

Stato dell'arte sul rischio Sinkhole nell'area del Basso Monferrato (TO)

State of art about Sinkhole in lower Monferrato (TO)

MARENCO A. (*) (**), DE LUCA TUPPUTI SCHINOSA F. (**),
GRAVINA T. (**)

RIASSUNTO - Il Basso Monferrato (TO) presenta litologie gessose di età Messiniana interessate da fenomeni carsici utilizzate per attività estrattive, insieme questi due fattori, rendono l'area predisposta all'apertura di *sinkhole*. Nel febbraio 2005, in località Moncalvo (Asti), a seguito di un fenomeno di *inrush* in una galleria di una cava di gesso, si è generato un *sinkhole*, questo evento ha evidenziato, come l'area possa essere interessata dal fenomeno ed i rischi connessi. Il presente lavoro espone lo stato dell'arte sul rischio *sinkhole* nell'area del Basso Monferrato, i fattori predisponenti e scatenati presenti nel territorio e gli studi/progetti in corso presso Istituzioni ed Università. Sulla base dell'analisi svolta vengono presentate alcune proposte per la caratterizzazione del territorio al fine di determinare il rischio da *sinkhole*, effettuare una corretta gestione del territorio, e predisporre piani di protezione civile adeguati.

PAROLE CHIAVE: *sinkhole*, carsismo, rischio *sinkhole*, estrazione di gesso, Basso Monferrato

ABSTRACT - In Lower Monferrato (TO) chalk lithology related to Messinian age were affected by karst phenomena and interested by mines, these evidence could be cause of sinkhole opening. In February 2005 in a gypsum quarry in Moncalvo (Asti) a sinkhole was generated as result of an inrush into a digging tunnel, this event have highlighted that Lower Monferrato could be affected by sinkhole risk. The aim of this study was to define state of the art about sinkhole risk in Lower Monferrato, in particular we focused on predisposing and triggering factors, ongoing projects and studies of institutions and universities. This research has thrown up many questions in need of further investigation on territory characterization in order to prevent sinkhole risk and to provide a land management and appropriate civil protection plans.

KEY WORDS: sinkhole, karst, sinkhole risk, chalk quarry, lower Monferrato

1. – INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il Basso Monferrato si colloca nella parte nord-orientale del sistema collinare centrale del Piemonte, e si estende in destra orografica del fiume Po. Dal punto di vista geomorfologico, i rilievi collinari, le dorsali ed il reticolato idrografico dell'area mostrano uno sviluppo plano-altimetrico molto articolato e complesso, in stretto rapporto con l'evoluzione geodinamica del substrato roccioso pre-quadernario e con il suo assetto lito-strutturale (DELA PIERRE *et alii*, 2003). In linea generale, la morfologia del territorio è caratterizzata da rilievi collinari e dorsali con acclività moderata e fondovalle ampi sovradimensionati rispetto ai modesti corsi d'acqua che li percorrono. L'area del Basso Monferrato era considerata fino ad alcuni anni fa come un unico dominio contrapposto a quello delle Langhe (fig. 1), oggi viene suddivisa in due domini stratigrafico-strutturali distinti, noti come "Collina di Torino" ad ovest, e "Monferrato" ad est, che differiscono per la successione stratigrafica e l'assetto strutturale (NOVARETTI *et alii*, 1995; POLINO *et alii*, 1995).

I due domini sono separati da una zona di taglio transpressiva ad orientazione NNW-SSE ampia diversi chilometri (Zona di Deformazione del Rio Freddo), che ha controllato la sedimentazione della successione oligomiocenica del Monferrato (DELA PIERRE *et alii*, 2003). Le litologie affioranti nell'area ricadono nel dominio paleogeografico noto in letteratura come Bacino Terziario Piemontese (fig. 1), dove si distinguono tre principali domini strutturali

(*) Provincia di Asti, Servizio Ambiente Piazza Vittorio Alfieri 33, 14100 Asti

(**) Università Telematica Guglielmo Marconi, Dipartimento di Meccanica e Impianti, Facoltà di Scienze e Tecnologie Applicate, Via Plinio, 44, 00193 Roma
t.gravina@unimarconi.it

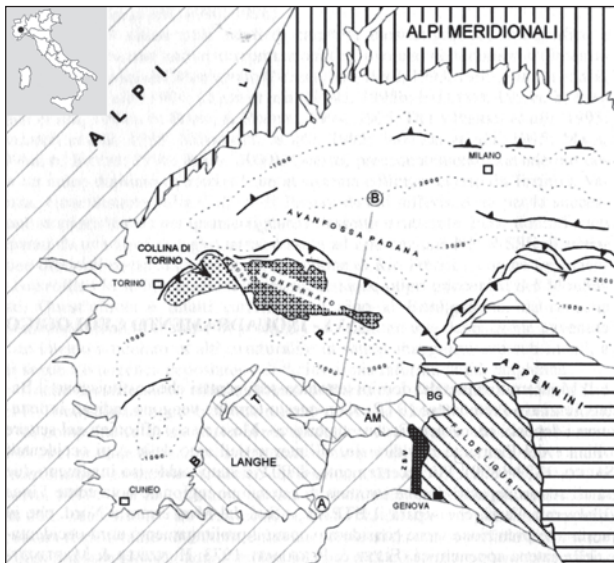


Fig. 1 - Schema strutturale dei bacini terziari nella zona di giunzione tra Alpi ed Appennino (DELA PIERRE F. *et alii*, 2003); LI: Lina Insubrica; LVV: Linea Villalvernia-Varzi; ZDRF: Zona di Deformazione del Rio Freddo; ZSV: Zona Sestri-Voltaggio; BTP: Bacino Terziario Piemontese; AM: Alto Monferrato; BG: Zona Borbera-Grue. Le linee tratteggiate indicano le isobate della base del Pliocene.

