

PERICOLOSITÀ GEOLOGICA CONNESSA ALLA PRESENZA DI CAVITÀ SOTTERRANEE. ATTO DI INDIRIZZO DELL'AUTORITÀ DI BACINO DELLA PUGLIA

Antonio Fiore

Rischio Geologico – Autorità di Bacino della Puglia

E' noto che in numerosi centri storici, laddove le condizioni geologiche e geomorfologiche lo permettevano, venivano realizzati dall'uomo cavità nella roccia tenera. E' il caso dell'attività estrattiva in sotterraneo ai margini del centro storico di Canosa di Puglia che ha portato alla formazione di numerose cavità su più livelli, talvolta collegati da pozzi verticali, oggi inglobate dalla città in espansione. L'escavazione al di sotto delle abitazioni avveniva sia per prelevare materiale per riutilizzarlo nelle costruzioni, sia per ottenere vani "freschi" da adibire a deposito di derrate alimentari o stalle, rispecchiando quelle che erano le esigenze di una vita contadina autarchica. Quelle stesse cavità sono state utilizzate come rifugi durante i conflitti bellici dell'ultimo secolo, come ad esempio i "camminamenti" di Foggia.

Differente origine hanno altre cavità, altrettanto note, generate dal fenomeno carsico che riguarda le formazioni carbonatiche pugliesi e che da origine a spettacolari forme carsiche superficiali, i cosiddetti Puli (v. foto), e ad articolate forme ipogee. Di notevole interesse scientifico e sociale è, ad esempio, la grande cavità nella periferia di Castellana Grotte in provincia di Bari; un patrimonio geologico che ha trainato il settore del turismo scolastico-ambientale-scientifico dell'area. Nei pressi dei centri abitati i vuoti carsici sono utilizzati, in molti casi, come recapito delle acque superficiali urbane; in altri casi, ignorando la loro presenza nel sottosuolo, si sono costruiti quartieri periferici che oggi presentano criticità statiche legate alla insufficiente capacità delle calotte delle cavità a sostenere i carichi. Si sono verificati così improvvisi crolli come è accaduto nei centri abitati di Canosa di Puglia, Castellana Grotte,

Andria, Marina di Lesina, con conseguenze spesso tragiche.

Il crollo di una cavità è un vero e proprio evento calamitoso, indotto da cause naturali ma anche antropiche. In generale, il mutamento dell'uso di un territorio è uno dei fattori scatenanti i fenomeni di crollo delle cavità; le vibrazioni indotte dal traffico veicolare, i lavori di ampliamento dei vani nel sottosuolo, l'aumento del carico sul suolo dovuto alla necessità di soprelevare vecchie costruzioni, le perdite d'acqua dalle reti idriche e fognanti, sia pubbliche che private, sono cause antropiche che possono determinare un'evoluzione parossistica dei fenomeni di crollo e che trovano la loro drammaticità a causa delle strutture ed infrastrutture che vengono coinvolte. Le cause naturali che possono provocare crolli di vuoti carsici sono i terremoti e la stessa evoluzione dei fenomeni di dissoluzione, lenti nel caso di rocce carbonatiche e rapidi nel caso di depositi gessosi (caso di Marina di Lesina), ma inesorabili.

La complessità geologica del territorio pugliese si rispecchia nell'esistenza di aree geograficamente e geologicamente omogenee: l'Appennino Dauno, il Promontorio del Gargano, il Tavoliere, la Fossa Bradanica, le Murge e il Salento. Gli elementi geologico-strutturali fondamentali che li compongono sono tre: la Catena Appenninica, l'Avanfossa e l'Avampaese Apulo. In tutte le aree pugliesi esistono cavità nel sottosuolo, di origine antropica prevalentemente nella Catena e nell'Avanfossa e di origine carsica prevalentemente nell'Avampaese.

