

Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica

ATTIVITA' DEL CNR-IRPI A SEGUITO DEI DISSESTI IDROGEOLOGICI DEL 21 GENNAIO 2014 nel comune di Ginosa (prov. Taranto)



AUTORI

Il documento è stato redatto da:

Dott. Mario Parise (CNR-IRPI, Bari)

Ing. Piernicola Lollino (CNR-IRPI, Bari)

con il contributo dei colleghi:

Ing. Paolo Allasia (CNR-IRPI, Torino)

Dr. Fausto Guzzetti (CNR-IRPI, Perugia)

Ing. Giorgio Lollino (CNR-IRPI, Torino)

Dr. Andrea Manconi (CNR-IRPI, Torino)

Dr. Michele Manunta (CNR-IREA, Napoli)

Dott.ssa Carmela Vennari (CNR-IRPI, Bari)

INDICE

Indice	2
1 Premessa	4
2 Inquadramento territoriale: aspetti morfologici delle gravine.....	11
3 Attività del CNR-IRPI	15
4 Analisi di stabilità sul pianoro del Castello.....	21
5 Conclusioni e attività future.....	34
Ringraziamenti.....	39
Riferimenti bibliografici.....	40

Allegato I – Censimento delle cavità antropiche a Ginosa (Ta), nell’area interessata dalle ordinanze di sgombero a causa del crollo del 21 gennaio 2014.

Allegato II – Schede sintetiche delle cavità antropiche a Ginosa (Ta), nell’area interessata dalle ordinanze di sgombero a causa del crollo del 21 gennaio 2014..

Tavola I – Ubicazione delle cavità rilevate.

Tavola II – Zonazione della suscettibilità da crolli per le cavità rilevate.

1. PREMESSA

Il territorio di Ginosa (provincia di Taranto, Puglia) è stato direttamente interessato da fenomeni alluvionali e di dissesto idrogeologico connessi agli eventi di ottobre e dicembre 2013, al pari di molti altri comuni della fascia di confine tra Basilicata e Puglia. In particolare, l'evento del 7 ottobre 2013 ha determinato a Ginosa 4 vittime e ingenti danni. A seguito di tali eventi, si sono verificate numerose situazioni di dissesto idrogeologico, oltre a quelle registrate nel fondovalle della gravina: dopo l'alluvione di dicembre 2013, in particolare, un rudere posto a valle di Via Matrice è crollato (sito B in Fig. 1; Fig. 2). Sempre in connessione allo stesso evento, si è verificata una frana di scorrimento rotazionale nei depositi colluviali in appoggio sul substrato calcarenitico al margine orientale del pianoro del Castello (sito C in Fig. 1; Fig. 3) e un crollo poco più ad est (sito D in Fig. 1; Fig. 3), sulla strada che conduce al sentiero per il Villaggio Rivolta. Il 21 gennaio 2014 è avvenuto il crollo di Via Matrice (sito A in Fig. 1), di cui in dettaglio si parlerà più avanti. Il giorno 5 febbraio si è verificato il crollo di una cavità di origine antropica sita sul pendio nei pressi del Villaggio Rivolta (sito F in Fig. 1; Fig. 4), fortunatamente in zona non interessata direttamente da abitazioni. Poco a monte, lungo lo stesso pendio, sono visibili subito a valle della strada, alcuni fori prodotti dall'infiltrazione di acqua (sito G in Fig. 1; Fig. 5), che presumibilmente si collegano ad una sottostante cavità (chiesa rupestre). Nello stesso mese di febbraio 2014 è crollato un ulteriore rudere nei pressi della Chiesa Madre (sito E in Fig. 1; Fig. 6).



Figura 1. Localizzazione dei siti citati nel testo (immagine da Google Earth).



Figura 2. Rudere crollato a dicembre 2013 a valle di Via Matrice (sito B in Fig. 1).



Figura 3. Effetti dell'alluvione del dicembre 2013 (sito C e sito D in Fig. 1).



Figura 4. Sprofondamento connesso a cavità antropica (sito F in Fig. 1): in alto, vista generale del pendio; in basso, particolare dello sprofondamento.

Gli effetti lasciati dagli eventi alluvionali sul territorio, oltre a determinare i danni su indicati, sono ben evidenti nelle gravine che marginano il centro storico, dove è stato scavato un solco erosivo di profondità variabile sino a un massimo di 2,5-3 metri (Fig. 7), e sono state innescate numerose frane. Il passaggio delle acque, e l'azione erosiva ad opera delle stesse e dei materiali di trasporto solido, hanno certamente determinato un peggioramento della situazione complessiva nelle sponde delle gravine, caratterizzate da presenza di un elevato numero di cavità di origine antropica, e dalla presenza di numerose abitazioni in evidente stato di abbandono e in precarie situazioni di instabilità.



Figura 5. Fori dovuti a infiltrazioni d'acqua su cavità antropica a valle di Via Garibaldi (sito G in Fig. 1).



Figura 6. Rudere crollato presso la Chiesa Madre (sito E in Fig. 1): vista generale (in alto) e particolare (in basso).

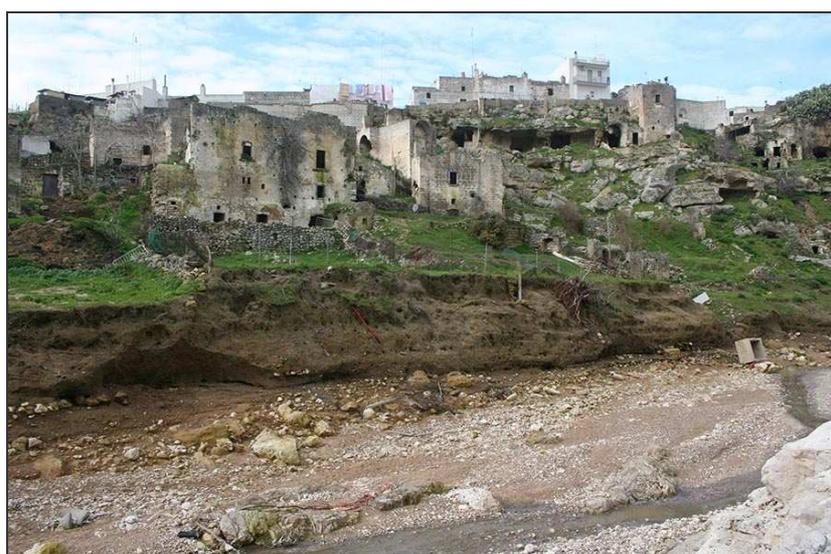
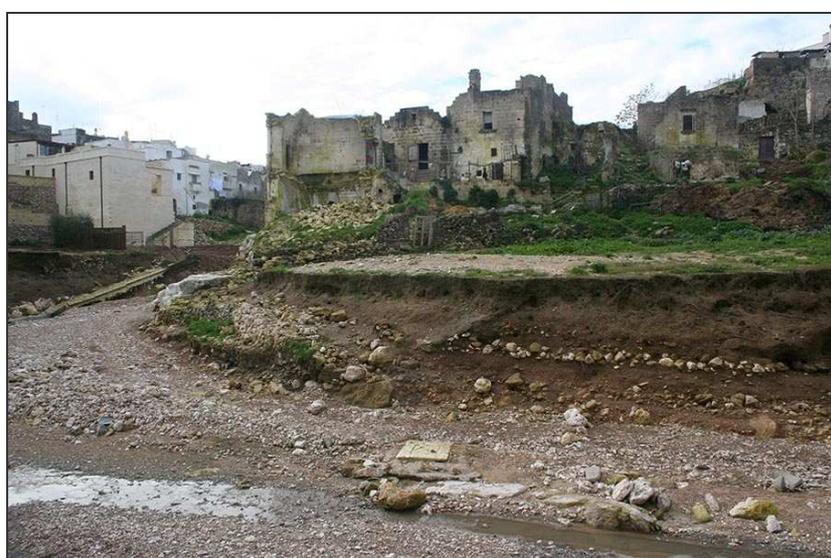


Figura 7. Effetti dell'alluvione del dicembre 2013 sul fondovalle della gravina.

Dal 21 dicembre 2013, una abitazione sita in Via Matrice era stata sgomberata in quanto dichiarata inagibile per la comparsa di lesioni strutturali, e sulla stessa strada era stato disposto il divieto di transito su entrambi i sensi di marcia per tutte le categorie di veicoli, nel tratto compreso tra i civici 79 e 109. Il giorno 21 gennaio 2014, all'incirca alle ore 13.00, la porzione di Via Matrice su cui insisteva la suddetta abitazione, e la sottostante Via Burrone, sono state interessate da un crollo (Fig. 8), che fortunatamente non ha avuto alcuna conseguenza in termini di perdita di vite umane.



Figura 8. Il crollo del 21 gennaio 2014 a Via Matrice.

Le cavità presenti nella zona erano state oggetto di un sopralluogo alcuni giorni prima da parte del CNR-IRPI; nel corso di tale sopralluogo, richiesto informalmente da cittadini privati, erano state osservate evidenti situazioni di pericolo, connesse alla presenza di pilastri notevolmente deformati e lesionati (Fig. 9), oltre allo sviluppo di estesi sistemi di lesioni su diverse cavità poste a valle di Via Matrice (Fig. 10), sino al fondo della gravina. Nel corso del sopralluogo il CNR-IRPI è stato informato del fatto che l'Ufficio Tecnico del Comune di Ginosa era già a conoscenza della situazione, avendo alcune settimane prima provveduto al su citato sgombero. Verificato che il sito in questione (ed un altro, corrispondente alla zona del pianoro del Castello, anch'esso interessato da dissesti idrogeologici) non rientravano nella delimitazione del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) a cura della competente Autorità di Bacino (AdB Basilicata), il CNR-IRPI trasmetteva alla AdB Basilicata una relazione inerente la segnalazione dei due siti (Fig. 11), al fine di inserirli all'interno delle zone a pericolosità da dissesto idrogeologico.



Figura 9. Evidenti deformazioni in un pilastro all'interno di una cavità sita in Via Burrone. Le foto sono state scattate alcuni giorni prima del crollo, in ambienti ubicati al di sotto della Via Matrice.



Figura 10. Lesioni su pareti (a sinistra) e volta (a destra) di ambienti ipogei a cui si aveva accesso da Via Burrone. Le foto sono state scattate alcuni giorni prima del crollo, in ambienti ubicati al di sotto della Via Matrice.

