del patrimonio minerario sardo e descrizione dei più importanti insediamenti: le miniere dell'area dell'Oridda (Sardegna sud-Occ.)*. Atti 2° Convegno “Valorizzazione dei siti Minerari dismessi” - ANIM. Cagliari 12-14 Ottobre 1994 (Ed.) PEI Parma.
- CAREDDA G., CINUS S. & FARRIS M. (2004) – *I sinkhole del Sulcis - Iglesiente*. Atti 1° Workshop: “Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio”, APAT, ROMA, 2004: 249-262.
- CAREDDA P., MARIOLU E. & NISIO S. (2009) – *I sinkholes in Sardegna Meridionale. Alcuni esempi dal Sulcis Iglesiente e possibili correlazioni con le attività antropiche*. Atti 2° Workshop “I sinkhole. Gli sprofondamenti catastrofici nell'Ambiente Naturale ed in quello Antropizzato”, ISPRA, Roma.
- CICCU R. & MANCA P.P. (1992) – *Stabilità della frana di Acquaresi – Marx Nord*, relazione inedita.
- CIVITA M. & COCOZZA T. (1983) – *Idrogeologia del bacino minerario dell'Iglesiente (Sardegna Sud Occidentale)*. SAMIM, Roma.
- CORDA A., DESSI R. (1999) – *Modificazioni Geologiche Ambientali nell'area mineraria dismessa di Montevecchio-Ingurtosu*. Atti della 3° Conferenza Nazionale ASITA-Napoli, 9-12 Novembre 1999, volume I: 621-626.
- CORDA A. (1995) – *Proposta di valorizzazione e recupero ambientale della miniera dismessa di Arenas (Fluminimaggiore-Ca)*, tesi di laurea inedita.
- DI GREGORIO F. & MASSOLI-NOVELLI R. (1988) – *Impatto ambientale delle attività minerarie in Sardegna*. Boll. S. Sarda Sci. Nat., 26: 17-42.
- FADDA A., OTTELLI L. & PERNA G. (1994) – *Il Bacino Carbonifero del Sulcis-Carbonsulcis S.p.A.* (Ed.) Edisar-Cagliari.
- MAXIA C. (1935) – *Contributo alla morfologia della valle del Cixerri*, Mem. Soc. Geol. It.
- NISIO S. (2008) – *I fenomeni naturali di sinkholes nelle aree di pianura italiane*. Mem. Descr. della Carta Geol. d'It., 85: 475 pp.