

I sinkholes in Sardegna

The sinkholes in the Sardinia region

NISIO S. (1) (*)

1. - INTRODUZIONE

Voragini riconducibili a fenomeni di *sinkholes*, connesse a circolazione di fluidi e/o a carsismo coperto, si sono aperte in alcune pianure della Sardegna sud-occidentale, Sulcis-Iglesiente, negli ultimi anni del 1990 e nei primi anni del 2000.

La presenza di fenomeni di *sinkholes* in Sardegna è stata segnalata di recente (BALIA *et alii*, 2001; DE WAELE & MUNTUN, 2001; CAREDDA *et alii*, 2004; ARDAU *et alii*, 2005). I primi eventi significativi che hanno destato l'attenzione pubblica sono relativi al 1999; eventi minori precedenti risalgono all'inizio del decennio scorso. Le aree interessate sono ubicate nella Provincia di Carbonia-Iglesias, nello specifico nei Comuni di Iglesias, Villamassargia, S. Anna Arresi e Narcao.

Il modello geologico concettuale che accomuna le aree suscettibili a tali fenomeni di sprofondamento è la presenza di un substrato carbonatico e di un potente pacco di depositi di copertura. Le dimensioni granulometriche degli elementi di copertura sono variabili ma generalmente si tratta di argille sabbiose, limi, sabbie con intercalazioni di ghiaie.

La formazione dei *sinkholes* apertisi nella piana del Cixerri, nel tratto compreso tra Cuccuru Tiria e la sorgente di Caput Acquis, viene, da alcuni Autori, collegata allo sfruttamento della falda per l'atti-



Fig. 1 - Ubicazione dei fenomeni di *sinkholes* in Sardegna.
- Sinkholes phenomena localization in the Sardinia island.

vità mineraria e in parte all'emungimento da parte di pozzi profondi, utilizzati per uso idropotabile.

Tuttavia lo stato delle conoscenze attuali non consente di ricostruire la genesi e la dinamica dei fenomeni in quanto necessitano studi di approfondimento.

(1) Con la collaborazione di: MARIOLU E. Stagista Apat.

(*) ISPRA - Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia - Servizio Geologia Applicata e Idrogeologia.

2. - LA PIANA DEL CIXERRI

La valle del Cixerri è un ampio solco trasversale di direzione E-W, impostato nel Paleozoico della Sardegna Sud-Occidentale.

Questa valle, lunga 26 km e larga in media 8, ha una forma grossolanamente trapezoedrica. È limitata dai monti dell'Iglesiente a Nord ed Ovest, dai monti del Sulcis a Sud, mentre è separata dalla grande pianura del Campidano ad Est (fig. 2).

Orientata e inclinata blandamente da W verso E si presenta come irregolare successione degradante di ampi terrazzi alluvionali e di bassi rilievi calcareo-scistosi del Paleozoico (M.te Ollastu, M.te Maiori) e da rilievi conici eruttivi del Terziario.

Complessivamente la valle è da ritenersi stabilita in una sinclinale, che fa parte di un sistema di pieghe, con asse circa E-W (MAXIA, 1935).

La valle del Cixerri è colmata da depositi clastico-terrigeni derivanti dalla demolizione dei rilievi paleozoici circostanti, con uno spessore di circa un centinaio di metri.

Le alluvioni recenti sono costituite da sedimenti clastici di trasporto fluviale. Le alluvioni terrazzate sono molto sviluppate anche a nord-est di Domusnovas; il detrito di falda abbonda al bordo sud-occidentale della valle, dove spesso forma conoidi dolcemente degradanti verso la pianura.

2.1. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La piana del Cixerri si estende a Est dell'abitato di Iglesias e s'innesta ortogonalmente alla piana del Campidano.

I limiti geomorfologici sono marcati da faglie con direzione E-W e N-S, che ne determinano una forma approssimativamente rettangolare, allungata in direzione E-W per circa 26 Km e larga 8 Km.

La piana del Cixerri deriva da un'originaria fossa tettonica con andamento E-W, poi colmata da sedimenti argillosi e detriti di età terziaria e quaternaria.

Le litologie affioranti sono costituite in prevalenza da rocce di età Cambriana e Ordoviciane, i cui depositi sedimentari di mare basso sono stati interessati e influenzati strutturalmente dalla presenza di più fasi tettoniche attribuibili alle orogenesi caledoniche (Fase Sarda Auct.) ed erciniche, e da metamorfismo regionale Ercinico di Anchizona.

Le formazioni carbonatiche cambriche sono costituite da calcari e dolomie della "Formazione di Gonnese" (*Metallifero*), in giacitura subverticale e con evidenti fenomeni di fratturazione e tettonizzazione.

I sedimenti cambriani sono ricoperti da conglomerati, sabbie e argille più o meno compattate, disposti in terrazzi e conoidi alluvionali ascrivibili al Plio-Pleistocene (COCOZZA, 1972, 1979; CARMIGNANI *et alii*, 1982, 1983; PILLOLA 1991; PILLOLA *et alii*, 1995).



Fig. 2 - Settore compreso tra Iglesias e Villamassargia, interessato dai fenomeni di *sinkholes*; sono anche evidenziati i Comuni di Narcao, frazione di Rio Murtas, e Nuxis, frazione di Acquacadda (Google maps).

- Sinkhole prone sector between Iglesias and Villamassargia town; are also indicate the Narcao (Rio Murtas) and Nuxis (Acquafredda) districts (from Google maps).

I sedimenti prevalentemente terrigeni sono costituiti per lo più dalla *Formazione di Nebida*. Seguono, verso l'alto, i terreni della successione carbonatica della *Formazione di Gonnosa* costituita da dolomie e calcari di piana tidale (RASETTI, 1972; BONI & COCOZZA, 1982). La *formazione di Cabitza*, marca l'annegamento della piattaforma carbonatica.