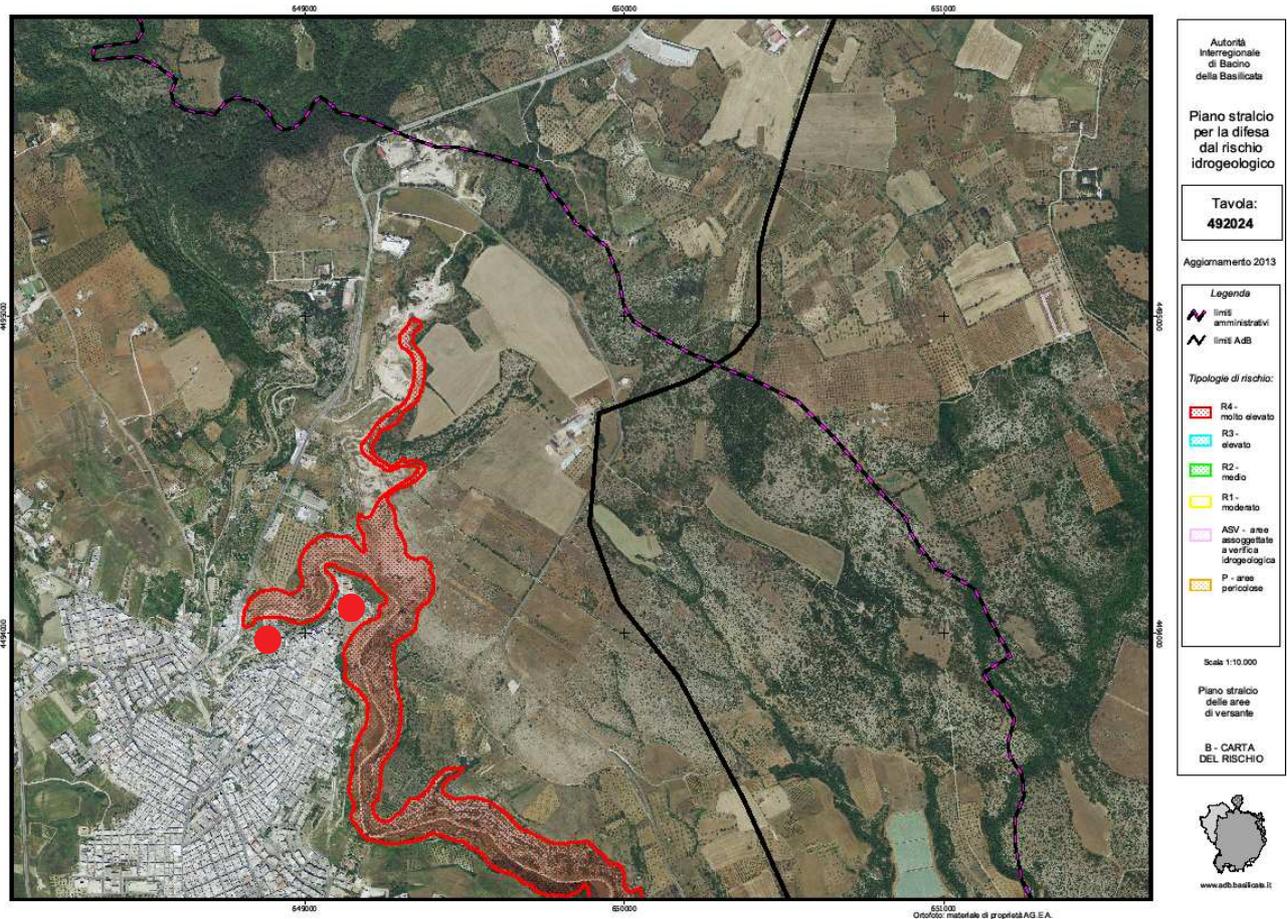


Figura 11. Piano stralcio per la difesa dal rischio idrogeologico (da Autorità di Bacino della Basilicata). I due pallini rossi indicano i siti segnalati alla competente AdB.

Nel contempo, a seguito della nota di attivazione del Dipartimento della Protezione Civile (prot. DPC/RIA/8466 del 12/02/2014) il CNR-IRPI veniva attivato, in qualità di Centro di Competenza, in relazione ai dissesti geomorfologici in atto nel Comune di Ginosa.

La presente relazione descrive le attività svolte a Ginosa dal CNR-IRPI in questi mesi, già in parte anticipate con note di aggiornamento indirizzate al Dipartimento di Protezione Civile e al Centro Funzionale Regionale di Protezione Civile della Regione Puglia (prot. 458 del 13/02/2014, prot. 752 del 17/03/2014, e prot.1054 del 09/04/2014).

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE: ASPETTI MORFOLOGICI DELLE GRAVINE

Le gravine sono tra i principali elementi morfologici del paesaggio carsico apulo-lucano; si tratta di profonde valli erosive di origine carsica, a fondo generalmente piatto, tramite le quali si realizza il raccordo tra l'altopiano murgiano e le piane costiere. Il termine gravina, utilizzato in Puglia e Basilicata, presenta un'etimologia che deriva dal pre-latino *grava* e dal termine di origine messapica *graba*. Entrambi indicano e designano elementi del

paesaggio caratterizzati da approfondimento, in contrasto ad altre valli, pur di origine carsica, appena accennate sul territorio e con blando raccordo con i pendii circostanti (*lama*; si veda PARISE *et al.*, 2003). Per la propria configurazione geologica e morfologica, nonché per il carattere impulsivo dei regimi idrici in ambiente carsico, le gravine sono fortemente soggette a fenomeni di dissesto idrogeologico, che includono varie tipologie di movimenti di versante ed eventi alluvionali (PARISE, 2007) (Fig. 12). Ciò si inserisce in un contesto già profondamente fragile e vulnerabile, quale quello dell'ambiente carsico (PARISE, 2008, 2012c; DE WAELE *et al.*, 2011).



Figura 12. Gravina di Riggio (Grottaglie), poco dopo un temporale: in evidenza la cascata che si attiva in occasione di eventi meteorici significativi (foto: A. MARANGELLA).

La naturale propensione al dissesto può risultare ulteriormente accentuata allorché vi sia una notevole concentrazione di cavità antropiche, scavate sui fianchi delle gravine, e che si approfondiscono nel substrato calcarenitico per alcuni metri, se non decine di metri. La disponibilità della tenera calcarenite, un litotipo che ben si presta allo scavo manuale ma che, allo stesso tempo, presenta buone caratteristiche di resistenza (DEL PRETE & PARISE, 2007), ha consentito lo sviluppo della cultura rupestre e caratterizzato il paesaggio delle gravine, divenuto così un esempio di ideale connubio tra la natura e l'uomo (PARISE, 2012). Allo stesso tempo, il degrado dell'ammasso roccioso, derivante da naturali fenomeni di erosione e disgregazione, favoriti da infiltrazioni di acque e dalla mancata manutenzione dell'uomo, possono portare a situazioni di notevole pericolosità, che vanno opportunamente indagate e valutate.

Nel caso specifico di Ginosa, la diffusa presenza di insediamenti rupestri è da sempre uno degli elementi caratterizzanti il locale paesaggio; non a caso, l'ambientazione di uno dei più noti appuntamenti religiosi e turistici della cittadina, la *Passio Christi*, è proprio costituita dallo scenario della sponda sinistra della gravina, dal lato opposto rispetto alla Via Matrice (Fig. 13). Va però evidenziato che gran parte delle cavità antropiche presenti nel territorio ginosino risultano in grave stato di abbandono, colme di rifiuti e lasciate

all'incuria. L'unica eccezione, che ancor più evidenzia il generale stato di incuria e degrado del resto degli insediamenti rupestri, è rappresentato dal Villaggio Rivolta (Fig. 14), che ben mostra l'elevato valore storico-culturale che le cavità antropiche, inserite nel contesto naturale della zona, possono rappresentare ai fini della valorizzazione del locale patrimonio storico.

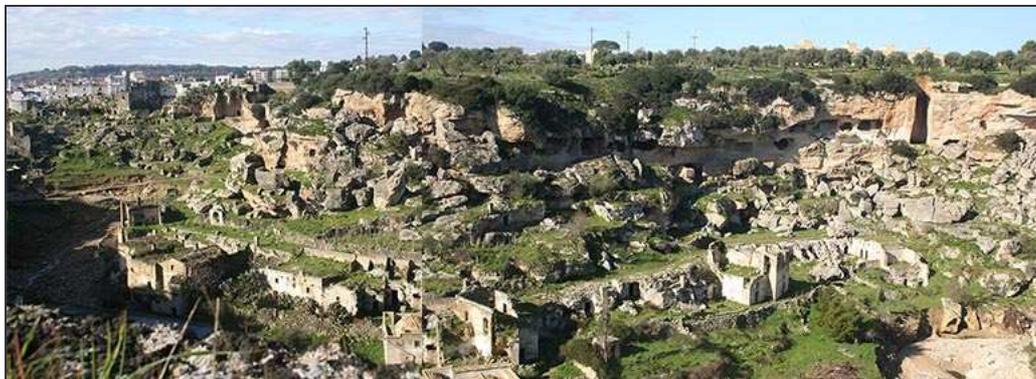


Figura 13. Sponda sinistra della gravina, dove si svolgeva la rappresentazione della Passio Christi.



Figura 14. Villaggio Rivolta, al margine orientale del centro storico di Ginosa.

Situazioni di instabilità connesse a cavità antropiche si erano già verificate nel comune di Ginosa: solo per ricordare una delle più recenti, il 28 febbraio 2009, alla periferia settentrionale del centro abitato, sulla destra idrografica del Torrente Lagnone (meglio noto come Gravina di Ginosa), si verificò il crollo della porzione di accesso a una sottostante cava sotterranea per l'estrazione della calcarenite (Fig. 15). Nel territorio della Regione Puglia, le cave sotterranee sono la tipologia di cavità artificiale che ha determinato il maggior numero di sprofondamenti (PARISE, 2011, 2012b; FIORE & PARISE, 2012). Il crollo in questione interessò la Via Pescarella, giungendo a lambire una palazzina posta a lato della strada, che fu di conseguenza sgomberata. Come evidenziato dalla relazione geologica del Dr. Geol. CALABRESE (2009), all'epoca non fu individuato alcun evento particolare che potesse essere all'origine del dissesto, il quale fu quindi imputato al *“continuo processo di naturale decadimento delle caratteristiche di resistenza dell'ammasso roccioso causato dall'azione degli agenti meteorici e dalla percolazione delle acque di infiltrazione superficiale nei meati e nelle fratture naturali della roccia”* (CALABRESE, 2009, pag. 15).

Negli immediati dintorni del crollo di Via Pescarella, l'ammasso roccioso presenta evidenti sistemi di discontinuità che lo interessano in tutto il suo spessore, isolando porzioni di roccia (cunei, pilastri) potenzialmente soggetti ad ulteriori crolli e distacchi (Fig. 16). Una situazione analoga caratterizza probabilmente anche il resto della cavità, quantomeno nelle vicinanze dell'accesso crollato, ed andrebbe opportunamente valutata e analizzata ai fini della determinazione del rischio residuo.



Figura 15. Il crollo di Via Pescarella del 28 febbraio 2009.



Figura 16. Ammasso roccioso fratturato nei pressi della zona del crollo di Via Pescarella.

Purtroppo, la stessa relazione citata non presenta un elemento a nostro avviso fondamentale, vale a dire il rilievo plano-altimetrico della cavità, in base al quale sarebbe stato possibile delimitare spazialmente gli eventuali rischi residui, sulla base dello sviluppo degli ambienti ipogei, nonché delle condizioni dell'ammasso roccioso (si veda a tal proposito PARISE & LOLLINO, 2011). L'unico riferimento in tal senso parla di *"notevoli dimensioni che caratterizzano la cavità"*, lamentando l'inaccessibilità dei luoghi (CALABRESE, 2009).

3. ATTIVITÀ DEL CNR-IRPI

A seguito della su citata nota di attivazione del Dipartimento della Protezione Civile, il CNR-IRPI ha iniziato una serie di attività, definite congiuntamente al Centro Funzionale della Protezione Civile della Regione Puglia (i cui Dirigenti sono stati periodicamente informati degli sviluppi delle attività in corso, e con i quali si è discusso più volte la possibilità di attivare eventuali sistemi di monitoraggio) e in stretto collegamento con l'Amministrazione Comunale di Ginosa, nella persona del Sindaco, Dott. Vito De Palma.