Tale realtà, diffusa in Puglia come in tutta Italia, ha spinto il Dipartimento di Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri a promuovere nel 2000, su tutto il ter-

ritorio nazionale, una prima ricognizione sui casi di dissesto derivanti da cavità sotterranee. Tale studio è consistito nel censimento e catalogazione, tramite apposite schede, dei dissesti legati alla presenza di cavità sia antropiche che naturali nel sottosuolo. Il censimento è stato avviato attraverso la raccolta di informazioni dai principali mezzi di comunicazione, dagli enti locali e da fonti tecnico/accademiche (articoli su riviste). Il censimento è stato aggiornato ed è confluito nel Progetto Sinkholes dedicato ai fenomeni catastrofici italiani che, nel 2004, ha visto la pubblicazione su piattaforma informatica di oltre 1000 casi, censiti con l'ausilio del Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche (www.sinkholes.it). Lo studio ha individuato nella Regione Puglia numerosi comuni interessati da fenomeni di dissesto derivanti da cavità sotterranee e precisamente: 9 per la Provincia di Bari; 4 per la Provincia di Brindisi; 10 per la Provincia di Foggia; 13 per la Provincia di Lecce; 3 per la Provincia di Taranto.

Anche l'APAT ha attivato un Progetto Sinkhole condotto dal Dipartimento Difesa del Suolo. Il progetto prevede una ricerca bibliografica ed una raccolta dei dati finalizzati al censimento di sinkhole, intesi come sprofondamenti naturali formati nelle aree di pianura, su sedimenti alluvionali di rilevante potenza giacenti su basamento carbonatico carsificabile, ed alla ricostruzione della morfologia delle cavità, nonché al contesto geologico-strutturale, geomorfologico ed idrogeologico a contorno.

E' bene precisare che il progetto dell'APAT ha escluso dal proprio progetto gli sprofondamenti causati dal crollo di cavità antropiche e di cavità carsiche, che colpiscono la maggior parte del territorio pugliese.

I censimenti avviati a livello nazionale hanno fatto riaccendere l'attenzione su un problema che in Puglia è noto da anni. L'Autorità di Bacino della Puglia, nell'ambito delle attività di prevenzione e mitigazione della

pericolosità geomorfologica, ha acquisito l'elenco dei censimenti nazionali e le informazioni che gli enti locali hanno fornito sia per perimetrare aree con presenza di vuoti nel sottosuolo (PG3), che zone con alta probabilità di presenza di vuoti nel sottosuolo (PG2). Per le aree già perimetrare e per quelle che saranno perimetrare successivamente, l'Autorità di Bacino, nell'ambito delle attività di pianificazione e programmazione delle azioni e delle norme finalizzate alla conservazione, difesa e valorizzazione del suolo sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio, ha predisposto un "Atto di indirizzo per la messa in sicurezza dei territori a rischio cavità sotterranee" (v. allegato). Tale atto prevede l'aggiornamento dell'elenco di aree interessate dalla presenza di cavità o potenzialmente interessate da crolli di cavità sotterranee - che sarà condotto con la preziosa collaborazione dei Comuni - e introduce specifiche norme tecniche che prevedono, ad esempio, specifiche indagini geognostiche preventive, ovvero propedeutiche alla realizzazione di strutture.

L'atto di indirizzo interessa attualmente i soli Comuni della Regione Puglia che ricadono nel territorio di competenza dell'AdB della Puglia e non i Comuni pugliesi ricadenti nell'AdB della Basilicata, nell'AdB dei fiumi Trigno, Biferno e minori, Saccione, Fortore e nell'AdB dei Fiumi Liri, Garigliano e Volturno, interessati anch'essi dalle stesse problematiche.

BIBLIOGRAFIA

AA.VV.(2000) Atti del Convegno, "Le voragini Catastrofiche, Un nuovo problema della Toscana", Grosseto, 2000. Regione Toscana.