La *Formazione di Nebida* (*Formazione delle Arenarie "Auct., Gruppo di Nebida"*; PILLOLA *et alii*, 1995) è in prevalenza costituita da sedimenti terrigeni interessati da metamorfismo ercinico di grado molto basso ed affiora estesamente in tutto il Sulcis-Iglesiente. Nell'Iglesiente e nel Sulcis settentrionale costituisce il termine più antico della successione affiorante, mentre nel Sulcis meridionale essa è sormontata dalla *Formazione di Bitbia*. La fine della deposizione prevalentemente silico-clastica e l'inizio di quella prevalentemente carbonatica marca il passaggio dalla *Formazione di Nebida* alla *Formazione di Gonnosa*.

La *Formazione di Gonnosa* (*Metallifero Auct.*, PILLOLA, 1991; PILLOLA *et alii*, 1995), definita anche "Metallifero" per il suo alto contenuto in giacimenti a metalli, che affiora, seppur in maniera discontinua, in tutto l'Iglesiente-Sulcis, è costituita da dolomie e calcari. (COCOZZA, 1979; PILLOLA, 1991; PILLOLA *et alii*, 1995; GALASSI & GANDIN, 1992).

La *Formazione del Cixerri* è notoriamente una formazione di origine sedimentaria, in facies continentale, riferibile all'Oligocene che si sovrappone al, cosiddetto, "Lignifero" del Sulcis, la cui età è Eocenica. I sedimenti, sono costituiti in prevalenza da arenarie quarzose, grigio-violacee, bianco-verdastre oppure rossastre, spesso conglomeratiche, a ciottoli di rocce paleozoiche o mesozoiche (soprattutto scisti neri, quarzo, porfidi e calcari del Giurese-Cretaceo). Le arenarie si alternano con marne ed argille siltose violacee o giallo-rossastre, spesso contenenti noduli concrezionari giallastri, ferruginosi, e ben stratificate.

Per i suoi importanti giacimenti misti e di carbone, il Sulcis-Iglesiente è stato oggetto di studi di carattere geologico-strutturale da parte di numerosi Autori fin dai primi anni del secolo (ARTHAUD, 1963; POLL & ZWART, 1964; BRUSCA & DESSAU, 1968; DUNNET, 1969).

2.2. - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

La *piana del Cixerri* è ubicata in una area caratterizzata da varie idrostrutture, la più importante delle quali è il complesso carbonatico (SOC. PER LA RICERCA E VALORIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO, 1976; CIVITA *et alii*, 1983a, b; CASTANY, 1985; CELICO, 1988; CASULA *et alii*, 1995; PERNA, 1995; PROGEMISA, 1996; BARROCU *et alii*, 2005; DE WAELE *et alii*, 2005).

L'attività carsica di tale complesso è ampiamente sviluppata (cavità ipogee quali la *Grotta dei Pipistrelli*, profonda 16 metri, e la *Grotta di Planu Francau*) e ha portato alla formazione di un reticolo idrografico sotterraneo con punti di emergenza sparsi nel territorio. Le formazioni carbonatiche, molto fratturate, permettono l'infiltrazione delle acque che vanno ad alimentare la falda freatica profonda del Cixerri.

Negli ultimi decenni, stagioni particolarmente secche e prelievi indiscriminati, hanno ridotto notevolmente la potenzialità dell'acquifero. In passato, esso dava origine a numerose manifestazioni sorgentizie, ad esempio la sorgente di Caput Acquas, che già da qualche anno sono prosciugate.

L'area in oggetto può essere suddivisa in quattro complessi idrogeologici principali.

Il Complesso terrigeno inferiore (800 m di spessore - *Formazione di Nebida*) è costituito alla base da siltiti, argilliti ed arenarie e nella parte superiore da alternanze di arenarie quarzose, scisti arenacei con strati e lenti di calcari gradatamente sostituiti da dolomie. La serie appare intensamente piegata, ma con una fratturazione limitata ai soli banchi arenacei e calcarei. La permeabilità per fessurazione è scarsa o nulla, anche se localmente esiste una modesta circolazione idrica nelle intercalazioni carbonatiche.

Il Complesso carbonatico antico (500-1000 m di spessore) è limitato al letto dal membro della Dolomia rigata ed al tetto dai Calcari nodulari. È costituito da tipi litologici della Dolomia grigia e del Calcare ceroide. Il limite inferiore è scarsamente permeabile per la contenuta fratturazione e per la quasi assenza di carsificazione. La Dolomia grigia ed il Calcare ceroide hanno un comportamento idrodinamico analogo, mentre si differenziano notevolmente per il comportamento meccanico, a causa della diversa costituzione petrografica, giacitura, fratturazione e carsificazione. Le dolomie si presentano debolmente fratturate, con le fratture spesso concrezionate e colmate da materiali residuali. La carsificazione è presente, ma non molto spinta. I calcari invece, sono caratterizzati quasi ovunque da una fitta rete di fratture poco concrezionate. Sono presenti numerose cavità carsiche. Le caratteristiche del complesso sono localmente variabili in funzione delle giaciture e anche della presenza di filoni.

Il Complesso scistoso intermedio (300-400 m di spessore) comprende la parte superiore dei Calcari nodulari, dove sono prevalenti i livelli argillosi, e gli Argilloscisti di Cabitza. Si tratta di un complesso impermeabile che, dando origine ad alcune soglie di permeabilità, condiziona fortemente la circolazione idrica sotterranea.

Il Complesso terrigeno superiore, (200-500 m di spessore) caratterizzato da permeabilità variabile, comprende i terreni ordoviciani costituiti dal conglomerato poligenico basale, dagli argilloscisti arenacei, dalle argille siltose, da argilliti e siltiti con locali masse calcaree inglobate. Questo complesso borda l'area dell'Iglesiente come una barriera quasi continua, che va dal mare fino alla valle del Cixerri, comprendendo sia l'abitato di Iglesias che quello di Villamassargia.

2.3. - L'ATTIVITÀ MINERARIA NELL'IGLESIENTE

Nel Sulcis, tra gli abitati di Iglesias e Villamassargia, sono numerose le coltivazioni minerarie (fig. 3). L'attività estrattiva ha determinato molte implicazioni sul sistema idrico sotterraneo (BINETTI, 1935; MINIERE IGLESIENTE, 1998; PINTORE, 2007).

L'esigenza di spingere le coltivazioni minerarie a livelli sempre più profondi, al di sotto del livello piezometrico, che si attestava originariamente a +70 metri sul livello del mare, ha reso necessaria la depressione, tramite eduazione, della tavola d'acqua in tutto il settore dell'Iglesiente.