Figura 17. Il Castello di Ginosa.

Una delle prime richieste avanzate dal Sindaco al CNR-IRPI riguardava la zona del Castello di Ginosa (Fig. 17), ubicato all'estremità nord-orientale del centro storico, in posizione strategica per il controllo territoriale sulla gravina, che in questa zona compie una netta ansa, variando il suo percorso da un andamento SW-NE, a NW-SE, per poi muoversi verso S. La struttura, di grande importanza storica, e sita in un luogo di notevole bellezza paesaggistica, versa certamente in pessime condizioni, sia all'interno, a causa dei tetti crollati e quindi della continua infiltrazione di acqua, nonché di evidenti lesioni (Fig.

18) che ne caratterizzano il lato sud-orientale, che in esterno, in corrispondenza dei bastioni (Fig. 19) che poggiano su Via Il Matrice e sul margine S. Il distacco di vari filari di conci calcarenitici e l'erosione ad opera degli agenti meteorici che ha fortemente agito sul resto della struttura richiede interventi urgenti finalizzati al riposizionamento degli elementi mancanti ed al rafforzamento dei bastioni. Situazione ancora più critica è quella relativa al bastione meridionale, la cui base è parzialmente crollata, e che presenta lesioni continue ed aperte che potrebbero portare a ulteriori distacchi, con conseguenze imprevedibili per la complessiva struttura sovrastante (Fig. 20).



Figura 18. Lesione beante all'interno del Castello (lato E).



Figura 19. Bastioni del ponte del Castello: in evidenza i conci calcarenitici in erosione o mancanti.

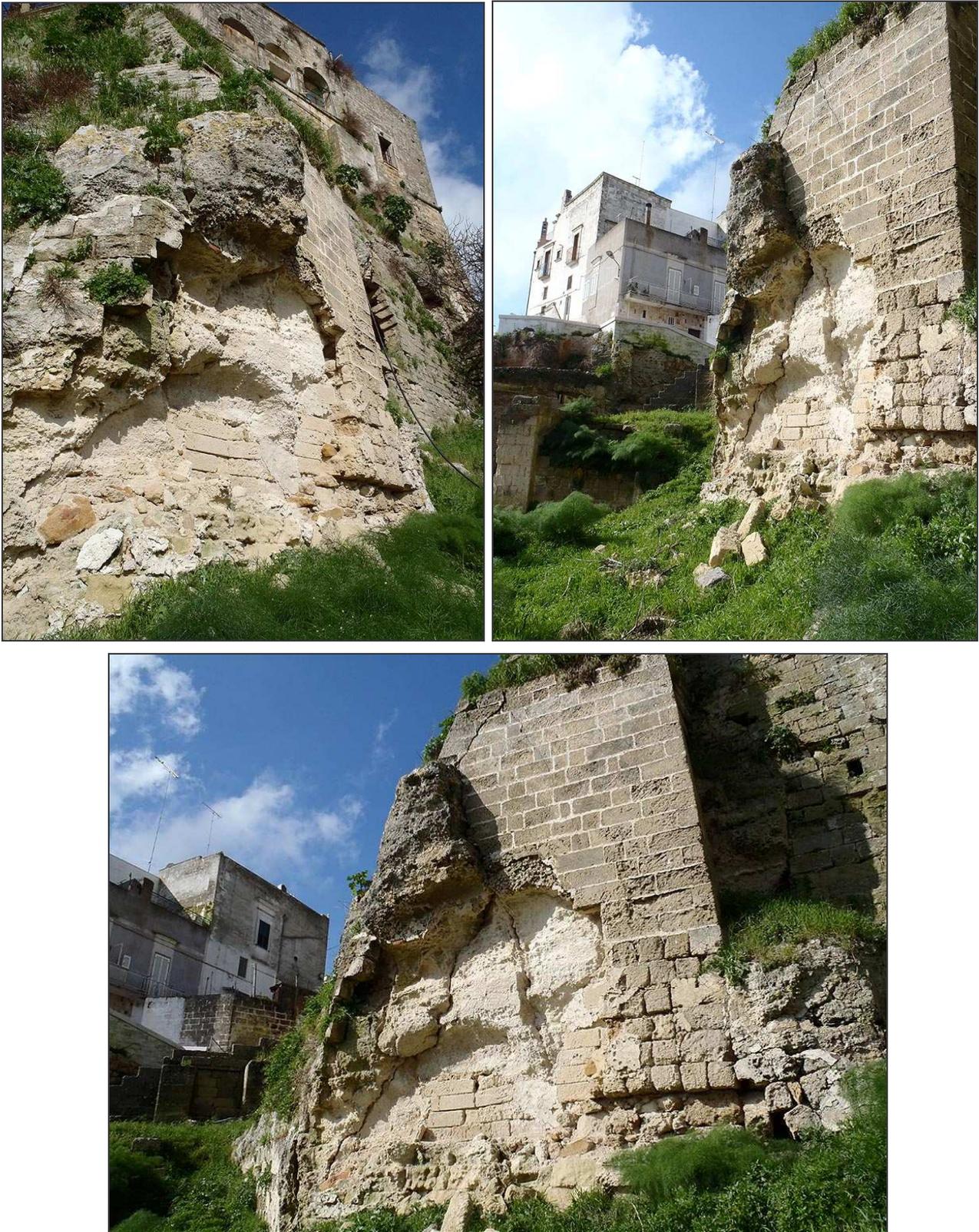


Figura 20. Il bastione meridionale del Castello, interessato da evidenti crolli in atto e potenziali.

Sempre su tale lato, inoltre, il muro perimetrale del castello risulta sfondato, con un'ampia apertura tramite la quale è possibile accedere ad ambienti sotterranei, con evidenti situazioni di instabilità (Fig. 21).

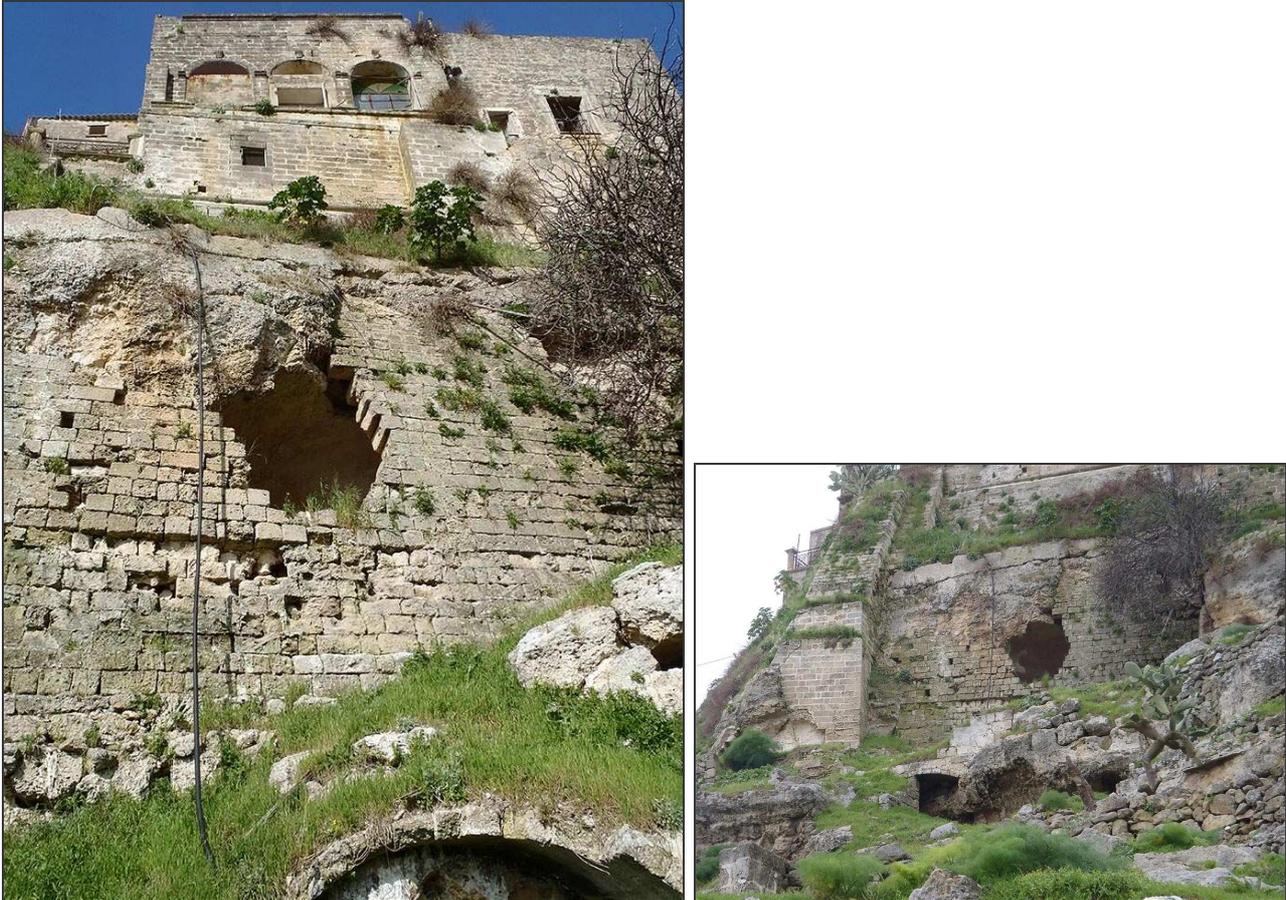


Figura 21. Il muro sottostante il lato S del Castello, in critiche condizioni di stabilità.

Sin dal primo incontro con il Sindaco, è stato fatto presente che gli aspetti di carattere ingegneristico-strutturale del Castello esulavano dalle specifiche competenze del CNR-IRPI, e necessitavano altresì del coinvolgimento di altre figure professionali che potessero fornire specifiche indicazioni in merito ad azioni da compiere ed opere da realizzare ai fini della salvaguardia e della conservazione della struttura. Il CNR-IRPI si impegnava invece a prendere in esame le cavità antropiche presenti nei dintorni immediati del Castello, inclusa la zona del pianoro antistante e che affaccia sulla gravina, ai fini della valutazione della relativa stabilità.

Per quanto riguarda specificamente le cavità antropiche, una volta verificato che presso l'Ufficio Tecnico del Comune di Ginosa l'unica documentazione esistente in materia era la relazione geologica sul crollo di Via Pescarella del 2009 (CALABRESE, 2009), e che non era disponibile alcuna conoscenza sul posizionamento e l'andamento delle cavità antropiche presenti al di sotto del centro storico, si evidenziava da subito la stringente necessità di procedere ad un censimento e rilievo delle cavità stesse, per verificare innanzitutto il loro sviluppo al di sotto di manufatti e strade, e quindi per poter esaminare le condizioni di stabilità dell'ammasso roccioso in cui esse sono state scavate. A tal fine, il CNR-IRPI ha

messo in contatto l'Amministrazione Comunale con la Federazione Speleologica Pugliese, che cura il Catasto Regionale delle Cavit  Naturali ed Antropiche, e che aveva le competenze specifiche e necessarie per poter procedere ad un censimento del genere. Dopo aver espletato gli adempimenti formali del caso, in data 15/03/2014 la Federazione Speleologica Pugliese, in diretta collaborazione con, e coordinata dal CNR-IRPI ha avviato i rilievi.