AA.VV.(2004) Riassunti delle Comunicazioni, Seminario "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio", Roma, 2004. APAT - Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici, Dipartimento Difesa del Suolo.

www.adb.puglia.it

www.sinkholes.it

ALLEGATO

**ATTO DI INDIRIZZO PER LA MESSA IN SICUREZZA
DEI TERRITORI A RISCHIO CAVITÀ SOTTERRANEE**

(Approvato nella seduta del Comitato Tecnico dell'AdB della Puglia del 25 luglio 2006)

Visto la Legge 183/89

Visto la Legge 267/98

Visto il DPCM 29/9/98

Visto la Legge Regionale 19/02

Visto la Deliberazione del C.I. della Autorità di Bacino della Puglia di approvazione del PAI, n. 39 del 30/11/2005

PREMESSA

Nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino (AdB) della Puglia sono stati individuati diversi casi, più o meno gravi, di dissesto idrogeologico legato al possibile sprofondamento di cavità naturali ed antropiche presenti nel sottosuolo. Poiché tale situazione può essere causa di pericolo per la popolazione, si è reso necessario predisporre il seguente atto di indirizzo relativo alla definizione degli interventi per la disciplina, il controllo, la salvaguardia e la sistemazione delle aree instabili o potenzialmente instabili a protezione degli abitati e delle infrastrutture. Gli interventi devono essere indirizzati all'uso di modalità che privilegino la valorizzazione ed il recupero delle caratteristiche naturali del territorio.

L'AdB della Puglia avvia le procedure di concertazione con i Comuni di cui all'Art. 1, ed altri che nelle fasi di approfondimento ed aggiornamento del PAI evidenzino situazioni di analoghe criticità, al fine di definire il grado di pericolosità associato alla presenza di cavità nel sottosuolo.

ARTICOLO 1

Allo stato attuale risultano esposti al pericolo sprofondamenti da cavità sotterranee i Comuni sotto elencati, la maggior parte proviene dal censimento all'uopo predisposto dal Dipartimento Nazionale di Protezione Civile (www.sinkholes.it). (*v. tabella*)

Per tali Comuni, sulla base delle informazioni acquisite, l'AdB della Puglia ha proceduto e procederà alla perimetrazione delle aree a pericolosità geomorfologica conseguente alla presenza di cavità sotterranee.

**ARTICOLO 2
DEFINIZIONI**

Pericolo di voragine o sprofondamento: si definisce il potenziale pericolo che, per effetto di sprofondamenti, possano originarsi voragini e/o subsidenze per crollo di cavità sotterranee.

Cavità sotterranea: si definisce tale qualunque vuoto di origine naturale o antropica presente nel sottosuolo.

Per tutte le altre definizioni si rimanda all'art. 36 delle NTA allegato al PAI approvato.

ARTICOLO 3**PROCEDURE PER INTERVENTI ESEGUITI IN AREE A PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA CONSEGUENTE ALLA PRESENZA DI CAVITA' SOTTERRANEE**

1) In riferimento agli interventi consentiti nelle aree PG così come riportati nelle NTA del PAI dell'Autorità di Bacino della Puglia, il parere di conformità ai contenuti e alle prescrizioni del PAI dovrà essere richiesto secondo le modalità dell'Art. 26 delle NTA. Lo studio di compatibilità geologica e geotecnica deve essere sempre redatto secondo le modalità di cui al successivo art. 4.

1.1) In particolare, in riferimento agli interventi consentiti nelle aree PG2, per le opere che prevedono

Comune	Provincia	Individuazione	Comune	Provincia	Individuazione
Lacedonia	Avellino	1	Acquatica del Capo	Lecce	1
			Alliste	Lecce	2, 3
Andria	Bari	1	Bagnolo del Salento	Lecce	1
Bari	Bari	1	Cavallino	Lecce	1
Binetto		1	Giugginello	Lecce	1
Canosa di Puglia	Bari	1, 2, 3	Melpignano	Lecce	1
Capurso	Bari	1	Nardò	Lecce	1
Castellana Grotte	Bari	1	Nociglia	Lecce	1
Minervino Murge	Bari	1	Presicce	Lecce	1
Polignano a Mare	Bari	1	Sannicola	Lecce	1
Spinazzola	Bari	1	Secli	Lecce	1
			Specchia	Lecce	1
Mesagne	Brindisi	1	Sternatia	Lecce	1
Oria	Brindisi	1	Surbo	Lecce	1
San Donaci	Brindisi	1	Uggiano la Chiesa	Lecce	1
San Michele Salentino	Brindisi	1			
			Faggiano	Taranto	1
Candela	Foggia	1	Manduria	Taranto	1
Deliceto	Foggia	1	Palagianello	Taranto	1
Foggia	Foggia	1			
Lesina (Marina di Lesina)	Foggia	1, 2, 3	Montemilone	Potenza	1
Orsara di Puglia	Foggia	1	Rapolla	Potenza	2, 3
Sant'Agata di Puglia	Foggia	1	Ripacandida	Potenza	1
Vieste	Foggia	1	Ruvo del Monte	Potenza	1
			Venosa	Potenza	1