Nel 1874 vennero messe in esercizio alcune pompe a vapore nel Pozzo Sella, un primo modesto sistema di pompaggio, che portò ad un abbassamento del livello dagli originari + 70 m a + 61 m s.l.m. con una portata di circa 300 l/sec.

Nel 1885 venne effettuato lo scavo della galleria di scolo Umberto I, con uno sviluppo di 5962 m, che dalla miniera di Monteponi, a quota +18 s.l.m., porta alla palude di Sa Masa, a quota +2,70 m s.l.m.

Nel 1889 la galleria intercettò, alla progressiva di 4264 m, una grossa spaccatura, denominata "Gran Sorgente", una cavità verticale che costituisce il recapito naturale di una estesa rete acquifera sotterranea, che drena una vastissima area del bacino idrogeologico di Monteponi.

Lo sblocco di questo importante condotto carsico produsse un massiccio incremento della portata della galleria di scolo, che passò improvvisamente da 550 l/sec a 3600 l/sec.

Questo portò ad un abbassamento della piezometrica fino alla quota di + 13,50 m s.l.m. a Monteponi, e garantì il proseguimento dell'attività mineraria per alcuni decenni in tutto l'anello Metallifero, dove la tavola d'acqua si abbassò di oltre 40 m.

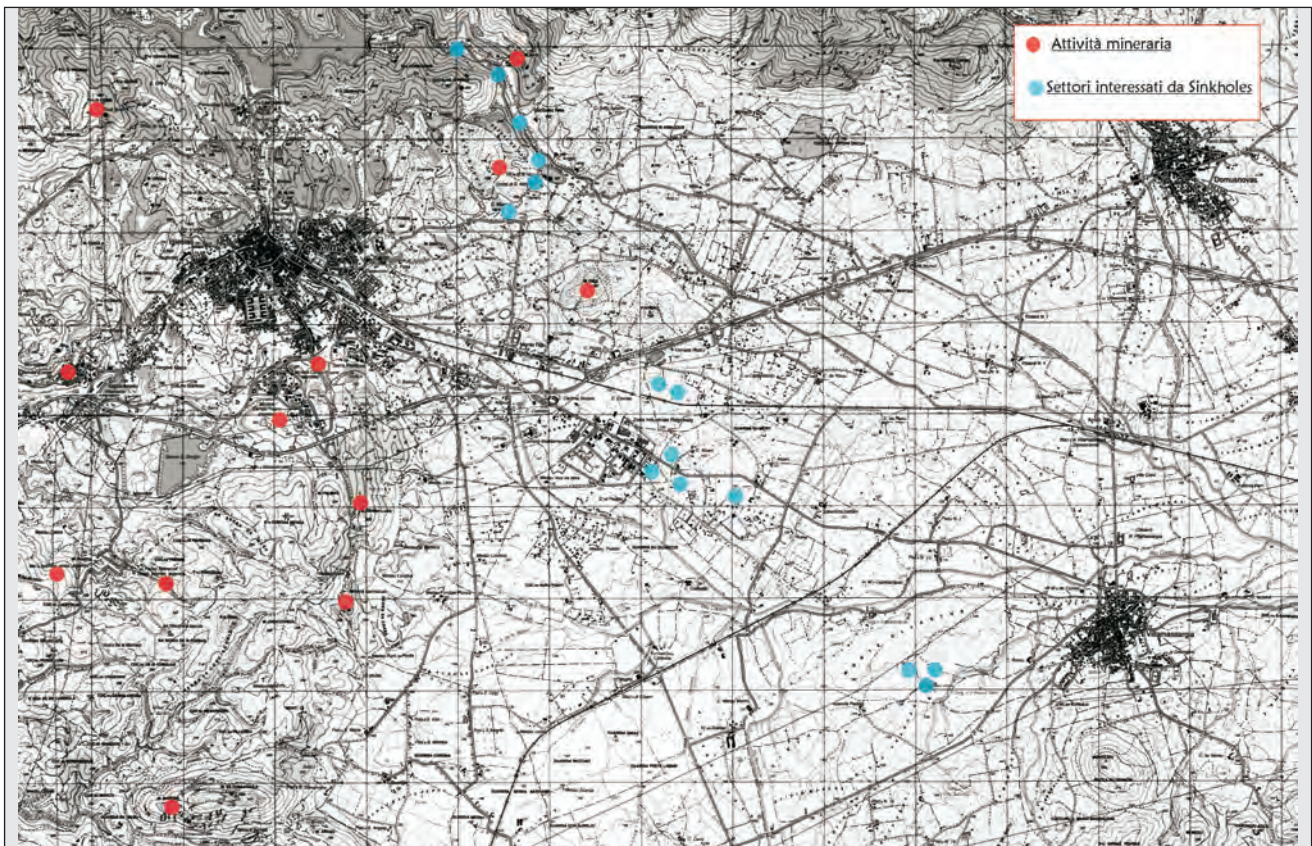


Fig. 3 - Stralcio della carta IGM: in rosso l'attività mineraria presente nell'area compresa tra Iglesias e Villamassargia.
- IGM sketch map: in red the mines in the area between Iglesias and Villamassargia towns.

In seguito, nel 1928, fu necessario predisporre un nuovo sistema di pompaggio, che fu collocato a quota -15 m s.l.m. per una portata a regime di circa 950 l/sec. La portata della galleria di scolo diminuì gradualmente fino ad esaurirsi del tutto nel 1932.

Il sistema di eduazione successivo, quello che portò la piezometrica a - 60 m s.l.m., entrò in funzione nel 1936 per portate di circa 1500-1700 l/sec.

Nel 1956 si avviarono le pompe a -100 m s.l.m., che portarono le portate a regime intorno a 1400-1500 l/sec.

Nel 1990 infine, entrò in funzione il pompaggio a -200 con una portata iniziale di 2000 l/sec ed una a regime prevista di 1700 l/sec.

La coltivazione fu interrotta nel 1997 e l'impianto di pompaggio fu spento con graduale riduzione della portata edotta, al fine di evitare turbolenze e favorire una stratificazione dei livelli acquiferi a differente chimismo, fino alla cessazione totale dell'eduazione nel Luglio del 1997.