- Structural sketch of Tertiary basin in junction area between Alps and appennines LI: Insubric line; LVV: Villalvernia Varzi line; ZDRF: Deformation zone of Rio Freddo; ZSV: Sestri-Voltaggio zone; BTP: Tertiary Piedmont Basin; AM: Upper Monferrato; BG: Borbera-Grue zone. Dotted lines indicates isobaths early Pliocene.

(ACCATTINO *et alii*, 2008):

1. unità delle Langhe e della Collina di Torino, localizzato sopra substrato alpino (falde metamorfiche della catena cretaco-paleogenica);
2. unità tettonostratigrafiche del Monferrato, localizzato su substrato appenninico;
3. avampaese appenninico, sopra substrato insubrico, localizzato in profondità al di sotto dell'attuale Pianura Padana.

Il dominio regionale del Monferrato viene a sua volta suddiviso in due Unità tettono-stratigrafiche distinte, caratterizzate da successioni litostratigrafiche, denominate rispettivamente "Monferrato Occidentale" e "Monferrato Orientale" (DELA PIERRE, 2003). Le due successioni sono in contatto tettonico (Faglia di Castel Verrua) attraverso una faglia con direzione NNE-SSO a principale componente trascorrente sinistra. Nella successione del Monferrato Orientale è presente una minore deformazione ed una maggiore uniformità litostratigrafica rispetto al Monferrato Occidentale, dove la stratigrafia è eterogenea in seguito ad una evoluzione tettonica maggiormente articolata (ACCATTINO *et alii*, 2008).

La successione Messiniana è presente in entrambi i domini stratigrafico-strutturali, ma con facies differenti (FIORASO *et alii*, 2004):

- nel Monferrato il Messiniano è rappresentato da un intervallo caotico di sedimenti denominato Complesso Caotico della Valle Versa (CTV), che

ingloba depositi pre-evaporitici, evaporitici e post-evaporitici;

- nella Collina di Torino l'intervallo post-evaporitico costituito dai depositi di Lago-Mare, è solo in parte caotico, e sigilla un importante evento deformativo intra-Messiniano.

2. - SISTEMA CARSICO

Nell'ambito della successione messiniana del Bacino Terziario Piemontese sono state riconosciute delle manifestazioni carsiche (SACCO, 1889-1890, 1925; MARINELLI, 1917). La localizzazione e la tipologia delle manifestazioni carsiche riscontrate nel Monferrato e nella Collina di Torino appaiono strettamente dipendenti da un lato dall'assetto stratigrafico e strutturale localmente assunto dal CTV, dall'altro dall'entità dell'esumazione dei rilievi collinari intercorsa nell'intervallo pliocenico-quadernario. Tali fenomeni di dissoluzione possono essere inquadrati in un carso di interstrato (*intrastratal karst*; PALMER & PALMER, 1989; KLIMCHOUK, 1996), nel quale la solubilizzazione del gesso avviene al di sotto di una originaria coltre di copertura impermeabile. In particolare, l'assetto geometrico del CTV e i rapporti con le limitrofe unità affioranti nel Monferrato, hanno permesso di individuare le tre tipologie carsiche, distinte in base al grado di dissezione ed esposizione subaerea dell'intervallo gessoso, alla distribuzione tridimensionale e alla morfologia delle cavità di dissoluzione (FIORASO *et alii*, 2004):

- carso inciso (*entrenched karst*; KLIMCHOUK, 1996), nel quale i blocchi selenitici del CTV sono profondamente dissecati e drenati dal reticolato idrografico. Questa tipologia carsica si manifesta prevalentemente nella fascia di distribuzione del CTV al contatto con i termini più vecchi della successione terziaria e in prossimità del settore assiale della dorsale Collina di Torino - Monferrato: esempi di carso inciso sono visibili in corrispondenza delle cave di Murisengo, della Pirenta e di Moncuoco T.se (FIORASO *et alii*, 2004);

- carso subgiacente (*subjacent karst*; KLIMCHOUK, 1996), nel quale i termini evaporitici sono solo parzialmente dissecati dall'idrografia di superficie. Questa tipologia carsica interessa buona parte della successione messiniana affiorante nel Monferrato, in particolare i settori di Grana M.to, i Gessi di Moncalvo, e Montiglio (FIORASO *et alii*, 2004);

- carso profondo (*deep-seated karst*; KLIMCHOUK, 1996), interessa il CTV nelle sezioni non affioranti sigillato sotto la successione pliocenica monferrina di spessore superiore ai 40÷50 m. Questa morfologia si è riscontrata nella porzione più meridionale della cava in sotterraneo in Fraz. Gessi di Mon-

calvo viceversa si è ipotizzata in altre zone del Basso Monferrato quali Murisengo e Calliano (BORTOLAMI *et alii*, 2003; DELA PIERRE *et alii*, 2003).