1 Censimento DNPC; 2 Segnalazione ente; 3 AdB della Puglia.

un incremento del carico statico e/o del carico urbanistico, la richiesta del parere di compatibilità al PAI deve contenere oltre agli elaborati progettuali una perizia giurata, a firma del geologo, riguardante la situazione del sottosuolo, redatta sulla base di specifiche indagini geognostiche eseguite in situ.

Nel caso di individuazione di cavità sotterranee, di qualsiasi natura, la perizia dovrà contenere la planimetria delle stesse nella loro interezza, su aereofotogrammetrico comunale e su base catastale, estesa comunque alla proprietà immediatamente limitrofa, comprese le sedi stradali pubbliche, gli spazi pubblici o aperti al pubblico.

Qualora le cavità siano su vari livelli, la planimetria dovrà rappresentare tutti i livelli esistenti. La perizia dovrà inoltre contenere la descrizione dello stato di conservazione delle cavità ed il tipo di intervento che si intende proporre per le stesse.

Nel caso di rinvenimento di cavità nelle aree PG2 dovrà essere attivata subito, per le aree all'intorno, una indagine esplorativa; l'area della cavità individuata, estesa su tutti i lati ad una fascia di rispetto di almeno 30 metri, dovrà essere contestualmente ascritta a PG3.

Nell'ipotesi che sia prevista la conservazione delle cavità, in quanto giudicate in buono stato, le stesse dovranno sempre risultare accessibili e ben areate al fine di assicurare eventuali ispezioni e saranno oggetto di apposito impegno formale - riguardante la loro manutenzione nel tempo - da trasciversi come atto pubblico e da trasferirsi ad eventuali acquirenti delle unità immobiliari sovrastanti con i relativi atti

pubblici. Detto impegno dovrà estendersi anche alle parti delle cavità ricadenti al di sotto delle sedi stradali pubbliche, degli spazi pubblici o aperti al pubblico; per tali cavità dovrà essere redatto dal Comune un catasto e dovrà essere acquisita annualmente un'attestazione redatta congiuntamente da un Geologo e da Ingegnere/Architetto sullo stato di conservazione della cavità.

Nel diverso caso in cui le cavità sotterranee, a giudizio dei tecnici firmatari della perizia giurata, non si presentassero in buone condizioni di conservazione, le cavità dovranno essere oggetto di apposito progetto di consolidamento e/o bonifica. Il progetto di consolidamento e/o bonifica sarà oggetto di parere vincolante da parte dell'Autorità di Bacino sulla conformità degli interventi con gli indirizzi dalla stessa fissati. A seguito dell'intervento di consolidamento e/o bonifica, dovrà essere depositata ulteriore perizia giurata riguardante le procedure ed i materiali utilizzati. In particolare, in caso di riempimento la perizia dovrà accertare l'avvenuto totale riempimento, a perfetta regola d'arte e nel rispetto delle norme vigenti in materia, delle cavità ricadenti sia in area privata che al di sotto di aree pubbliche o aperte al pubblico immediatamente limitrofe.

Il Dirigente dell'Ufficio Tecnico comunale potrà imporre ulteriori prescrizioni che ritenesse necessarie per garantire la pubblica e privata incolumità. In ogni caso, gli interventi di nuova edificazione non potranno adottare sistemi fondali tali da compromettere o alterare l'equilibrio statico delle cavità sottostanti, nonché interagire negativamente con esse.