Nel periodo in cui le miniere prelevavano ingenti volumi d'acqua si sono manifestati alcuni problemi nel sistema idrogeologico della piana (diminuzione delle portate ed estinzione di alcune sorgenti).

Alla fine degli anni 90, in concomitanza dei prelievi dalle miniere e della messa in funzione di alcuni pozzi trivellati ad uso potabile, nella piana del Cixerri tra Villamassargia ed Iglesias, si sono manifestati i primi casi di sprofondamento.

Il legame tra l'eduazione da parte delle attività minerarie e i *sinkholes* non è certo, ma non vi è dubbio che la concomitanza dei differenti tipi di emungimento ha determinato un forte squilibrio idrodinamico nella falda basale della piana del Cixerri.

2.4. - I FENOMENI DI SPROFONDAMENTO NEL SULCIS

I *sinkholes* censiti nel Sulcis-Iglesiente si manifestano in superficie con l'apertura di voragini di forma sub-circolare con diametri medi di 20 m e profondità non superiori ai 15 metri. I *sinkholes* si sono manifestati con maggiore frequenza a partire dagli ultimi anni del 1990 (1997-1999), presumibilmente a causa di interazioni fra movimenti di corpi idrici in falda, gallerie minerarie e cavità ipogee da carsismo. La profondità del substrato carbonatico non sempre è stata accertata ma nella maggior parte dei casi sono presenti più di 30-40 m di coperture continentali.

Nell'area sono stati censiti più di 30 casi; di seguito una breve trattazione delle aree interessate dai fenomeni.

Località Cuccuru Tiria

La località di Cuccuru Tiria, è ubicata ai piedi

del complesso del Marganai, tra rilievi carbonatici, a quote di circa 200 metri s.l.m.

Il sistema carsico di Cuccuru Tiria (grotta Cucurru Tiria, presenza di corsi d'acqua sotterranei) costituisce la fonte principale delle acque sotterranee che alimentano la piana del Cixerri.

Nel settore in esame sono stati censiti 15 *sinkholes*, tra depressioni singole e multiple, ubicate nella piana alluvionale del Rio Corongiu (fig. 4).

I *sinkholes* censiti in località Cuccuru Tiria presentano una certa differenziazione morfometrica.

Alcune cavità non superano i 5-6 metri di diametro, con profondità di circa 3-4 metri. La maggior parte sono ricoperte da vegetazione o si trovano in uno stadio evolutivo senile (fig. 5).

Negli anni passati, nel corso di altri studi, sono state segnalate voragini a differente diametro, successivamente ricolmate e di difficile ubicazione.

Altre voragini ubicate presso le località, Corongiu de Mari e Serra de Daga, presentano diametri maggiori (30 m) ma scarse profondità (3 m). Tali voragini, nell'area ne sono presenti altre non censite di piccolo diametro, sono state segnalate solo agli inizi dell'anno 2000. Il *sinkhole* di dimensioni maggiori è stato osservato per la prima volta nel 2001 (fig. 6; CAREDDA *et alii*, 2004).

Nell'area di Cucurru Tiria sono numerosi i pozzi di emungimento e potrebbe essere possibile una connessione con i fenomeni di sprofondamento.

I fenomeni si sono aperti nel tempo progressivamente verso valle, lungo la direzione che segue il collettore sotterraneo che da Cuccuru Tiria raggiunge la piana sottostante.

Località Guardia su Merti

L'area di Guardia su Merti è pianeggiante, circondata da rilievi collinari, che sovrastano la depressione valliva del Cixerri. Il contesto geologico è caratterizzato da alluvioni ghiaioso-sabbiose in matrice argillosa poggianti su arenarie, al di sotto delle quali si attesta il *bedrock* carbonatico (calcari e dolomie a profondità comprese tra i 20 m e i 40 m).

Il settore in esame ricade presso la zona industriale di Iglesias.

Presso Guardia Su Merti sono stati censiti 8 *sinkholes*, di dimensioni variabili, che spesso superano i 30 m di diametro e 10 m di profondità (fig. 7). Alcuni interessano una fascia a ridosso della linea ferroviaria (BALIA *et alii*, 2001; CAREDDA *et alii*, 2004; figg. 8, 9).

Le voragini mostrano caratteristiche similari, per la tipologia di sprofondamento e la morfometria della cavità (figg. 10, 11, 12).

La voragine apertasi nel 1999 aveva diametro di 35 m e profondità di 12 m al momento della formazione. Nei pressi della stessa erano presenti altre cavi-