Nel frattempo, il CNR-IRPI aveva gi  iniziato a eseguire alcuni sopralluoghi preliminari, al fine di verificare l'esistenza di situazioni particolarmente preoccupanti che dovessero essere segnalate tempestivamente alle competenti autorit , nonch  erano stati avviati i primi rilievi di carattere geologico, geomorfologico e geologico-strutturale sui settori di maggiore interesse, tra i quali certamente il pianoro del Castello, ed il sottostante pendio, sul lato sud-orientale del Castello (Fig. 22).



Figura 22. Il pendio sud-orientale del Castello di Ginosa.

I settori del centro storico di Ginosa, interessati dalle ordinanze di sgombero a seguito del crollo del 21 gennaio 2014, sono stati pertanto esaminati ai fini di individuare le cavit  antropiche presenti. Queste sono state oggetto di rilievo speleologico, eseguito mediante localizzazione dei punti di accesso tramite GPS (*Global Positioning System*) al fine della successiva georeferenziazione. I rilievi piano-altimetrici sono stati eseguiti mediante le ormai consolidate tecniche adottate dalla FSP, gi  pi  volte utilizzate anche nell'ambito di interventi di Protezione Civile (si veda, ad esempio, DE GIOVANNI *et al.*, 2011).

Sono state rilevate ed analizzate n. 92 cavit  antropiche (Tavola 1). Nell'Allegato I ("Censimento delle cavit  antropiche a Ginosa (Ta), nell'area interessata dalle ordinanze di sgombero a causa del crollo del 21 gennaio 2014"), ciascuna delle 92 cavit  esaminate   descritta ed illustrata mediante il rilievo piano-altimetrico e la relativa documentazione

fotografica. Il progetto GIS, contenente gli *shape files* relativi al lavoro svolto, costituirà parte della consegna ufficiale da parte della Federazione Speleologica Pugliese al Comune di Ginosa.

Le cavità censite sono state classificate in base alla loro tipologia, adottando la classificazione delle cavità artificiali a cura della Commissione della Società Speleologica Italiana (GALEAZZI, 2013). Tale classificazione, schematizzata nell'albero tipologico riportato come figura 23, prevede le seguenti categorie, indicate da una lettera maiuscola:

- A – opere idrauliche
- B – opere insediative civili
- C – opere di culto
- D – opere belliche
- E – opere estrattive
- F – opere di transito
- G – altre opere

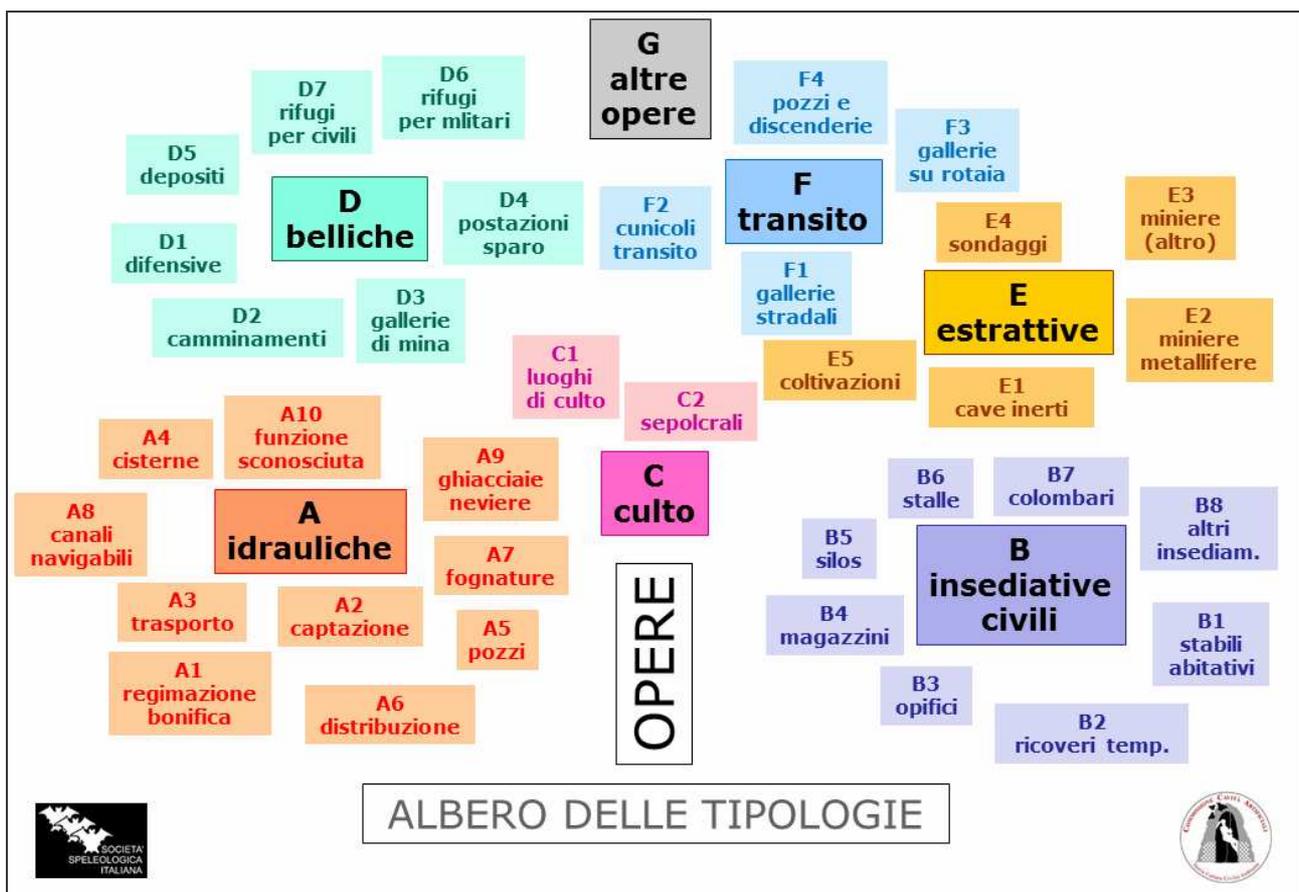


Figura 23. Classificazione delle cavità artificiali (a cura della Commissione Cavità Artificiali della Società Speleologica Italiana).

Ciascuna categoria è poi suddivisa in classi (indicate con la lettera maiuscola della categoria, seguita da un numero progressivo), per definire con maggiore precisione lo scopo/utilizzo per il quale la cavità era stata realizzata. Tale classifica, redatta da studiosi italiani del settore, è stata recentemente adottata anche in ambito internazionale (PARISE *et al.*, 2013), dalla *Commission on Artificial Cavities* della *International Union of Speleology* (UIS).

Oltre all'indicazione della relativa tipologia, è stato anche verificato l'attuale utilizzo della cavità, che non sempre risulta corrispondente a quello originario.

In ciascuna cavità rilevata, è stato eseguito uno specifico rilievo degli elementi connessi a dissesti in atto o potenziali: nel dettaglio, oltre ad osservare la litologia interessata dallo scavo, sono state rilevate le discontinuità presenti, e i loro caratteri principali (apertura, riempimento, spaziatura, pervasività, ecc.) secondo gli standards comunemente utilizzati in ambito internazionale (ISRM, 1978).

Tutti i dati su indicati, integrati dai riferimenti di posizionamento (sigla cavità, indirizzo, coordinate) sono stati riportati in una apposita scheda riassuntiva (si veda Allegato II). Quest'ultima comprende anche la indicazione degli elementi eventualmente a rischio (in funzione dello sviluppo della cavità): edifici, abitazioni isolate, strade, altro.

L'osservazione sul campo delle eventuali evidenze di dissesto riscontrate, nonché della presenza di elementi a rischio, ha consentito di pervenire alla definizione preliminare di una suscettibilità da crolli per ciascuna cavità (Tavola 2), che comprende le seguenti classi: bassa (colore verde); media (colore giallo); medio-alta (colore arancione); alta (colore rosso). La suscettibilità è stata assegnata di frequente secondo un approccio cautelativo, data la delicatezza della situazione e la possibilità di crolli, al fine di porre in evidenza le situazioni di pericolo esistenti, e di indirizzare le future azioni alla salvaguardia della privata e pubblica incolumità.

La scheda riassuntiva (Allegato II) fornisce infine le prime indicazioni di massima sulle attività da porre in atto, dalla verifica delle infiltrazioni di acqua, al monitoraggio, sino alla necessità urgente di interventi ed opere nei casi a maggiore pericolo.

4. ANALISI DI STABILITÀ SUL PIANORO DEL CASTELLO

Al fine di verificare le condizioni di stabilità del pianoro del Castello sono state prese in considerazione un paio di sezioni ritenute rappresentative delle situazioni tipiche del versante sud-est del pianoro. Tale fase di lavoro ha tratto vantaggio del rilievo laser scanner eseguito dallo studio tecnico dell'Arch. Ivan Risimini, che lo ha gentilmente messo a nostra disposizione. Le tracce delle sezioni considerate sono riportate nella planimetria in Figura 24 (sezioni 1 e 2). Nel seguito sono descritte le ipotesi fatte, le metodologie adoperate ed i risultati ottenuti per ciascuna delle due sezioni. A tal proposito, si fa presente che data la natura bidimensionale delle analisi sin qui svolte, dette analisi dovranno necessariamente essere considerate come analisi di carattere preliminare, poiché non sono sufficientemente rappresentative delle reali condizioni tridimensionali del

problema nei casi qui indagati, e dovranno essere validate in una fase successiva con l'ausilio di analisi di tipo tridimensionale. Ciononostante, le analisi di tipo bidimensionale di seguito presentate da un lato possono considerarsi maggiormente cautelative rispetto alle reali condizioni del versante e dall'altro offrono indicazioni di massima a riguardo del grado di suscettibilità all'instabilità di una determinata area del versante.

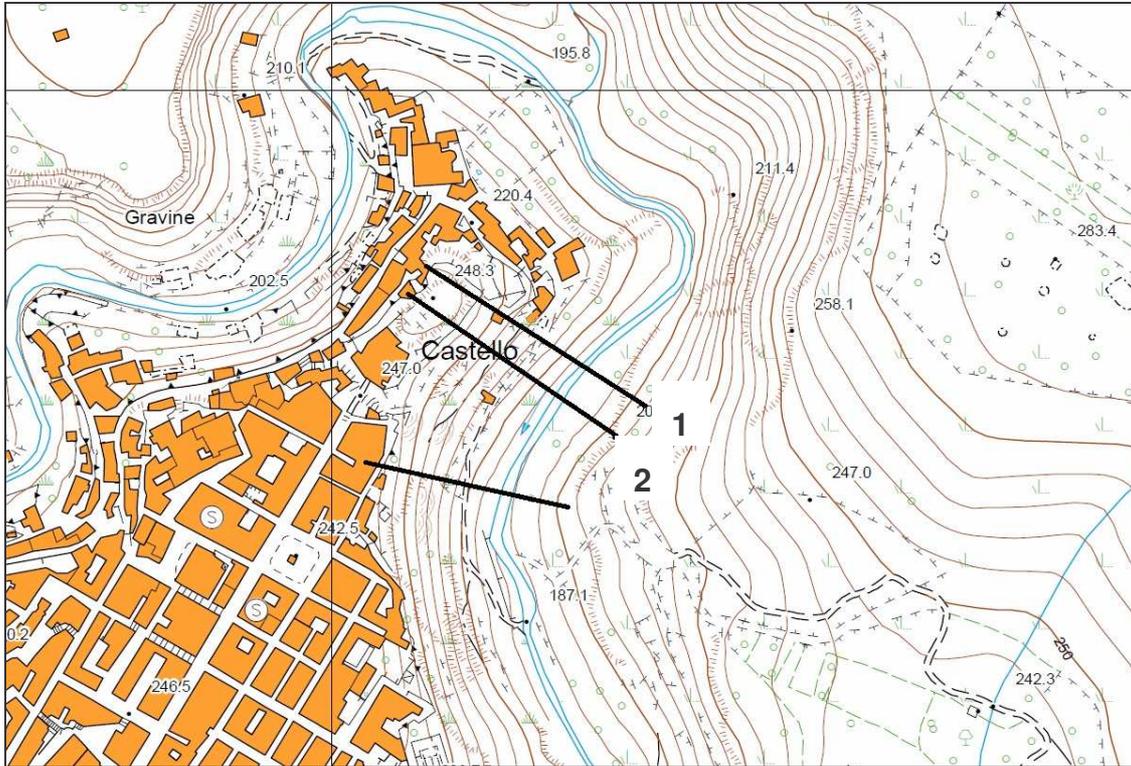


Figura 24. Planimetria dell'area con indicazione delle due sezioni considerate per le analisi.