1.2) Nel caso in cui si sia proceduto al consolidamento statico delle cavità ricadenti in aree PG3, la richiesta di modifica delle perimetrazioni dovrà seguire le procedure individuate dall'articolo 25 delle NTA. All'istanza di modifica dovrà essere allegata una asseverazione, a firma del Direttore dei Lavori e del Geologo, corredata dai relativi elaborati, riguardante l'esito delle indagini geologico – tecniche e gli atti di collaudo degli interventi di consolidamento realizzati. Tale documentazione dovrà essere inviata anche al Comune.

La perizia giurata di cui al comma 1.1 del presente articolo deve seguire le indicazioni meglio specificate all'articolo 4.

ARTICOLO 4

CONTENUTI DELLO STUDIO DI COMPATIBILITA' GEOLOGICA E GEOTECNICA

Lo studio geologico e geotecnico di cui all'articolo 3 si deve articolare in due fasi come di seguito riportato.

1) FASE CONOSCITIVA

La definizione del grado di pericolosità geomorfologica conseguente alla presenza di cavità nel sottosuolo e l'individuazione degli interventi necessari per la bonifica e/o il consolidamento devono risultare dal modello geologico del sottosuolo, esteso ad una area significativa all'intorno, e dalla ricostruzione piano altimetrica delle cavità, ottenuti attraverso:

- a) dati da bibliografia, da lavori e da indagini già eseguite sul sito di interesse;
- b) rilievi geologici in campagna;
- c) indagini geognostiche.

1a) INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA DI STUDIO

La raccolta di studi, ricerche bibliografiche e dati storici dovrà consentire di effettuare:

- inquadramento geografico;
- inquadramento geologico e geologico strutturale;
- inquadramento geomorfologico;
- inquadramento idrogeologico;
- inquadramento sismico;
- inquadramento delle strutture ed infrastrutture presenti nell'area.

1b) CARATTERIZZAZIONE DEL SITO

La caratterizzazione del sito in maniera particolareggiata avviene attraverso:

- rilevamento geologico e strutturale;
- rilevamento delle discontinuità di masse rocciose (ove presenti);
- rilevamento piano altimetrico delle cavità;
- rilevamento idrogeologico;
- rilevamento delle strutture ed infrastrutture.

1c) **INDAGINI GEOGNOSTICHE**

La fase di rilevamento di superficie dovrà essere completata da una campagna di indagini mirate alla ricostruzione del modello geologico e idrogeologico del sottosuolo, alla caratterizzazione geotecnica o geomeccanica dei litotipi affioranti e, dove necessario, alla previsione e al controllo dell'evoluzione geomorfologica. Ciò si ottiene attraverso:

- indagini geognostiche di tipo diretto;
- indagini geognostiche di tipo indiretto;
- analisi in situ e/o in laboratorio per la parametrizzazione geotecnica o geomeccanica dei litotipi;
- monitoraggio e rilievi topografici.

Le indagini dirette, anche nel caso in cui interessino litotipi con buone caratteristiche geotecniche o geomeccaniche, devono essere estese alla parte del sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dall'opera. Nel caso in cui sia riconosciuta la presenza di cavità, le indagini dovranno essere spinte almeno 15 metri al di sotto del fondo del livello più basso di cavità individuate, al fine di accertare l'eventuale presenza di ulteriori livelli.

2) **ANALISI DEI DATI**

Le risultanze delle indagini condotte dovranno essere compiutamente analizzate e sintetizzate in una relazione illustrativa che dovrà contenere la descrizione della natura e dell'assetto dei litotipi cartografati, nonché del loro stato di degradazione e fatturazione e la definizione delle variazioni latero-verticali delle litologie individuate; nella medesima relazione dovranno, inoltre, essere descritti tutti gli elementi giacitureali e strutturali cartografati. Dovranno poi essere definite la geometria e le caratteristiche delle coltri di copertura (naturali/antropiche). Le stratigrafie rilevate sui fronti di scavo, sulle pareti naturali, nelle trincee geologiche e quelle ricostruite dai sondaggi dovranno essere ben descritte e rappresentate graficamente. Tutti gli elementi raccolti dovranno essere riportati nella "Carta geolitologica" e nelle "Sezioni geologiche", che dovranno essere in numero minimo di due, una secondo la direzione della massima pendenza e l'altra ortogonale ad essa. Le unità geolitologiche cartografate nella Carta geolitologica devono essere riferite alle formazioni riportate nelle carte geologiche ufficiali (scala 1:100.000 e scala 1:50.000).