Nell'area oggetto di studio sono state riconosciute, quali principali manifestazioni carsiche, sia cavità di dissoluzione che di riempimento (FIORASO *et alii*, 2004). Per quanto riguarda le cavità di dissoluzione, sono state rilevate in tutte le masse di gesso affioranti o subaffioranti nei rilievi del Monferrato. Sono presenti sia cavità epigee, ospitate nella fascia pellicolare della successione evaporitica al contatto con le coltri di copertura, sia cavità ipogee, individuate all'interno dei banchi gessosi, con una distribuzione spaziale e caratteri morfo-dimensionali ben distinti in relazione ai differenti meccanismi speleogenetici ed evolutivi che hanno operato e operano nei diversi punti del sistema carsico (FIORASO *et alii*, 2004).

MARCHIONATTI, 2014 ha studiato la circolazione idrica del sistema carsico del Nord-Est Astigiano; nel modello strutturato dall'autore, i gessi di Moncalvo sono classificati come sistema a dreni interconnessi (moderata velocità di flusso, acquifero sviluppato in una rete di condotti carsici di piccole e medie dimensioni, plausibile presenza di grandi vuoti sotterranei saturi d'acqua, anche in pressione, a causa degli elevati carichi idraulici che possono crearsi) ed i gessi di Calliano come sistema a circolazione dispersiva (bassa organizzazione di flusso, rete di piccole fratture e zone di discontinuità dell'ammasso gessoso, acquifero continuo di tipo poroso) (VIGNA, 2007; GALLEANI *et alii*, 2011).

3. – FATTORI PREDISPOSTI E SCATENANTI

In letteratura sono stati individuati i fattori predisponenti *sinkhole* (ISPRA, 2008), e tra questi nel Basso Monferrato sono stati riscontrati i seguenti:

- substrato carbonatico o di roccia solubile (rocce carbonatiche, rocce solfatiche o evaporitiche);
- copertura di sedimenti impermeabili o semi-impermeabili al tetto del substrato;
- scadenti caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali di copertura;
- fratture e faglie con circolazione idrica tra copertura e substrato;
- macroforme carsiche nel/al tetto del substrato;
- circolazione idrica sotterranea in pressione;
- oscillazione livello piezometrico.

Tra i fattori scatenanti elencati in letteratura (ISPRA, 2008) nell'area del Basso Monferrato si rilevano i seguenti:

- periodi di siccità o di abbondante piovosità;
- sismicità;
- attività di scavo;
- consistenti emungimenti dalla falda.

Tali fattori si distribuiscono in modo non uniforme sul territorio oggetto di studio, rendendo necessaria un'analisi. In via preliminare la concomitanza di più fattori si registra nei poli estrattivi del gesso presso Montiglio-Cocconato e Moncalvo-Calliano, interessati da intensa attività estrattiva in sotterraneo (fig. 2).

4. – EVIDENZE DI SINKHOLE

Nel Basso Monferrato si sono manifestati fenomeni di subsidenza e collasso superficiali che rientrano a pieno titolo nella fenomenologia dei *sinkhole*, (ISPRA 2008). In particolare si riscontrano:

- doline di subsidenza: si sono osservate depressioni chiuse o semiaperte, di forma subcircolare o ellittica, con un diametro massimo di circa 200 m (es. Pirenta di Murisengo) e una profondità non superiore ai 4÷5 m. La loro presenza è stata documentata in tutta l'area di affioramento del CTV (BOANO & FIORASO, 2002); in alcuni settori, quale quello compreso tra gli abitati di Cocconato e Montiglio, la densità dei fenomeni è così elevata da conferire ai versanti una complessa quanto irregolare morfologia a dossi e depressioni (fig. 3).

- doline di collasso: i fenomeni di collasso, osservati e segnalati nei settori di Montiglio, Murisengo e Guazzolo (fig. 4), sono causati dall'infiltrazione dei sedimenti di copertura siltoso-argillosi nei sottostanti condotti carsici ad opera di fenomeni di *piping* che inducono la formazione di cavità a cupola al contatto con i banchi di gesso (FIORASO *et alii*, 2004).

Nel febbraio 2005 a Moncalvo (Asti) in Frazione Gessi, all'interno di una galleria di scavo della cava sotterranea di gesso "Monferrato", a seguito dell'intercettazione di una frattura acquifera in pressione si è prodotto un fenomeno di *inrush* che ha a sua volta generato un *sinkhole* (fig. 5) dovuto a collasso di una camera principale carsica per effetto del deflusso di acqua (AMALBERTO *et alii*, 2006; BONETTO *et alii*, 2008; BANZATO *et alii*, 2010; MARCHIONATTI, 2014; VIGNA *et alii*, 2010). L'elemento scatenante del *sinkhole* di Moncalvo è di origine antropica, ma data la presenza di fattori predisponenti e scatenanti non è da escludere in futuro un innesco del fenomeno dovuto alla presenza nell'area di cavità carsiche.