Con riferimento ai parametri geomeccanici utilizzati nelle verifiche, si precisa che sono stati considerati i parametri geomeccanici rappresentativi sia di calcarenite in condizioni ordinarie di contenuto d'acqua, tipicamente con un valore di contenuto d'acqua inferiore al 50%, che nell'ipotesi di calcarenite satura e totalmente imbibita di acqua. In assenza di specifici dati da prove di laboratorio su campioni prelevati dal sito in esame, tali parametri sono stati dedotti da riferimenti bibliografici e da pregresse esperienze degli scriventi su materiali analoghi appartenenti alla stessa formazione geologica. La caratterizzazione geomeccanica dei materiali in affioramento lungo il versante in esame, interamente costituiti da calcarenite afferente alla formazione della "Calcarenite di Gravina", è stata definita sulla base di dati su campioni della stessa formazione pubblicati da LAGIOIA (1996), CHERUBINI *et al.* (2007) e ANDRIANI & WALSH (2010).

Inoltre, essendo nota in letteratura la riduzione di resistenza delle rocce porose, come nel caso della calcarenite, all'aumentare del contenuto d'acqua, si è deciso di assumere uno scenario di resistenza della calcarenite in condizioni ordinarie di contenuto d'acqua ed uno scenario di calcarenite rappresentativo della condizione di calcarenite satura e totalmente imbibita d'acqua (di seguito denominata "calcarenite satura"). Tale condizione è stata stimata assumendo, a partire dal valore di resistenza a compressione monoassiale in

condizioni ordinarie di contenuto d'acqua (in seguito indicata con il termine "calcarenite ambiente"), una riduzione dello stesso parametro pari al 40%, coerentemente con i valori di riduzione di resistenza forniti da ANDRIANI & WALSH (2010) nel passaggio da condizione asciutta (*dry*) a condizione imbibita (*wet*) per la stessa tipologia di calcarenite. Tale scenario di calcarenite satura (o imbibita d'acqua) può essere considerato rappresentativo di una condizione in sito conseguente ad eventi alluvionali particolarmente significativi. Si fa notare infatti che, in occasione di piogge anche di media intensità, le cavità presenti al di sotto del pianoro del Castello mostrano un elevato stillicidio, a testimonianza della facilità di infiltrazione delle acque nell'ammasso roccioso.

I parametri di resistenza al taglio ed a trazione sono stati dedotti conseguentemente secondo i criteri prima descritti. In particolare, per la calcarenite in esame si è adottato un valore della resistenza a compressione monoassiale in "condizioni ambiente" o ordinarie, ossia con un contenuto d'acqua inferiore al 50%, pari a $\sigma_c = 1$ MPa, mentre si è scelto un valore pari a $\sigma_c = 0.6$ MPa come valore rappresentativo di condizioni di calcarenite imbibita o satura.

Sono stati quindi stimati i parametri di resistenza al taglio corrispondente della calcarenite, nell'ambito dei due scenari anzidetti, mediante il criterio di HOEK & BROWN (HOEK *et al.*, 2002), a partire dal suddetto valore di resistenza a compressione monoassiale, dal valore di GSI (*Geological Strength Index* di HOEK & BROWN, 1997), assunto pari a $GSI = 100$ in virtù dell'aspetto massivo della roccia e della assenza di discontinuità di natura geotutturale a piccola scala nell'ammasso, e dal valore della costante del materiale m_i , considerato pari a $m_i = 7$ per un materiale quale la calcarenite secondo le tabelle disponibili in letteratura (HOEK & BROWN, 1997). L'inviluppo di resistenza al taglio secondo il criterio di Hoek-Brown è stato pertanto stimato sulla base delle indicazioni sopra menzionate utilizzando il software RocLab (ROCSCIENCE, 2013). I valori dei parametri di resistenza al taglio equivalenti secondo il criterio di Mohr-Coulomb sono stati dedotti considerando l'inviluppo lineare che meglio approssima l'inviluppo curvilineo secondo Hoek-Brown a livello della tensione stimata di sito ed assumendo un livello tensionale corrispondente alle profondità medie delle superfici di rottura in sito. In particolare, si sono stimati i seguenti valori dei parametri di resistenza al taglio:

$$c' = 150 \text{ kPa}, \phi' = 35^\circ \text{ per condizioni di calcarenite ambiente};$$

$$c' = 90 \text{ kPa}, \phi' = 31^\circ \text{ per condizioni di calcarenite satura.}$$

Il valore di resistenza a trazione della roccia, σ_t , è stato assunto pari ad 1/10 del valore corrispondente di resistenza a compressione monoassiale, σ_c . Pertanto, gli scenari di resistenze caratteristiche dedotti in accordo con quanto sopra descritto sono riassunti in Tabella 1, assumendo sia condizioni relative a calcarenite ambiente che condizioni relative a calcarenite satura.

Le analisi numeriche condotte prevedono la definizione dello stato tensionale del versante mediante il metodo del "*gravity loading*", ossia dell'assegnazione del carico del materiale per gravità nell'ipotesi di mezzo elastico e nel rispetto delle condizioni di vincolo assegnate al dominio, e successivamente una fase di calcolo elasto-plastico assumendo un criterio di resistenza secondo Mohr-Coulomb. E' stato poi operato un calcolo plastico dopo aver simulato lo scavo delle cavità presenti lungo la sezione e, nei casi in cui il calcolo ha raggiunto la convergenza numerica, manifestando quindi condizioni di stabilità del versante, è stato effettuato successivamente un calcolo del coefficiente di stabilità dello

stesso versante con il metodo della riduzione della resistenza (*strength reduction method*; MATSUI & SAN, 1992).

	γ (kN/m ³)	σ_c (MPa)	σ_t (MPa)	E' (MPa)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Calcarenite ambiente	16	1,0	0,1	200	150	35
Calcarenite satura	17	0,6	0,06	140	90	31

Tabella 1 - Tabella riassuntiva dei valori di resistenza adottati per la calcarenite

Nel seguito sono riportati i risultati delle analisi condotte in ambito bidimensionale con il metodo degli elementi finiti, con l'ausilio del codice di calcolo PLAXIS^{2D} 2012 (PLAXISBV, 2012), per le due sezioni considerate. In particolare, oltre alla verifica delle condizioni di stabilità nell'ipotesi dei due scenari anzidetti di resistenza della calcarenite, è stata effettuata anche una verifica degli effetti delle discontinuità di tipo strutturale rilevate all'interno delle cavità.

Sezione 1

In figura 25 è riportato un dettaglio della maglia di discretizzazione considerata per la sezione 1, che prevede elementi più fitti e di dimensioni inferiori nell'area a ridosso del versante rispetto alle zone più lontane.

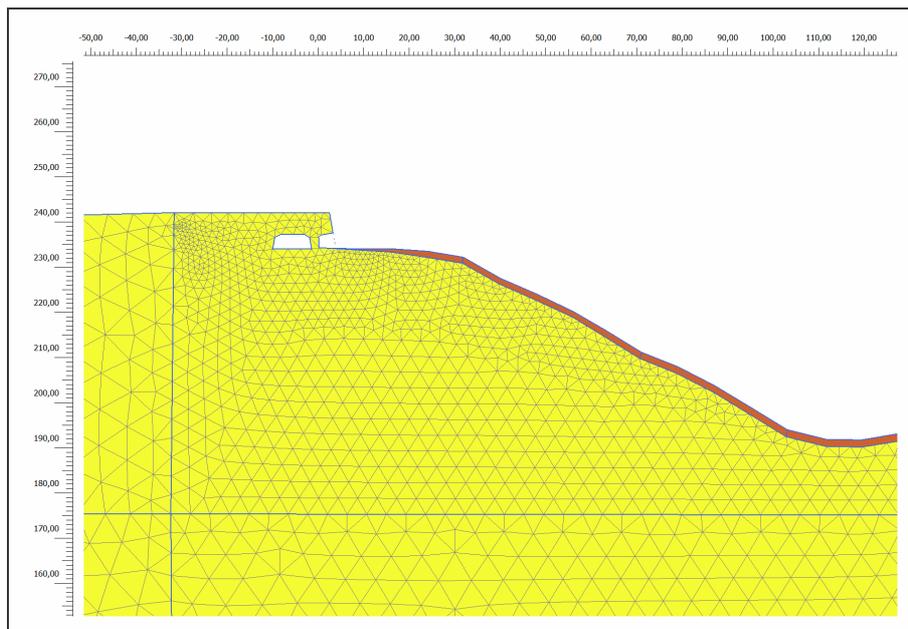


Figura 25. Particolare della maglia di discretizzazione adottata per la sezione 1

Nell'ipotesi di scenario di resistenza corrispondente ad una condizione di calcarenite con contenuto d'acqua ordinario (calcarenite ambiente), il calcolo in fase plastica ha prodotto risultati che indicano condizioni di stabilità del versante. Gli spostamenti cumulati nella stessa fase di calcolo sono riportati in Figura 26, che indica come i massimi spostamenti si sviluppino nell'area sovrastante le due cavità presenti lungo la sezione (G78 e G77), come effetto di un processo di rilassamento tensionale ed una tendenza alla rotazione dell'ammasso verso l'esterno per la stessa zona. Le aree che raggiungono la condizione di rottura plastica e le deformazioni deviatoriche, ossia le deformazioni associate allo stesso processo di raggiungimento della condizione di rottura plastica, calcolate per la stessa fase sono riportate rispettivamente nelle figure 27 e 28 ed evidenziano come il setto di roccia compreso tra le due cavità risulti interessato da condizioni di rottura plastica ed accumulo di deformazioni, indicando così una zona potenzialmente suscettibile di instabilità.

Il coefficiente di stabilità della sezione è stato calcolato pari a $F = 1.30$ in tali condizioni ed il meccanismo critico evidenziato dal calcolo è mostrato in figura 29 e 30 in termini di deformazioni deviatoriche cumulate e spostamenti cumulati. Le due figure indicano come il versante in queste ipotesi tenderebbe a raggiungere l'instabilità attraverso un processo di scivolamento corticale che interesserebbe solo la formazione colluviale superficiale presente lungo il versante, senza tuttavia arrivare a coinvolgere la formazione calcarenitica sottostante.