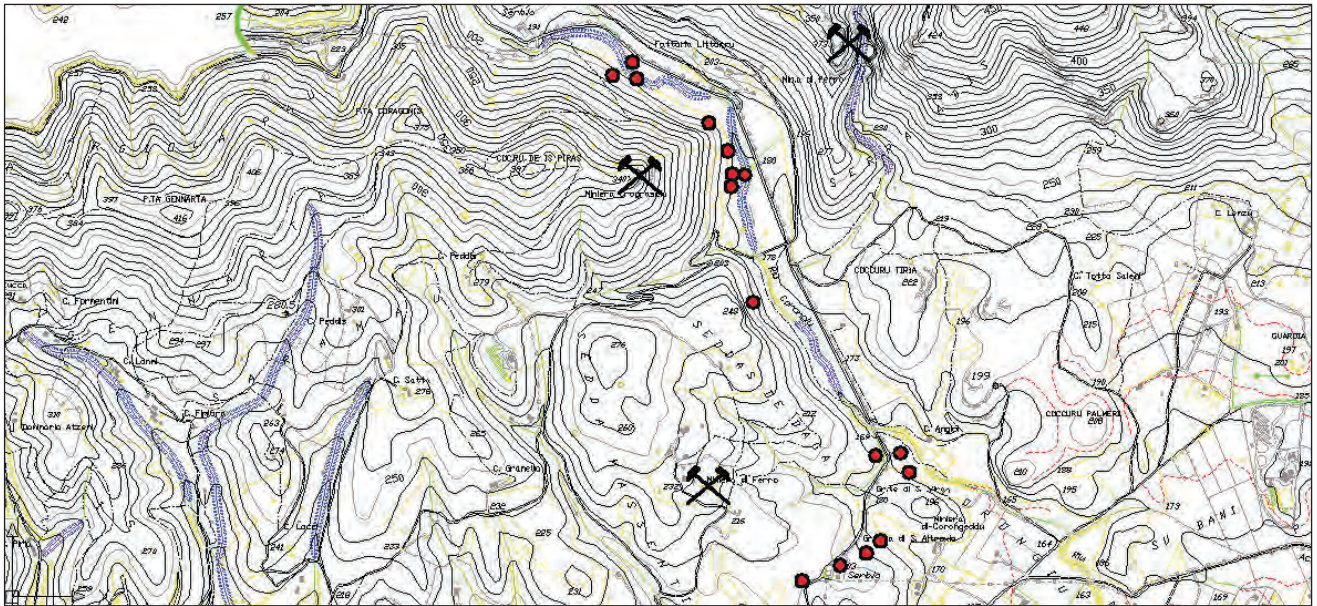


Fig. 4 - Ubicazione di *sinkholes* presso località Cucuru Tiria (stralcio CTR).
- *Sinkholes localization in Cucuru Tiria locality.*

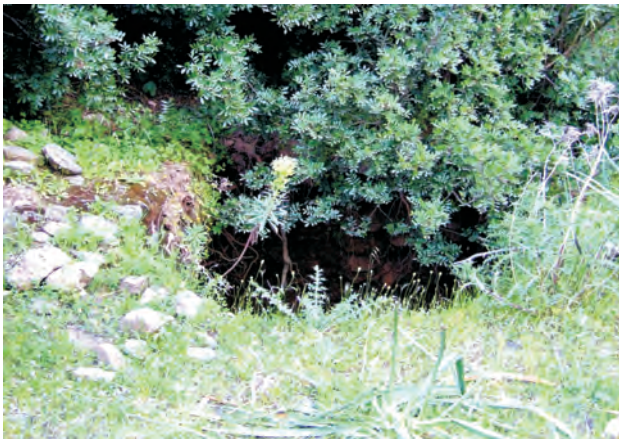


Fig. 5 - *Sinkhole* in località Cucuru Tiria, parzialmente obliterato da vegetazione.
- *Cucuru Tiria sinkhole; obliterated partially by the vegetation.*



Fig. 6 - Il *sinkhole* in località Corungiu de Mari.
- *The sinkhole in Corungiu de Mari locality.*

tà di diametro minore (3 m) e profondità scarsa (3,5 m).

Gli altri *sinkholes* hanno diametri variabili tra 30 e 10 m, e sono attualmente in corso di coltamento con materiale gradato idoneo. Il substrato è stato individuato a profondità comprese tra 40 m e 20 m (fig. 10). La maggior parte dei fenomeni è ricoperta da vegetazione o messa in sicurezza attraverso la perimetrazione della voragine con reti metalliche (figg. 11, 12), che nella maggior parte dei casi sono state divelte o sono cadute per il progressivo avanzamento della stessa.

È da segnalare che anche in tale area sono presenti molti pozzi per uso idropotabile; va inoltre ricordata l'intensa azione antropica prodotta dalle

opere di manutenzione, relative alla rete ferroviaria e al vicino polo industriale, che ha determinato frequenti vibrazioni sui terreni.

Località Caput Aquas

Località Caput Aquas è ubicata nel Comune di Villamassargia, ad alcuni chilometri dall'abitato, a ridosso dei versanti settentrionali del Monte Ollastus, a breve distanza dall'alveo del Rio Cixerri.

Nei pressi di Monte Ollastu, a poche centinaia di metri dalla sorgente di Caput Aquas, si sono aperti alcuni *sinkholes* sui quali sono costantemente eseguiti monitoraggi per verificarne lo stato attuale di avanzamento.

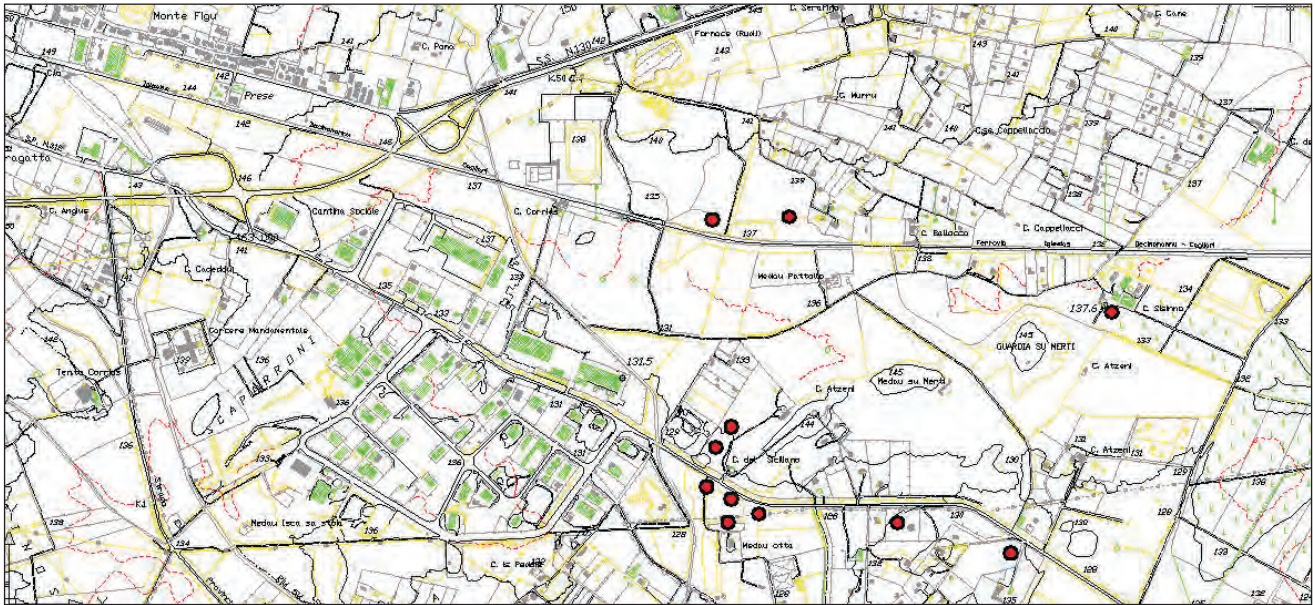


Fig 7 - Ubicazione dei sinkholes presso località Guardia su Merti.
 - Sinkholes localization in Guardia su Merti locality.