5. – RISCHIO SINKHOLE

Negli ultimi anni, varie amministrazioni pubbliche si sono interessate al rischio da *sinkhole* nel Basso Monferrato. La Regione Piemonte, attraverso la previsione di cautele in relazione alle for-

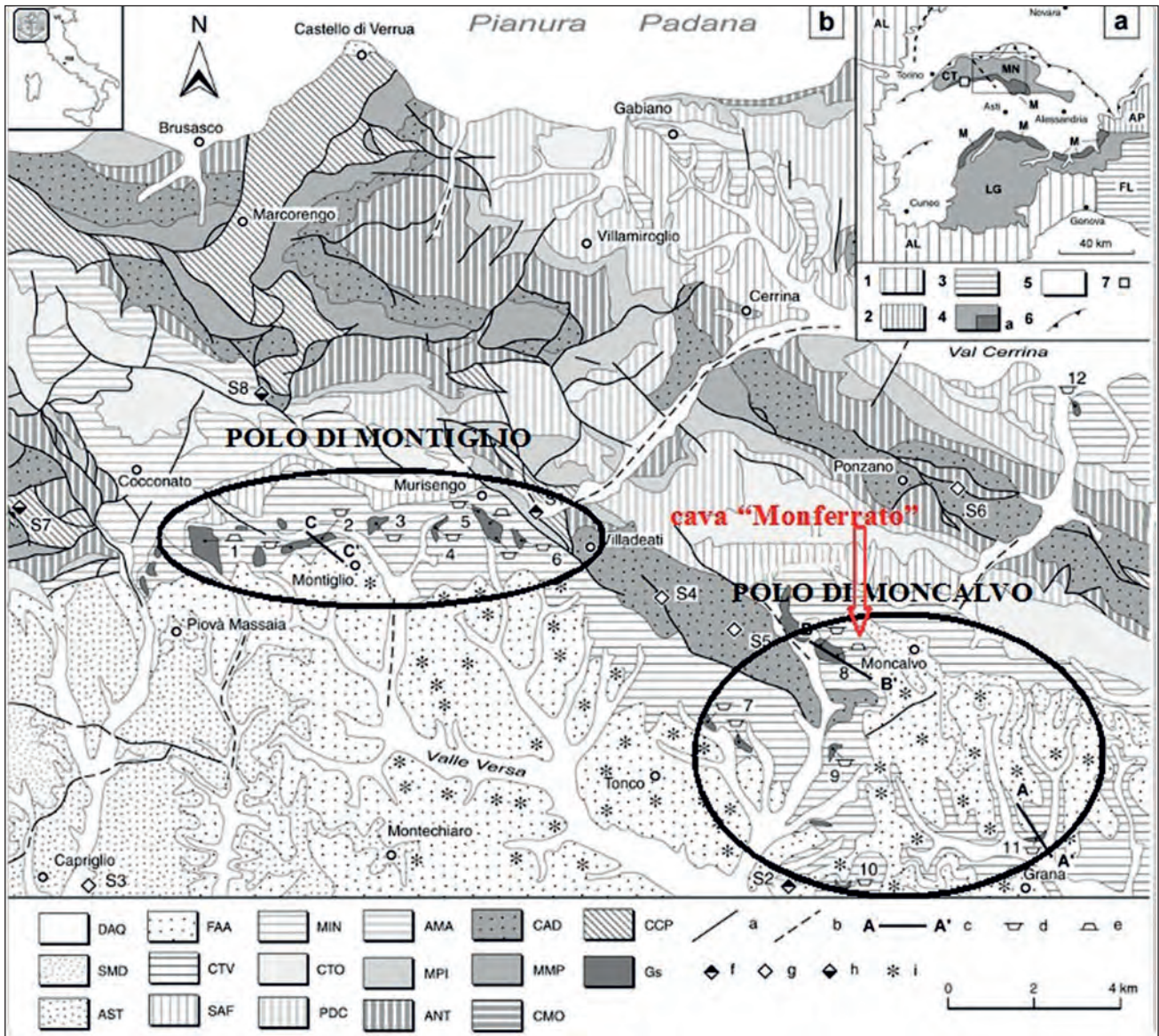


Fig. 2 - Inquadramento geologico dell'area di studio con localizzazione delle cave nel Basso Monferrato (FIORASO, 2004 modificata), a) Inquadramento geologico dell'area di studio. 1: Catena alpina (AL); 2: Catena appenninica (AP); 3: Falde liguri (FL); 4: Bacini sedimentari paleogenico-neogenici su substrato alpino (CT = Collina di Torino; LG = Langhe) e appenninico (MN = Monferrato); 4a: successione messiniana (M); 5: sedimenti pliocenico-quadernari; 6: fronti di sovrascorrimento; 7: cava di Moncuoco T.se., b) Schema geologico del Monferrato settentrionale. DAQ: depositi alluvionali quaternari; SMD: Sabbie di Ferrere, Silt di S. Martino e Unità di Morialdo ("Villafranchiano" Auct.); AST: Sabbie di Asti; FAA: Argille Azzurre; CTV: Complesso Caotico della Valle Versa ("Formazione Gessoso-solfifera" Auct.); SAF: Marne di S. Agata Fossili; MIN: Marne di Micengo; CTO: Areniti di Tonengo; PDC: Pietra da Cantoni; AMA: Arenarie di Moransengo; MPI: Marne a Pteropodi inferiori; ANT: Formazione di Antognola; CAD: Formazione di Cardona; MMP: Marne di Monte Piano; CMO: Formazione di Casale Monferrato; CCP: Complesso Caotico di La Pietra; Gs: principali affioramenti di gesso. a: faglie; b: faglie incerte o sepolte; c: traccia delle sezioni geologiche; d - e: cave attive e inattive (1 = Banengo; 2 = Montiglio; 3 = Corziagno; 4 = Bricco; 5 = Murisengo; 6 = Pirenta; 7 = Borghi; 8 = Gessi di Moncalvo; 9 = Verginetto; 10 = C.ne Pietra; 11 = Grana M.to; 12 = Madonnina); f: sorgenti cloruro- e solfato-calciche (S1 = Pirenta di Murisengo; S2 = Calliano); g: sorgenti bicarbonato-calciche e magnesiache (S3 = Capriglio; S4 = Lussello; S5 = Alfiano Natta; S6 = Ponzano); h: sorgenti cloruro-sodiche (S7 = Passerano Marmorito); i: principali lembi di depositi fluviali terrazzati.