Nel caso in cui l'area oggetto di indagine fosse interessata da versanti ripidi in rocce lapidee o in successioni stratificate a prevalente componente lapidea dovrà essere eseguito un rilievo strutturale per la descrizione qualitativa e quantitativa delle discontinuità.

Relativamente agli aspetti geomorfologici, devono essere descritte, oltre alle forme geomorfologiche rilevate, anche le forme delle cavità, il loro stato di conservazione, il loro sviluppo piano-altimetrico e lo stato di fessurazione della roccia al contorno. Nel caso in cui siano stati riconosciuti più livelli di cavità, le caratteristiche suddette devono essere individuate e descritte per ciascuno dei livelli rinvenuti.

La relazione illustrativa deve contenere anche lo studio idrogeologico dell'area con descrizione della circolazione idrica sotterranea e dei caratteri di permeabilità dei litotipi cartografati. Deve essere riportata su idonea cartografia la presenza di sorgenti, pozzi per acqua e piezometri; per i pozzi ed i piezometri devono essere indicati il livello statico ed il periodo a cui si riferiscono le misurazioni. Devono essere, inoltre, raccolte informazioni circa la stagionalità e le variazioni di portata delle sorgenti e/o del livello statico dei pozzi. Durante l'esecuzione dei sondaggi e dei fori da adibire a piezometri, massima attenzione dovrà essere posta all'eventuale rinvenimento dei livelli acquiferi che, eventualmente, dovranno essere riportati in relazione ed essere distinti dai livelli piezometrici. Inoltre, di tutti i pozzi/piezometri, al fine della ricostruzione della superficie piezometrica, deve essere indicata la quota dei boccapozzi. Tutte le informazioni raccolte, ivi compresa l'ubicazione dei piezometri installati, devono essere riportate nella "Carta idrogeologica".

La fase conoscitiva è integrata e completata dalla campagna di *indagini geognostiche*, da eseguirsi sia nella fase preliminare sia durante quella di rilievo in campagna. Il tipo di indagini programmate, la quantità, le metodologie adottate, oltre che la tipologia di strumentazione impiegata, devono essere riportati nella relazione; ad essa dovranno essere allegati i certificati e le rappresentazioni grafiche delle indagini eseguite e gli stralci delle indagini consultate, almeno per quelle parti di cui si è effettivamente tenuto conto. Tutte le fasi della campagna geognostica dovranno essere documentate da fotografie sia di tipo panoramico, che contestualizzano l'area dove si sono realizzate le indagini, che di dettaglio quali, ad esempio, delle cassette catalogatrici dei carotaggi.

E' bene precisare che le indagini geognostiche a corredo dello Studio devono essere eseguite per lo specifico incarico ed essere opportunamente ubicate sulla "Carta delle indagini consultate ed eseguite".