Fig 8 - Ortofoto di alcuni sinkholes nei pressi della linea ferroviaria.
 - Ortophoto of some sinkholes near the railway line.



Fig 9 - Ortofoto di due sinkholes presso località Guardia su Merti.
 - Ortophoto of two sinkholes in Guardia su Merti locality.

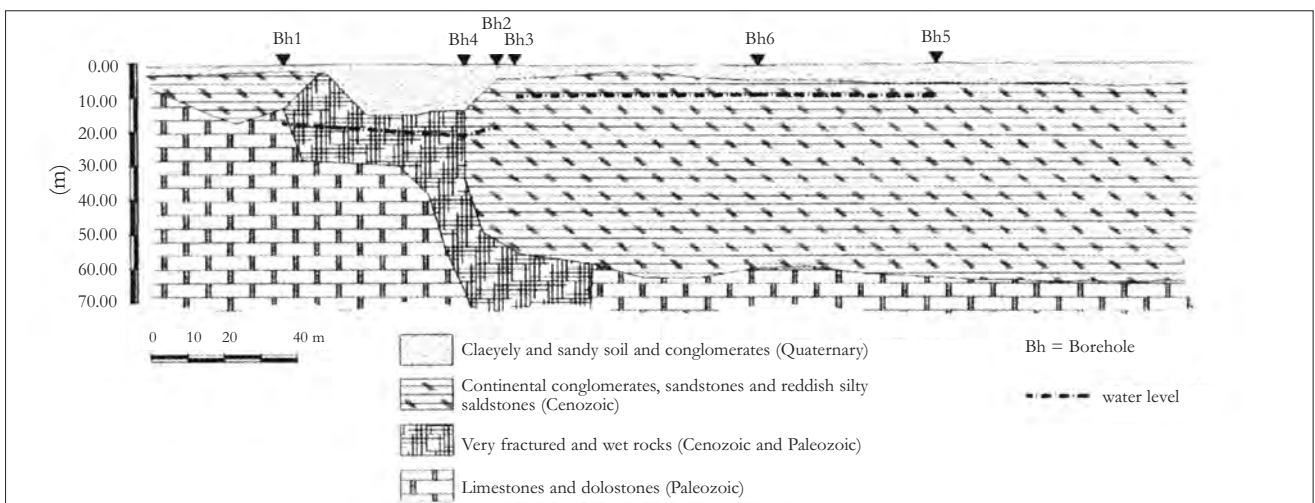


Fig 10 - Profilo geologico dell'area di Guardia Su Merti. Da BALIA et alii, 2001.
 - Geological profile of Guardia su Merti sinkhole prone area. From BALIA et alii, 2001.

In particolare sono stati censiti 4 *sinkholes* (fig. 13, 14), dei quali uno è stato ricolmato, uno ricoperto da vegetazione e messo in sicurezza attraverso reti metalliche, mentre i restanti due sono ancora aperti e non ancora messi in sicurezza (figg. 15, 16). La maggiore delle voragini, osservata per la prima volta nel 2001 (CAREDDA *et alii*, 2004), presenta diametro di 20 m e profondità di 15 m. Le altre si presentano come voragini singole e coalescenti con diametri di circa 10 m e profondità di 2-3 m (fig. 17).

Località Nuxis e Narcao

Nei Comuni di Nuxis, frazione di Acquacadda, e Narcao si sono verificati alcuni episodi di sprofondamento a partire dalla fine degli anni ottanta

alla metà degli anni novanta (fig. 18). Attualmente i fenomeni sono stati ricolmati con pietrame ed obliterati dalla rigogliosa vegetazione.

L'area di Nuxis, a partire dall'inizio del secolo, è stata interessata da intensa attività mineraria ed emungimento della falda per uso idropotabile.

Gli anziani minatori che lavoravano nella miniera di Sa Marchesa, negli anni '70-80, a pochi chilometri dall'abitato di Nuxis, ricordano che un vasto sprofondamento interessò una parte della strada provinciale Acquacadda-Carbonia nei pressi di Acquacadda, il quale provocò il blocco del traffico per alcuni giorni, fino a quando non si procedette a ripristinare la strada colmando lo sprofondamento con diversi carichi di pietrame.



Fig. 11 - *Sinkhole* in località Guardia su Merti (Sardegna Sud-Occidentale).
- *Sinkhole in the Guardia su Merti locality.*