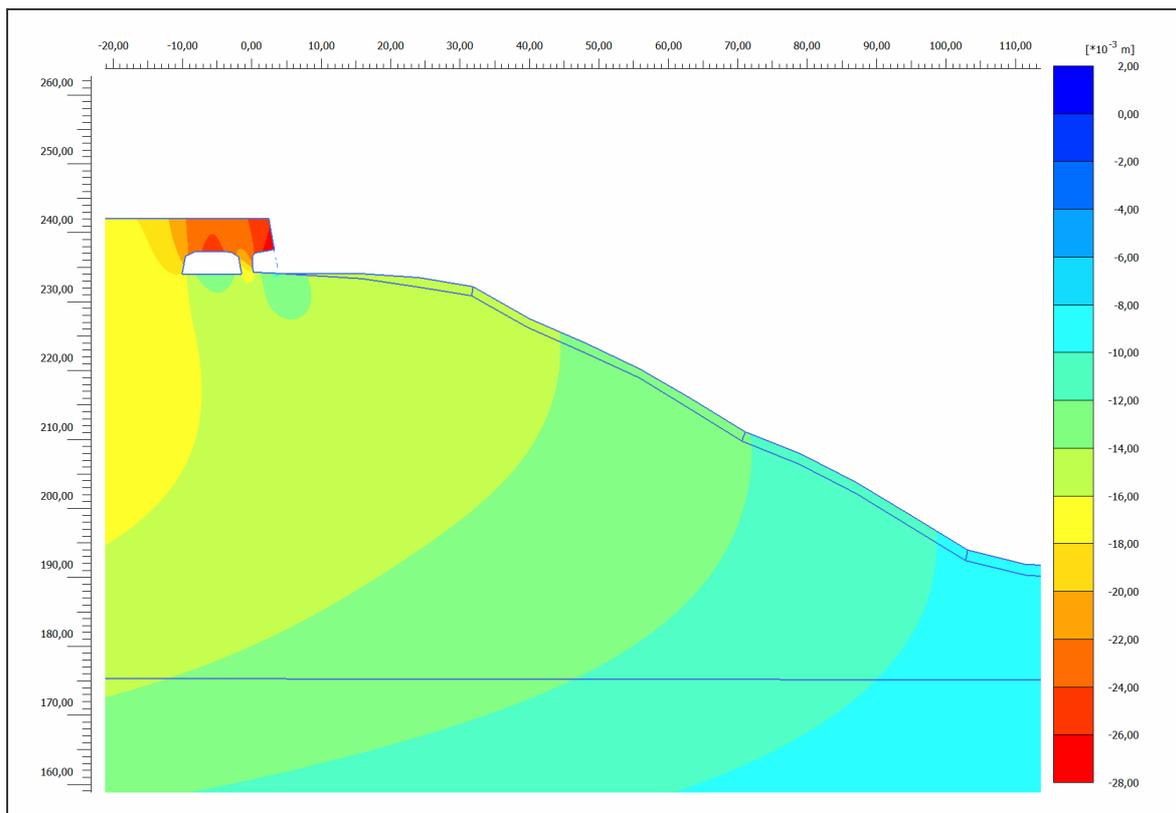


Figura 26. Sezione 1: scenario di calcarenite ambiente - Spostamenti cumulati in fase plastica.

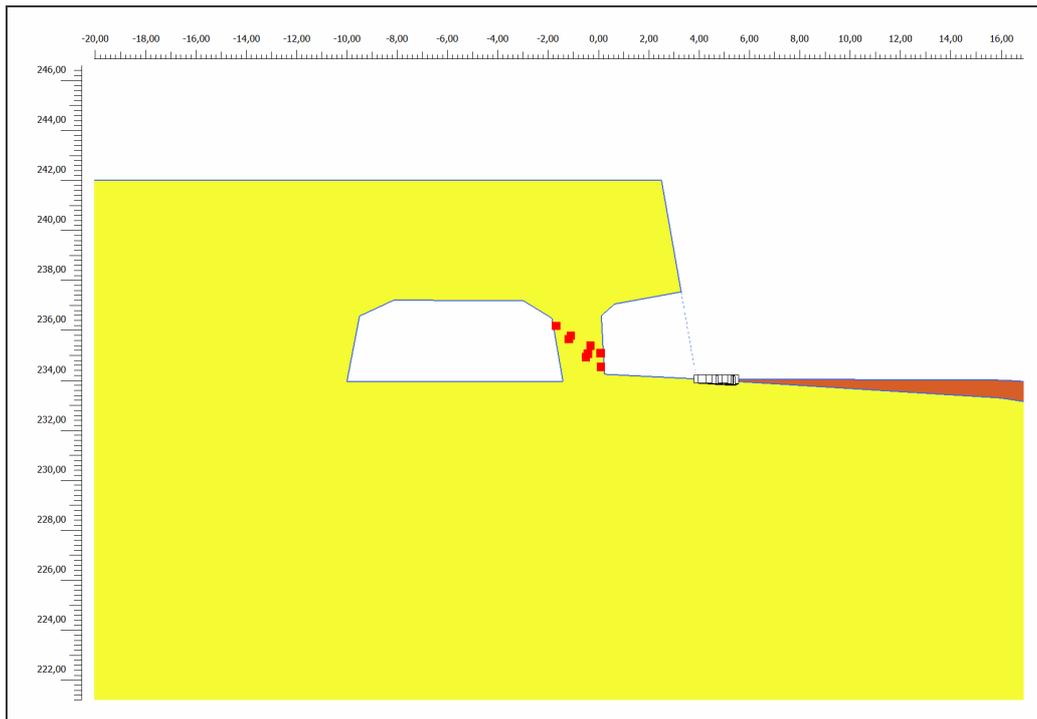


Figura 27. Sezione 1: scenario di calcarenite ambiente - Zone plastiche nella fase di calcolo plastico.

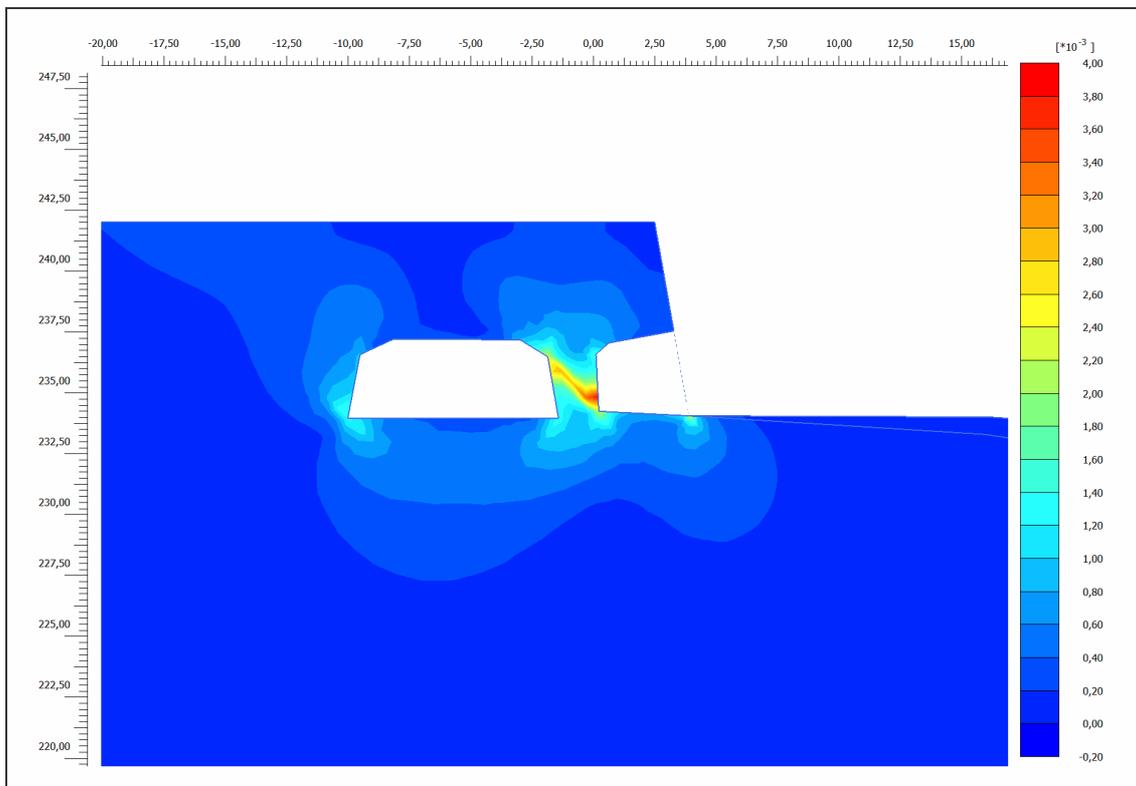


Figura 28. Sezione 1: scenario di calcarenite ambiente - Deformazioni deviatoriche in fase plastica.

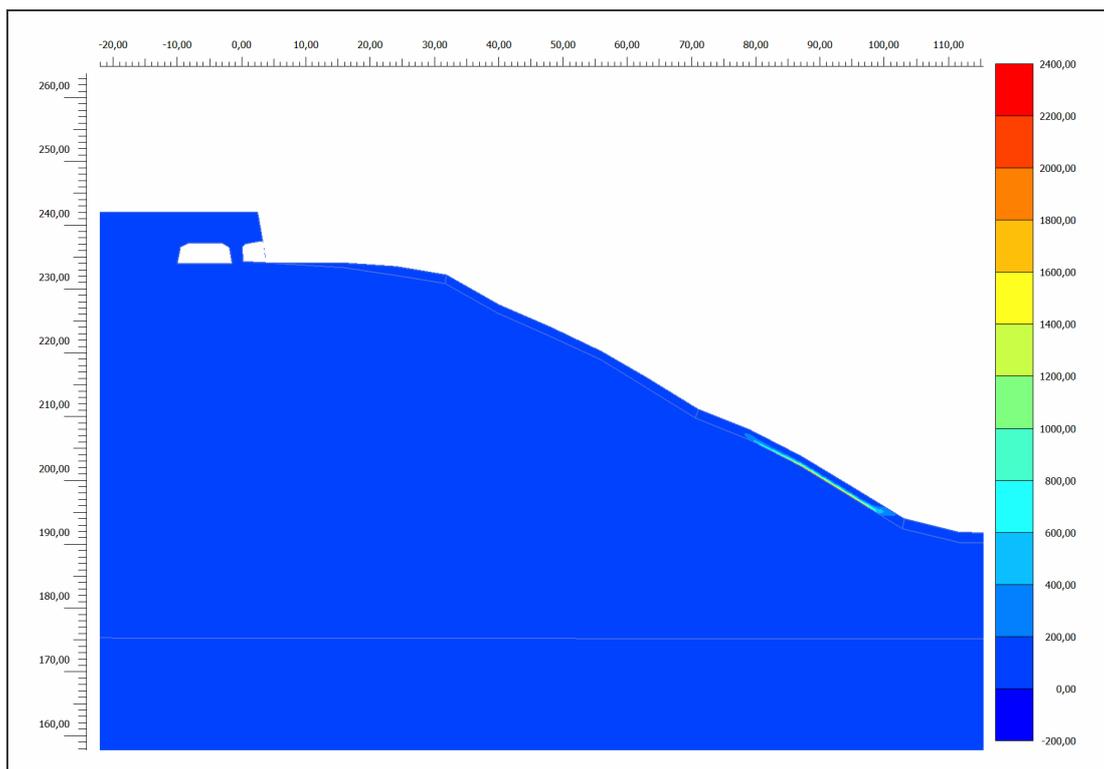


Figura 29. Sezione 1: scenario di calcarenite ambiente - Deformazioni deviatoriche al collasso.