Le indagini geognostiche da svolgere devono necessariamente comprendere indagini di tipo diretto indispensabili per la ricostruzione delle successioni stratigrafiche, per la determinazione dello spessore delle coperture e delle cavità, per individuare la presenza di più livelli di cavità, per il prelievo dei campioni da sottoporre ad analisi geotecniche di laboratorio, per eseguire prove in foro e per l'istallazione dei sistemi di monitoraggio, oltre che per la taratura del modello geologico del sottosuolo derivante dalle indagini indirette. Il numero di indagini dirette da eseguirsi è funzione dell'estensione dell'area da caratterizzare e deve essere comunque sufficiente a consentire la ricostruzione tridimensionale del modello geologico del sottosuolo. Nel caso di rinvenimento di cavità, in litotipi con buone caratteristiche geotecniche o geomeccaniche, i sondaggi si dovranno spingere fino ad attestarsi per almeno 15 metri nel substrato non interessato da cavità. E' opportuno limitare al minimo l'uso del fluido di circolazione, al fine di individuare con accuratezza gli eventuali livelli di discontinuità o livelli idrici. Durante l'esecuzione dei sondaggi dovranno essere campionati i litotipi più rappresentativi per la parametrizzazione geotecnica dei materiali presenti. Oltre ai sondaggi, in presenza di cavità, dovranno essere previsti rilevamenti topografici e rilievi speleologici. Tali rilievi sono condizionati dalla effettiva possibilità di esplorazione in relazione alla presenza o meno di accessi alla rete caveale ed alle condizioni di sicurezza per i tecnici; in alternativa può essere consentito il ricorso all'indagine televisiva in foro.

Le indagini dirette possono essere integrate con indagini geognostiche di tipo indiretto, ovvero indagini sismiche, geoelettriche, gravimetriche e georadar. La scelta delle tecniche da utilizzare deve essere effettuata e giustificata in funzione del reale modello geologico, idrogeologico ed urbanistico locale.

Nella programmazione della campagna di indagini dovranno essere previsti, se ritenuti utili ad una migliore definizione del modello geologico del sottosuolo e dell'evoluzione dei dissesti in atto e potenziali, sistemi di monitoraggio.

Un'adeguata rete di monitoraggio dovrà essere prevista nel caso in cui le caratteristiche dei litotipi interessati dalla presenza di cavità possano far ipotizzare un progressivo ampliamento nel tempo delle stesse. In tal caso, l'acquisizione dei dati dovrà essere programmata in funzione della reale velocità dei fenomeni.

Il piano di monitoraggio ed i relativi risultati devono essere trasmessi periodicamente all'Autorità di Bacino della Puglia.

Sulla base dei dati raccolti durante la fase conoscitiva e del modello geologico del sottosuolo ricostruito, dovrà essere effettuata l'analisi di stabilità dell'area. Le forze da considerare sono i carichi realmente esistenti, e, qualora l'area fosse classificata sismica, quelle di inerzia verticali e orizzontali generate dal sisma di progetto, così come richiesto dalla normativa vigente in materia. Le tracce delle sezioni lungo le quali sono effettuate le analisi di stabilità devono essere chiaramente indicate nella "Carta geolitologica e strutturale".

Si precisa che, nel caso in cui durante le indagini si rinvenga la presenza di cavità, si dovrà procedere ad una analisi di stabilità delle cavità che richiede necessariamente lo sviluppo delle seguenti fasi:

- individuazione del reale andamento plano-altimetrico della cavità;
- caratterizzazione geotecnica o geomeccanica del terreno o dell'ammasso roccioso.

L'analisi di stabilità, effettuata per individuare e definire il pericolo di sprofondamento legato al crollo di cavità e utile per stabilire la necessità o meno degli interventi di bonifica e/o consolidamento, deve contenere almeno i seguenti indicatori:

a) geometria ipogea

1. numero di cavità
2. profondità e spessore della calotta
3. dimensioni planimetriche caveali, cavità unica, rete caveale, ecc.
4. rapporto fra altezza e larghezza dei pilastri;
5. rapporto fra profondità e larghezza della cavità;
6. tipologia (cava, cunicolo idraulico, catacomba, ecc.).

b) caratteristiche geologiche e geotecniche

1. geologia, litologia, stratigrafia;
2. idrogeologia;
3. caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e/o rocce: caratteristiche geotecniche dei terreni fra la calotta e la superficie topografica, caratteristiche geotecniche dei terreni contenenti cavità (pareti del cavo);
4. analisi dei sistemi di fratturazione eventualmente presenti.

c) elementi esterni

Alle succitate caratteristiche intrinseche del sistema terreno - cavità vanno aggiunti tutti gli elementi esterni che possono localmente peggiorare le condizioni di stabilità, quali:

1. presenza di strutture di sostegno in sotterraneo;
2. presenza di sovraccarichi - fondazioni dirette;
3. reti idriche e fognarie lesionate e con perdite;
4. vibrazioni da traffico, da attività antropiche e da sisma.