Fig. 12 - Dettaglio di una voragine.
- *Detail of the sinkhole.*

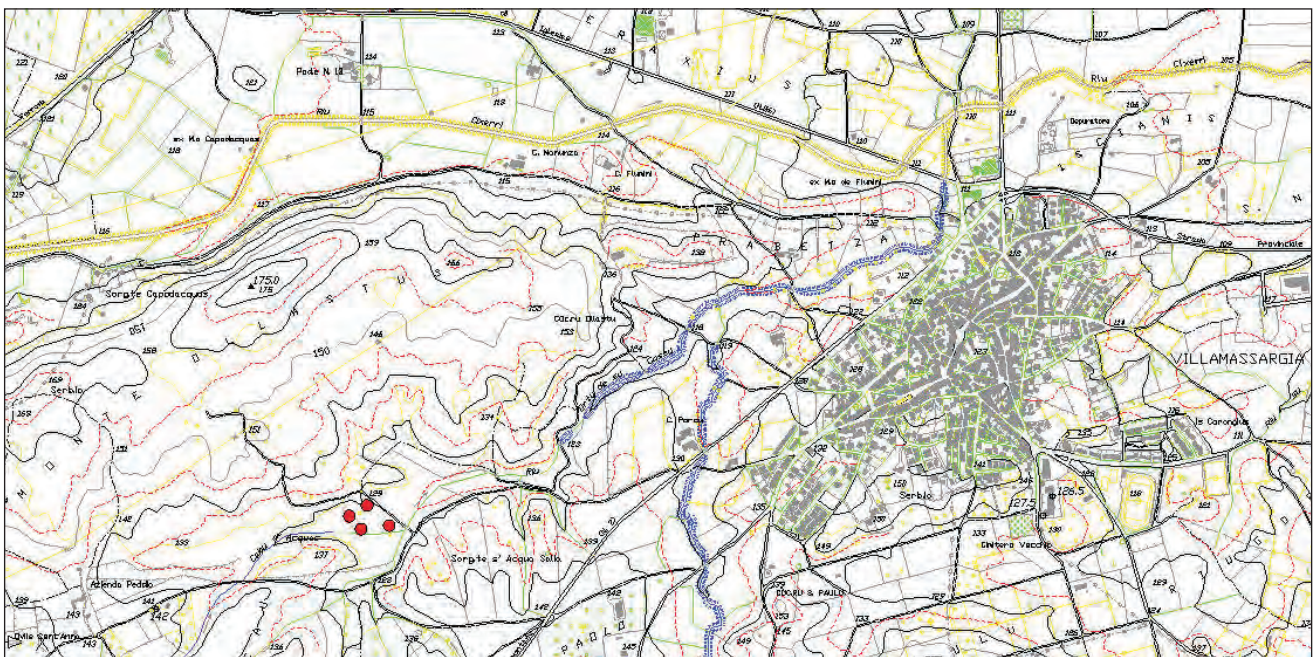


Fig. 13 - Stralcio CTR; *Sinkholes* censiti in Località di Monte Ollastu, in prossimità della sorgente di Caput Acqua.
- *CTR sketch map and localization of the sinkholes in Monte Ollastu locality, near Caput Acqua spring.*



Fig. 14 - Ortofoto dei *sinkholes* presenti nell'area di Caput Acqua.
- *Ortophoto of the sinkholes in Caput Acqua locality.*



Fig. 15 - *Sinkhole* in Località di Caput Acquas (Monti Ollastu).
- *Caput Acqua sinkhole (M.te Ollastu).*



Fig. 16 - Dettaglio di un *sinkhole* in località Caput Acquas (Monti Ollastu).
- *Caput Acqua sinkhole detail. (M.te Ollastu).*

Nell'area di Narcao i fenomeni anche se di piccole dimensioni e profondità, sono ancora in corso, e coinvolgono lo stesso centro abitato (fig. 19).

2.5. - ANALISI E CONSIDERAZIONI

I *sinkholes* della Sardegna sud-occidentale, censiti, presentano meccanismi di formazione ancora in corso di accertamento.

I fattori predisponenti da porre all'origine delle voragini sono: il substrato litoide cambrico di natura calcareo-dolomitica, interessato da strutture carsiche ipogee ed epigee, la circolazione delle acque sotterranee profonde, nonché la falda freatica presente nelle coperture continentali.

I fattori innescanti sono da ricercarsi nell'alterazione della dinamica delle falde sotterranee, ovvero nel repentino abbassamento del livello piezometrico per emungimento eccessivo, e nei regimi pluviometrici che caratterizzano la Sardegna (alternanza di periodi di siccità e di alluvionamento). Infatti il repentino abbassamento del livello piezometrico, comporta crollo della copertura per perdita di equilibrio statico e ripercussione dei vuoti verso l'alto per compensazione. Tuttavia non possono essere escluse concause antropiche quali vibrazioni in corrispondenza di importanti infrastrutture viarie o ferroviarie.

Una lenta erosione potrebbe inoltre essere operata dalle acque di falda idrica superficiale nei confronti della roccia alterata e dei terreni clastici appartenenti alla copertura continentale. I sedimenti sciolti asportati, vengono convogliati verso le cavità carsiche, e determinano progressivi ampliamenti verticali ed orizzontali dei vuoti sotterranei.



Fig. 17 - *Sinkhole* in allargamento nell'area di Caput Aquas.
- *Sinkhole* in expansion in Caput Aquas area.

3. - CONCLUSIONI

In Sardegna le aree a maggior rischio *sinkholes* sono distribuite nel Sulcis-Iglesiente, nei Comuni di Iglesias, Villamassargia, Carbonia, Nuxis, Narcao e S. Anna Arresi. Fenomeni locali sono stati segnalati nei Comuni di Cagliari, Teulada e S. Antiocho, ma alla luce degli studi effettuati non ricoprono particolare attenzione per numero e dimensioni.

L'evoluzione delle conoscenze riguardanti la morfogenesi dei fenomeni di subsidenza e l'individuazione di aree interessate dai *sinkholes* ha prodotto, anche all'interno delle Istituzioni Regionali, una maggiore consapevolezza della problematica, con la conseguente necessità di individuare e regolamentare le aree a rischio attraverso la normativa specifica in materia di dissesto idrogeologico (Delibera regionale N° 13/22 del 4 Marzo 2008).

I *sinkholes* censiti si collocano ai bordi di pianure alluvionali, Piana del Cixerri, Piana di Narcao. Interessano coperture continentali di spessore

variabile, sovrapposte a *bedrock* carbonatico carsificato. Hanno diametri che talvolta superano i 30 m e profondità che hanno raggiunto i 15 m.

I fenomeni più pericolosi, verificatisi nei pressi di infrastrutture, sono stati repentinamente ricolmati con materiale gradato o messi in sicurezza con recinzioni.

Si è riscontrato tuttavia che a partire dal 1997 i fenomeni si sono intensificati, con neoformazioni segnalate all'inizio del 2001.

Le cause innescanti sono principalmente da ricollegarsi alle variazioni del livello di falda, generate presumibilmente da attività antropiche, svolte periodicamente e/o simultaneamente, quali: sovraemungimento attraverso pozzi per uso idropotabile, eduazione dalla falda freatica e dalla falda profonda confinata per l'avanzamento dell'attività mineraria, sovrasfruttamento di sorgenti.