- Geological framework of studied area with localization of chalk quarry (Fioraso, 2004 modified), a) 1: Alps (AL); 2: Appennines (AP); 3: Ligurian folds (FL); 4: Sedimentary basin paleogene-neogene on alps substrate (CT = Torino bill; LG = Langhe) and appenninic (MN = Monferrato); 4a: Messinian succession (M); 5: plio-quaternary sediments 6: overthrust front; 7: Moncuoco T.se quarry; b) Geological sketch of northern Monferrato DAQ: quaternary alluvial deposits; SMD: Ferrere sands, S. Martino Silt and Morialdo Unit ("Villafranchiano" Auct.); AST: Asti sands; FAA: Blue Clay; CTV: Chaotic complex of Valle Versa ("Gessoso-solfifera formation" Auct.); SAF: S. Agata Fossili marlstone; MIN: Micengo marlstone; CTO: Tonengo sandstone; PDC: Cantoni rock; AMA: Moransengo Sandstone; MPI: lower Pteropodi marlstone; ANT: Antognola Formation; CAD: Cardona Formation; MMP: Monte Piano lower marlstone; CMO: Casale Monferrato Formation; CCP: Chaotic complex: La Pietra; Gs: principal chalk outcrops. a: faults; b: uncertain or hidden fault; c: geologic section lines; d - e: active and inactive quarry (1 = Banengo; 2 = Montiglio; 3 = Corziagno; 4 = Bricco; 5 = Murisengo; 6 = Pirenta; 7 = Borghi; 8 = Gessi di Moncalvo; 9 = Verginetto; 10 = C.ne Pietra; 11 = Grana M.to; 12 = Madonnina); f: chloride, calcium sulfide spring (S1 = Pirenta di Murisengo; S2 = Calliano); g: bicarbonate, calcium, magnesium springs (S3 = Capriglio; S4 = Lussello; S5 = Alfiano Natta; S6 = Ponzano); h: chloride, sodium springs (S7 = Passerano-Marmorito); i: principal fluvial terrace deposit.

mazioni evaporitiche nel Documento Programmatico delle Attività Estrattive - Terzo Stralcio – Materiali per uso industriale (DPAE III) (REGIONE PIEMONTE, 2009) e la Provincia ed i Co-

muni astigiani con studi di approfondimento e prescrizioni, nell'ambito di procedimenti di autorizzazione e di valutazione ambientale relativi a cave in sotterraneo.



Fig. 3 - Dolina attribuite a subsidenza (Frazione Vastapaglia di Coconato, Asti).
- *Doline due to Subsidence (Frazione Vastapaglia di Coconato, Asti).*



Fig. 4 - Dolina di collasso di circa 70 m di diametro impostata al contatto tra il Membro siltoso-argilloso delle Argille Azzurre e il CTV, fra gli abitati di Coconato e Montiglio. (FIORASO *et alii*, 2004).
- *Collapse doline of 70 m diameter set up in contact between silt-clay member of Blue clay formation and CTV, placed between Coconato and Montiglio (FIORASO et alii, 2004).*

Ciò nonostante ad oggi il rischio da *sinkhole* nel Basso Monferrato non è completamente definito ed in particolare non è considerato in modo specifico nei programmi di previsione e prevenzione predisposti dalle autorità competenti. Da una prima analisi dei dati reperiti nella presente ricerca il rischio sembra circoscritto a limitate porzioni del territorio del Basso Monferrato, dove si trovano cave sotterranee attive o inattive, i segnali riscontrati permettono di ipotizzare un livello di rischio medio. I fattori di rischio riscontrati sono differenti e distribuiti in modo eterogeneo nel territorio per-

mettendo di ipotizzare una differente situazione di pericolosità. L'area del Basso Monferrato è caratterizzata da una urbanizzazione diffusa, con insediamenti singoli o piccoli nuclei rurali isolati, le infrastrutture a rete (viabilità, acquedotti, gasdotti, linee elettriche e telefoniche) sono capillari e diffuse in tutta l'area interessata, comportando un aumento dell'esposizione al rischio *sinkhole*. Le caratteristiche di pericolosità ed esposizione rendono fondamentale la precisa e puntuale determinazione dei valori di rischio per tutta l'area del Basso Monferrato.

6. – AZIONI DI PREVISIONE E PREVENZIONE IN CORSO

Nell'area oggetto di studio una prima attività di prevenzione del rischio da *sinkhole* è stata svolta grazie alle valutazioni a supporto di procedimenti autorizzativi per le attività estrattive.

La Provincia di Asti a partire dal 2011, in sede di varie conferenze dei servizi volte all'autorizzazione od al rinnovo autorizzativo di cave in sotterraneo localizzate in Comuni nell'area in oggetto, ha richiesto ai proponenti specifici studi volti alla definizione di programmi di monitoraggio della variazione della quota topografica (*DETERMINAZIONE DIRIGENZIALE DELLA PROVINCIA DI ASTI N. 5735*



Fig. 5 - Sinkhole di Moncalvo.
- *Moncalvo Sinkhole.*

DEL 18.11.2011). Dagli atti non risulta ancora essere stata esplicitata una metodologia per procedere nell'attuazione di questi programmi.