Le analisi condotte hanno il fine di valutare:

1. la stabilità delle calotte delle gallerie;
2. la stabilità dei pilastri interposti fra le gallerie.

Tali valutazioni devono essere condotte prima in relazione alle sole geometrie ipogee ed ai livelli tensionali geostatici, e, successivamente, introducendo tutti gli elementi esterni individuati (tensioni di fondazioni, presenza di liquami, tensioni dinamiche da traffico e sismiche).

In definitiva, devono essere riassunte tutte le caratteristiche geologiche salienti dell'area di intervento, oltre le risultanze delle indagini geognostiche consultate ed eseguite. Devono essere individuate le pericolosità geologiche e le proposte risolutive o di mitigazione. Inoltre, deve essere prodotta la "Carta della pericolosità geomorfologica conseguente alla presenza di cavità sotterranee" nella quale, oltre a rappresentare aree a medesimo grado di pericolosità, si riporterà l'ubicazione degli eventuali interventi di mitigazione.

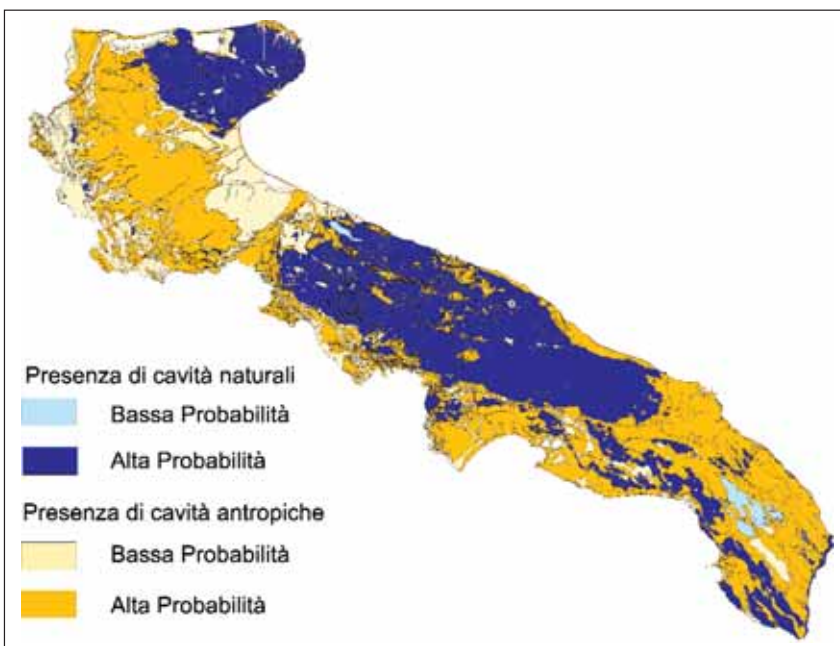
Il geologo, nello studio di compatibilità, dovrà riassumere tutti i dati raccolti e, nelle conclusioni, evidenziare, a seconda dei casi:

- 1) l'assenza di cavità sotterranee;
- 2) la presenza di cavità sotterranee e il loro sviluppo plano-altimetrico;
- 3) la presenza di cavità sotterranee con assenza di indizi di instabilità e con possibilità di conservazione della cavità. In questa ipotesi dovrà essere predisposto idoneo programma di monitoraggio che testimoni lo stato di conservazione della cavità sotterranea nel tempo;
- 4) la presenza di cavità sotterranee con presenza di indizi di instabilità. In questa ipotesi dovranno essere indicati gli interventi di bonifica e/o consolidamento utili alla mitigazione della pericolosità geomorfologica conseguente alla presenza delle cavità sotterranee.



Pulo di Altamura
(Foto Fiore-Falcone)

Pulicchio di Gravina
(Foto Fiore-Falcone)



Carta della probabilità di presenza di cavità naturali ed antropiche nel territorio pugliese