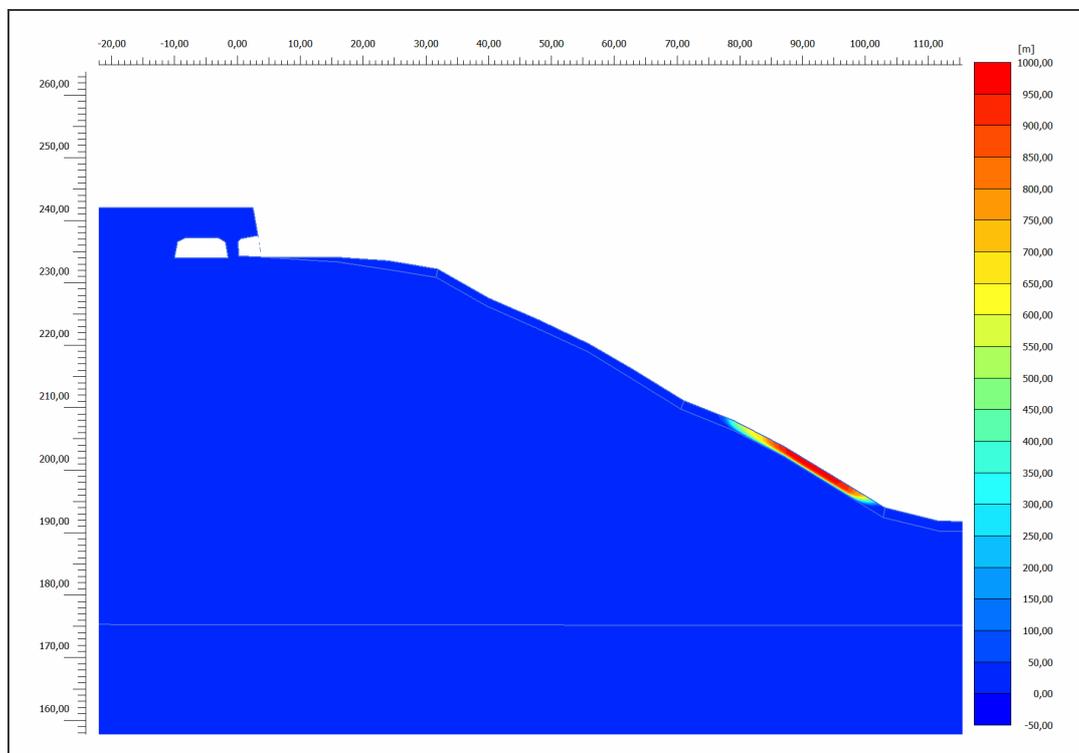


Figura 30. Sezione 1: scenario di calcarenite ambiente - Spostamenti cumulati al collasso.

Nell'ipotesi di scenario di resistenza corrispondente ad una condizione di calcarenite satura, il calcolo in fase plastica ha prodotto risultati che indicano ancora condizioni di stabilità del versante, sebbene con condizioni che si possono ritenere significativamente più critiche. Le zone plastiche calcolate durante la stessa fase sono riportate in figura 31 ed evidenziano come, oltre al setto di roccia compreso tra le due cavità, fortemente interessato da condizioni di raggiungimento della rottura, si formi una zona caratterizzata da rottura plastica e rottura per trazione nella roccia retrostante la cavità n. 78. Ciò sta ad indicare la tendenza alla creazione di un meccanismo globale di rottura che interessa tutto l'ammasso al di sopra delle due cavità.

Il coefficiente di stabilità della sezione risulta in questo caso pari a $F = 1.05$ ed il meccanismo di collasso evidenziato dal calcolo è mostrato in figura 32 in termini di deformazioni deviatoriche. La figura indica come il versante raggiunga il collasso a seguito del pronunciamento del processo su descritto, con totale formazione di una zona di rottura a partire dall'estremità interna della cavità n. 78.

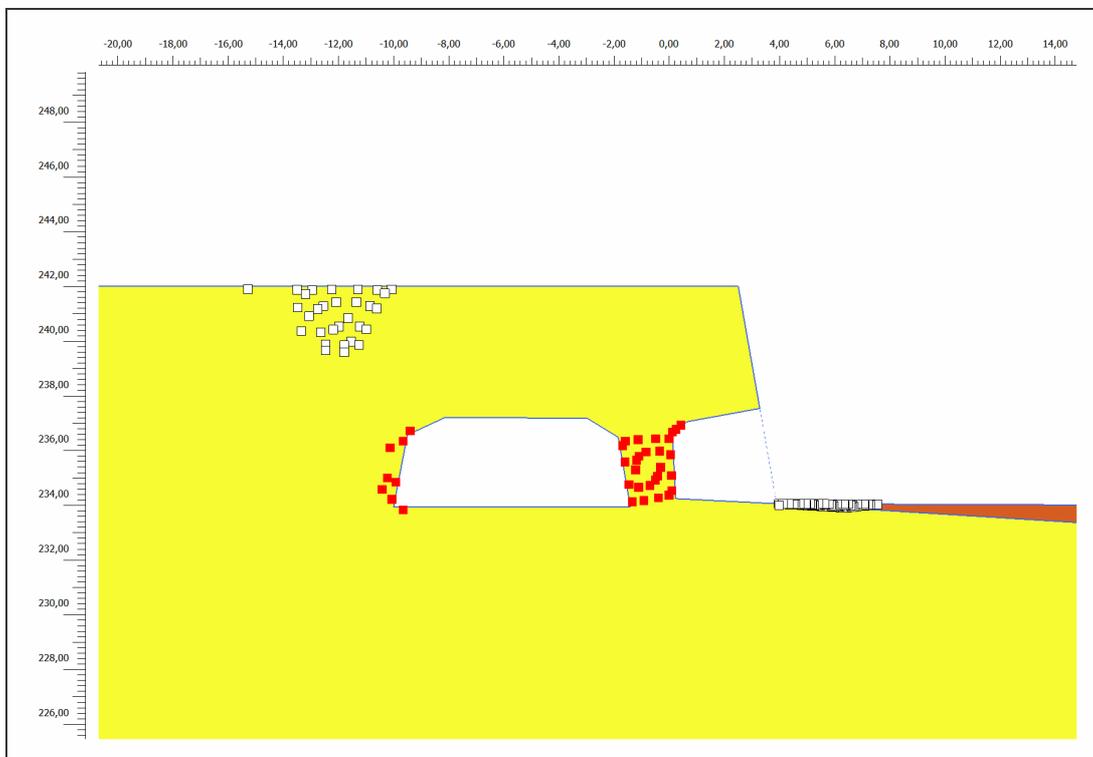


Figura 31. Sezione 1: scenario di calcarenite satura - Punti plastici a seguito della fase di calcolo plastico.

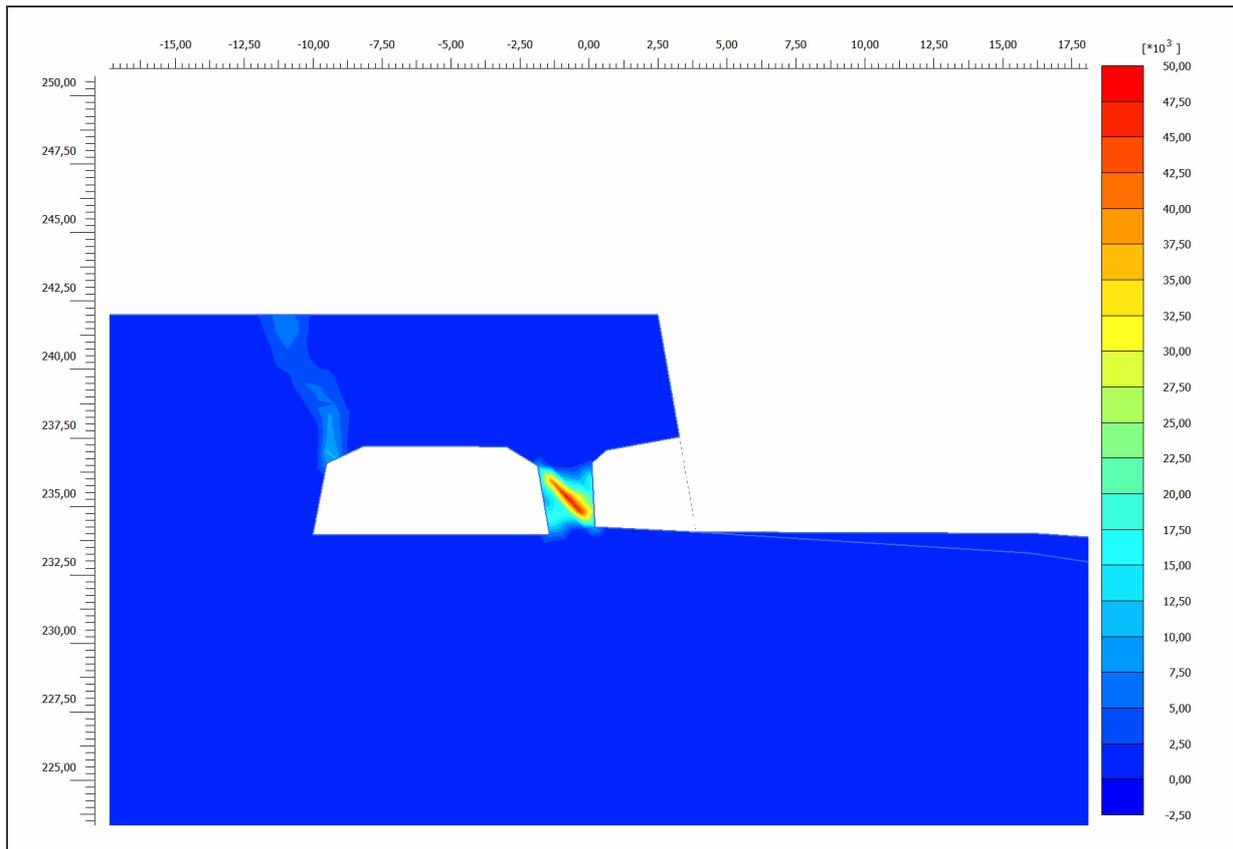


Figura 32. Sezione 1: scenario di calcarenite saturata - Deformazioni deviatoriche al collasso.

Successivamente, è stata condotta una verifica dell'influenza delle discontinuità strutturali sub-verticali rinvenute lungo la volta delle cavità. Le discontinuità sono state simulate nel calcolo mediante l'inserimento di bande di spessore limitato formate da materiale con caratteristiche di coesione nulla, angolo di attrito pari a $\phi' = 35^\circ$, come valore rappresentativo dell'angolo di attrito di base per giunto liscio relativo al tipo di materiale trattato, ed angolo di dilatanza pari a $\psi = 15^\circ$, stimato sulla base delle asperità osservate nel corso dei rilievi effettuati in sito. In tali ipotesi, il calcolo ha indicato condizioni di instabilità della volta delle cavità già durante la fase di calcolo plastico, per scorrimento della porzione di roccia inclusa tra le discontinuità lungo gli stessi giunti (Figure 33 e 34).