Nel 2014 la Provincia di Asti ha attivato un programma di monitoraggio dei livelli idrici nell'area di concentrazione di alcune cave in sottoterraneo del Basso Monferrato Astigiano. Tale programma è stato inserito nelle prescrizioni autorizzative di rinnovo ed ampliamento di una cava in sottoterraneo dell'area, dunque con oneri a totale carico del titolare dell'autorizzazione (*DETERMINAZIONE DIRIGENZIALE DELLA PROVINCIA DI ASTI N. 2280 DEL 4.6.2014*). La prescrizione è scaturita in esito agli approfondimenti richiesti al proponente durante i lavori procedurali ed in particolare sulla scorta di uno studio idrogeologico redatto dal Politecnico di Torino–Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture, basato su una specifica campagna di monitoraggio (FIORUCCI & VIGNA, 2013). Dallo studio risultano valutazioni ai nostri fini interlocutori che, pur non evidenziando situazioni di rischio conclamato, rappresentano la necessità di attività di monitoraggio specifiche che verranno svolte, appunto, nell'ambito della prescrizione inserita nell'atto autorizzativo. Una seconda linea di azione è riconducibile alle attività preliminari necessarie per la costituzione di un sistema di coordinamento tra i vari soggetti interessati ai gessi del Basso Monferrato.

In ultimo, nel marzo 2014, la Provincia di Asti ha portato a compimento la stipulazione di una convenzione con l'Università di Torino – Dipartimento di Scienze della Terra per la realizzazione del Progetto “Il gesso da risorsa mineraria ed economica a patrimonio culturale del Monferrato Astigiano” nel cui ambito si rileva la volontà dei due soggetti di costituire un Osservatorio del Gesso di natura tecnico-scientifica che prevede il coinvolgimento della Regione Piemonte, dei Comuni interessati, degli operatori locali di Cave e di Assogesso (*DELIBERA DELLA GIUNTA PROVINCIALE N. 282 DEL 26/10/2012*).

7. – CONCLUSIONI E PROPOSTE PER IL FUTURO

L'analisi svolta a partire dall'inquadramento geologico, strutturale ed idrogeologico del Basso Monferrato evidenzia una pericolosità per apertura di *sinkhole* in particolare nelle aree di Moncalvo-Calliano e Montiglio-Cocconato (v. fig. 2) interessate da attività minerarie in sottoterraneo e residenzialità diffusa. I dati reperibili in letteratura scientifica sono una base per la previsione e prevenzione dei rischi naturali da parte delle autorità competenti.

Nello specifico, al fine di svolgere un'attività di previsione di apertura di *sinkhole* nel Basso Monferrato occorre:

- effettuare un censimento dei dati geologico-strutturali e dei rilievi delle cavità sotterranee esistenti (con particolare riferimento ai vuoti di cave dismesse);
- eseguire campagne di indagine geostrutturali e geognostiche;
- modellizzare la circolazione idrica sotterranea in tutta l'area;
- attivare una rete di monitoraggio delle quote topografiche.

Queste azioni potranno essere poste a carico degli operatori economici che gestiscono attività interferenti con il rischio *sinkhole*, in particolare dei titolari delle cave in sottoterraneo presenti nell'area. Sulla scorta delle iniziative già avviate (paragrafo 8) queste attività potranno essere realizzate in fase di valutazione ed autorizzazione iniziale o di rinnovo e variante, sia in fase di esercizio delle attività estrattive. L'insieme di queste attività potrà costituire un vero e proprio Osservatorio locale sul rischio *sinkhole* che potrà essere oggetto di un accordo tra Autorità competenti e operatori economici, realizzando una reale *risk governance*. L'accordo dovrebbe coinvolgere anche Organi Tecnici quali l'Arpa Piemonte e Enti di ricerca quali Dipartimenti ed Istituti universitari, in modo da ottenere un elevato rendimento del lavoro di raccolta dati in termini di analisi scientifica, a tutto vantaggio sia delle Autorità competenti (per l'istruttoria dei procedimenti) sia degli operatori economici (agevolati nella redazione degli studi previsti a loro carico in detti procedimenti). Un tale approccio, integrato e cooperativo, permetterebbe di attivare l'aggiornamento dei dati e la reciproca utilità dell'Osservatorio per tutte le tre categorie di soggetti coinvolti, costituendo la base per l'attività di previsione.