Tutte le azioni rivolte all'utilizzo indiscriminato delle acque sotterranee e superficiali hanno causato attraverso la ripetuta e prolungata variazione

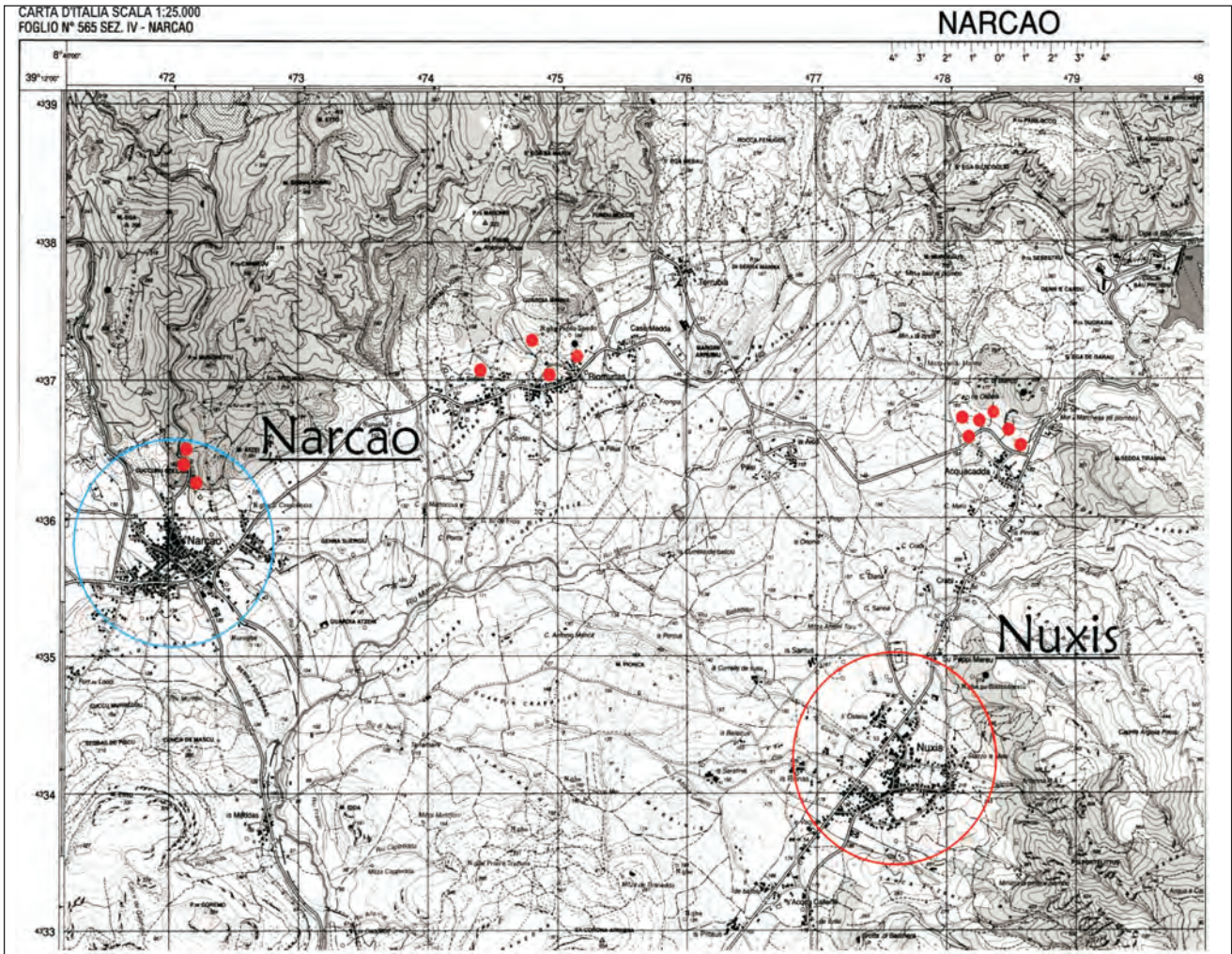


Fig 18 - Stralcio della Carta IGM, scala 1:25.000 Foglio 565, sono evidenziati gli abitati di Nuxis e di Narcao e le aree suscettibili ai *sinkholes*.
- IGM sketch map, 1:25,000 scale, 565 paper; are evident Nuxis and Narcao villages and the sinkholes prone areas.

del livello piezometrico e freatico, sia la veicolazione del materiale di copertura, incoerente o scarsamente diagenizzato, all'interno dei vuoti creati dalla dissoluzione delle rocce carbonatiche, sia la diminuzione della spinta di sostegno esercitata dalle acque sotterranee profonde in pressione.

La dinamiche di subsidenza sono molto complesse e non sempre i meccanismi di origine e di sviluppo si possono uniformare a tutte le casistiche.

Tra i meccanismi genetici non va esclusa la lenta erosione sub-superficiale operata dalle acque di falda idrica nei confronti della roccia alterata e dei terreni clastici, appartenenti alla copertura, che, asportati, vengono convogliati nelle cavità carsiche presenti nel *bedrock*.

L'emungimento prolungato ed indiscriminato nel settore in esame, sia da parte delle miniere, per l'avanzamento dell'attività estrattiva, sia da parte dei pozzi utilizzati per uso idropotabile, potrebbe aver influito sulla genesi dei *sinkholes*.



Fig. 19 - *Sinkhole* verificato nei primi mesi del 2008 nel Comune di Narcao, in prossimità del parco giochi.

- *Sinkhole* formed in the first month of the 2008 in Narcao village, near games park.

Pur non potendo stabilire un preciso legame tra emungimenti e fenomeni di collasso, è possibile una stretta correlazione tra queste due componenti.

Sembrerebbe che i primi fenomeni si siano manifestati nel momento in cui le miniere hanno aumentato i volumi d'acqua da emungere, contemporaneamente all'attivazione di pozzi ad uso idropotabile.

Nello stesso periodo le sorgenti presenti nell'area, tra le quali quella di Caput Acquis, sono state completamente prosciugate.

Attualmente, anche se gli emungimenti da parte delle coltivazioni minerarie sono cessati, il prelievo dai pozzi nella piana del Cixerri è ancora intenso, pertanto l'area di pianura compresa tra Iglesias e Villamassargia è ancora suscettibile a tali fenomeni e oggetto di studi e di monitoraggi.