In particolare possono essere approfondite le attività di valutazione (sia VIA che VAS) e monitoraggio ambientale riguardanti le numerose attività di cava in sottoterraneo che interessano la formazione gessosa del Basso Monferrato. Al pro-

posito ricordiamo che i procedimenti di VIA prevedono un'attività approfondita di analisi basata sullo Studio di Impatto Ambientale, oggetto di un processo di valutazione costruito sull'interazione tra il proponente, le Autorità competenti al rilascio delle autorizzazioni all'impianto in valutazione nonché le altre Autorità competenti in materia ambientale (*TESTO UNICO AMBIENTALE, D.LGS. 152/2006 – PARTE SECONDA*). In tale studio, per gli interventi previsti in aree a rischio *sinkhole*, si dovrà porre particolare attenzione a tutti gli aspetti collegati direttamente o indirettamente ai fattori predisponenti e scatenanti i *sinkhole* (*MARENGO A., 2014 inedita*):

Matrice acqua:

- analisi di soggiacenza della falda;
- circolazione idrica sotterranea;
- caratteristiche idrogeochimiche delle acque sotterranee;
- indagini geognostiche volte ad indagare vuoti carsici (cavità o condotti) e/o fratture/micr fratture con presenza di acqua;

Matrice sottosuolo:

- rilievo geostrutturale;
- prove di caratterizzazione fisica (peso di volume, velocità onde elastiche);
- prove di caratterizzazione meccanica (compressione monoassiale e triassiale, deformabilità, resistenza a trazione e a taglio);
- stabilità dei vuoti sotterranei, esistenti o in progetto, per la valutazione di fenomeni di subsidenza indotta e di sfornellamenti a giorno mediante, ad esempio:
- simulazione numerica al calcolatore con il metodo delle differenze finite;
- analisi deformativa delle gallerie di coltivazione mineraria eventualmente preesistenti e dei diaframmi che le separano per quantificare numericamente i valori di spostamento massimi prevedibili per le gallerie ed i diaframmi;
- analisi dei vuoti sotterranei delle cave attive, inattive o dismesse limitrofe (appartenenti anche ad altri operatori economici diversi dal proponente l'intervento in valutazione);
- indicazioni e valutazioni in merito al recupero finale dei vuoti di cava con particolare riferimento all'ipotesi di allagamento programmato e/o progressivo per venuta d'acqua naturale.

In esito alle valutazioni ambientali, le Autorità competenti dovrebbero promuovere direttamente o mediante prescrizioni all'esercizio delle attività autorizzate:

- lo studio della circolazione sotterranea di dettaglio relativo all'intero areale ove sono presenti cave attive, inattive o dismesse mediante la predisposizione di piezometri opportunamente localizzati;

- la modellizzazione della circolazione sotterranea di cui sopra;
- la definizione di una metodologia di analisi satellitare, della superficie topografica dell'intero areale interessato dalle cave attive, inattive o dismesse;
- l'attivazione, anche sperimentale, del monitoraggio della quota topografica mediante le tecnologie di rilevamento satellitare di cui sopra oppure di rilievi geodetici di precisione.

Per quanto riguarda le azioni di protezione civile, è necessario un aggiornamento dei Piani di Protezione Civile comunali e provinciali che interessano l'area del Basso Monferrato, al fine di prendere in considerazione anche il rischio *sinkhole*. In una prima fase, sarebbe opportuno individuare, per le zone che presentano fattori predisponenti e scatenanti *sinkhole*, attività non strutturali da svolgersi in chiave preventiva, con un minimo di indicazioni operative per la popolazione ed il sistema locale di Protezione Civile. In tal senso sarebbe utile un'azione di impulso della Regione Piemonte mediante l'emanazione di linee guida affinché i Comuni possano procedere agevolmente almeno a questo primo aggiornamento, pur di tipo speditivo.

BIBLIOGRAFIA

- ACCATTINO G., BIOLATTI G. & DOSIO P. (2008) - *Variante al progetto di coltivazione mineraria cava di gesso in sottterraneo "Franca" sita in località "Pietra" del Comune di Calliano (AT)*. Torino.
- AMALBERTO S., BANZATO C., CIVITA M., FIORUCCI A. & VIGNA B. (2006) - *L'inrush nella cava di gesso di Moncalvo (Asti)*. In: Proc. Conf. GEAM "Le cave in sottterraneo": 107-112, Torino.
- BANZATO C., FIORUCCI A., GIANOTTI A., DE WAELE J. & VIGNA B. (2010) - *Risk of groundwater inrush in subterranean gypsum quarries: the case study of Moncalvo near Asti (North Italy)*. EGU General Assembly, 5, pp. 9272.
- BOANO P. & FIORASO G. (2002) - *Cavità di dissoluzione e fenomeni di sprofondamento nei gessi del Monferrato settentrionale: meccanismi genetici ed effetti sulla stabilità dei versanti*. GEAM, 107: 19-26, 57-67, Torino.
- BONETTO S., FIORUCCI A., FORNARO M. & VIGNA B. (2008) - *Subsidence hazards connectet to quarrying activities in karst area: an updating of the Moncalvo sinkhole evento (Piedmont-NW Italy)*. Estonian Journal Of Earth Sciences, 57(3): 125-134.
- BORTOLAMI G., MASCIOTTO L., DE VECCHI PELLATI R., RICCI B. & SAUDINO DUGHERA B. (2003) - *Le sorgenti della Collina di Torino e del Monferrato*. GEAM, 108: 77-82.
- DELA PIERRE F., PIANA F., FIORASO G., BICCHI E., FORNO M.G., VIOLANTI D., CLARI P. & POLINO R. (2003) - *Note Illustrative del Foglio n. 157 "Trino" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000*. APAT, pp. 157, Roma.
- DELIBERA DELLA GIUNTA PROVINCIALE DI ASTI N. 282 DEL 26/10/2012.
- DETERMINAZIONE DIRIGENZIALE DELLA PROVINCIA DI ASTI N. 5735 DEL 18.11.2011.
- DETERMINAZIONE DIRIGENZIALE DELLA PROVINCIA DI ASTI N. 2280 DEL 4.6.2014.

- FIORASO G., BICCHI E., IRACE A. & BOANO P. (2004) - *Manifestazioni carsiche nelle evaporiti messiniane del Monferrato e della Collina di Torino (Italia nord-occidentale): analisi dei meccanismi genetici nel quadro dell'evoluzione pliocenico-quadernaria del Bacino Terziario Piemontese*. Il Quaternario, **17**, (2/2): 453-476.
- FIORUCCI A. & VIGNA B. (2013) - *Studio idrogeologico relativo alla cava di gesso in sottoterraneo "Franca" nel Comune di Calliano di proprietà della Fassa S.p.A.* Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture, Politecnico di Torino, pp. 116, Torino.
- GALLEANI L., VIGNA B., BANZATO C. & LO RUSSO S. (2011) - *Validation of a Vulnerability Estimator for Spring Protection Areas: The VESPA index*. Journal of Hydrology, **396**: 233-245.
- KLIMCHOUK A. (1996) - *The typology of gypsum karst according to its geological and geomorphological evolution*. In: Klimchouk A., Lowe D., Cooper A., Sauro U. (Eds.), *Gypsum karst of the world*. International Journal of Speleology, **25** (3-4): 61-82.
- MARCHIONATTI F. (2014) - *L'integrazione dei grandi scavi in sottoterraneo con gli acquiferi*. Politecnico di Torino, Tesi di Dottorato di Ricerca in Ambiente e Territorio, pp. 294, Torino.
- MARENGO A. (2014) - *La percezione del rischio da sinkholes nel Basso Monferrato*. Università Guglielmo Marconi, Tesi di Laurea Triennale in Scienze Geo-Cartografiche Estimative ed Edilizie, pp. 251, Roma.
- MARINELLI O. (1917) - *Fenomeni carsici nelle zone gessose d'Italia*. Memorie Geografiche di Giotto Danielli, **34**: 263-416.
- NOVARETTI A., BICCHI E., CONDELLO A., FERRERO E., MAIA F., TONON M. & TORTA D. (1995) - *La successione oligo-miocenica del Monferrato: sintesi dei dati biostratigrafici*. In: R. POLINO & R. SACCHI (Eds.): *Atti del Convegno Rapporti Alpi-Appennino e guide alle escursioni*, Peveragno (Cn), giugno 1994. Acc. Naz. Scienze Detta dei 9, Scritti e documenti, **14**: 39-59, Roma.
- PALMER M.V. & PALMER A.N. (1989) - *Paleokarst of the United States*. In: P. BOSAK, D.C. FORD, J. GLAZEK & I. HORACEK (Eds.), *Paleokarst, a systematic and regional review*. Developments in Earth Surface Processes, **1**, pp. 725.
- POLINO R., CLARI P., CRISPINI L., D'ATRI A., DELA PIERRE F., NOVARETTI A., PIANA F., RUFFINI R. & TIMPANELLI M. (1995) - *Relazioni tra zone di taglio crostali e bacini sedimentari: l'esempio della giunzione alpino-appenninica durante il terziario*. Guida all'escursione in Monferrato e nella zona Sestri-Voltaggio, Acc. Naz. Sc., **14** (1994), Atti convegno rapporti Alpi-Appennino, Peveragno, pp. 531-593, Roma.
- REGIONE PIEMONTE (2009) - *Documento di Programmazione delle Attività Estrattive – Terzo Stralcio – Materiali per uso industriale*, Regione Piemonte, Torino.
- SACCO F. (1889-1890) - *Il Bacino Terziario e Quaternario del Piemonte*. In: Atti Società Italiana Scienze Naturali, pp. 624, Torino.
- SACCO F. (1925) - *Un zona gessosa presso Chieri (Torino)*. In: Atti Accademia delle Scienze di Torino, **61**: 123-129, Torino.
- TESTO UNICO AMBIENTALE, D.LGS. 152/2006 – PARTE SECONDA.
- VIGNA B. (2007) - *Schematizzazione e funzionamento degli acquiferi in rocce carbonatiche*. In: Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia - Serie Geologica e Geofisica, **19**: 21-26, Bologna.
- VIGNA B., FIORUCCI A., BANZATO C., FORTI P. & DE WAELE, J. (2010) - *Hypogene gypsum karst and sinkhole formation at Moncalvo (Asti, Italy)*. In: Zeitschrift fur Geomorphologie, **54**, (Suppl. 2): 285-306, Stuttgart.
- WEBGRAFIA
- ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2008) - *Database Nazionale Sinkhole-Progetto Sinkhole*. <http://sgi2.isprambiente.it/sinkhole/Default.htm> [ultimo accesso 30 ottobre 2014]
- PROVINCIA DI ALESSANDRIA (2014) - *Piano di Protezione Civile della Provincia di Alessandria*. <http://www.protezionecivile.al.it/index.php> [ultimo accesso 30 ottobre 2014]
- PROVINCIA DI ASTI (2004) - *Piano Territoriale Provinciale di Coordinamento della Provincia di Asti*. <http://www.provincia.asti.gov.it/la-pianificazione-territoriale> [ultimo accesso 30 ottobre 2014]
- PROVINCIA DI ASTI (2006) - *Piano di Protezione Civile della Provincia di Asti*. <http://www.provincia.asti.gov.it/home-page-servizio> [ultimo accesso 30 ottobre 2014]