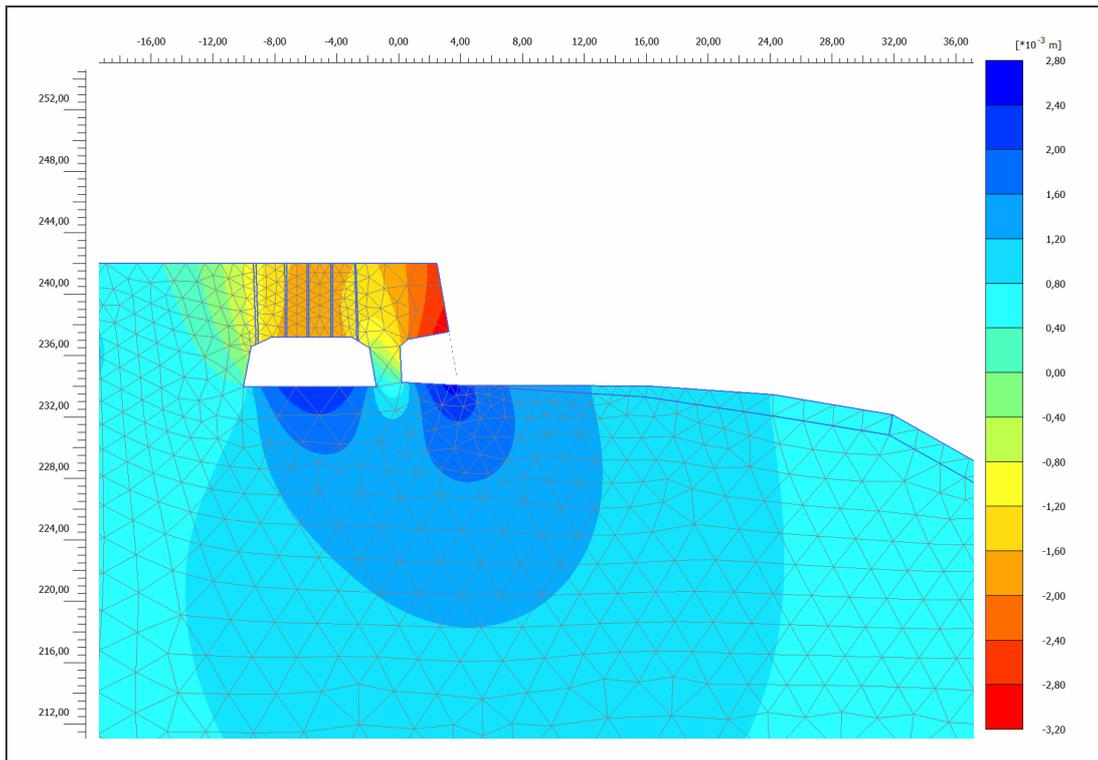


Figura 33. Sezione 1: effetto delle discontinuità - Spostamenti verticali in fase plastica.

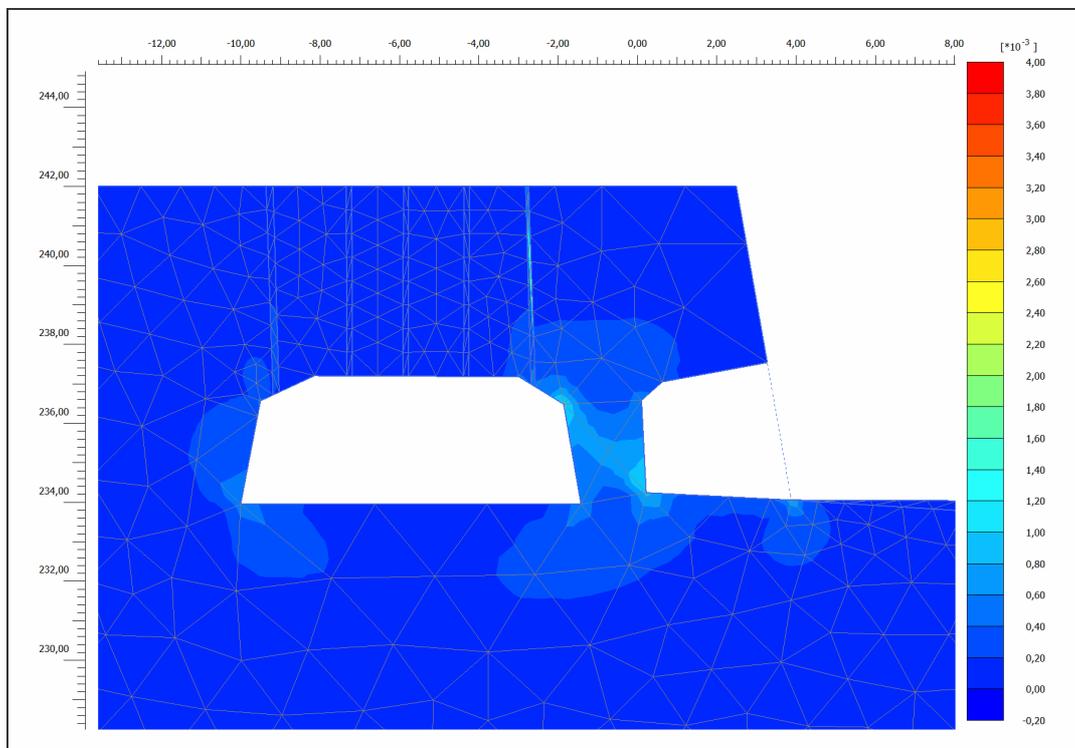


Figura 34. Sezione 1: effetto delle discontinuità - Deformazioni deviatoriche in fase plastica

Sezione 2

In figura 35 è riportato un dettaglio della maglia di discretizzazione considerata per la sezione 2, che anche in questo caso prevede elementi più fitti e di dimensioni inferiori nell'area a ridosso del versante rispetto alle zone più lontane della stessa maglia. In figura 36 è invece mostrato lo stesso dominio di calcolo nella fase di analisi che prevede lo scavo delle due cavità (G72 e G74).

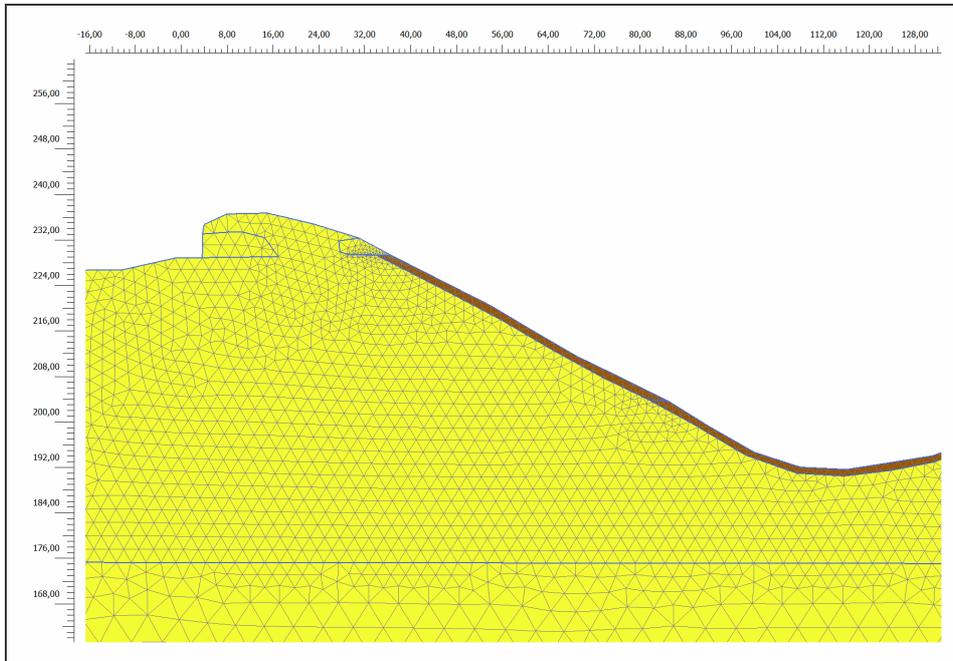


Figura 35. Particolare della maglia di discretizzazione adottata per la sezione 2.

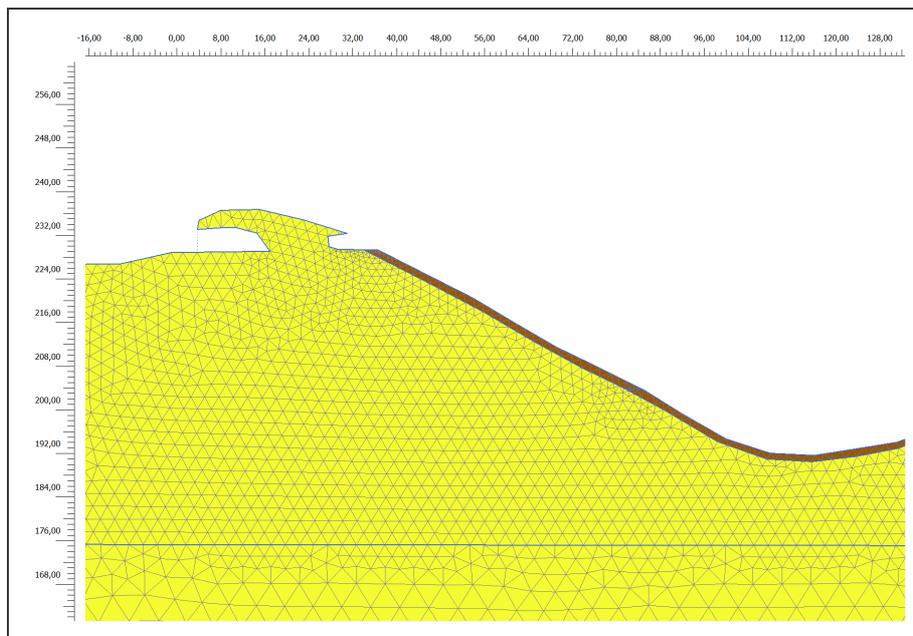


Figura 36. Particolare della maglia di discretizzazione adottata per la sezione 2 nella fase di de-attivazione (scavo) delle cavità.

Nell'ipotesi di scenario di resistenza corrispondente ad una condizione di calcarenite satura, il calcolo in fase plastica ha prodotto risultati che indicano condizioni di instabilità del versante, indicati da un mancato raggiungimento della convergenza numerica durante la stessa fase di calcolo. Le zone di snervamento plastico calcolate dall'analisi sono riportate in figura 37, dove si osserva un accumulo di punti plastici e zone interessate da rotture per superamento della resistenza a trazione nell'area del tetto della cavità G72. Gli spostamenti cumulati nella stessa fase di calcolo sono mostrati in figura 38, che indica un potenziale meccanismo di collasso ed una tendenza alla rotazione dello stesso tetto della cavità. Le deformazioni deviatoriche calcolate durante la stessa fase sono riportate in figura 39 e confermano il meccanismo anzidetto.

Occorre precisare che tali risultati, più che descrivere un meccanismo in atto, sono indicativi di un meccanismo potenziale di instabilità. Infatti, come già anticipato nella introduzione della presente relazione, l'ipotesi di deformazione bidimensionale piana avanzata in queste analisi risulta non proprio corrispondente alle condizioni geometriche reali delle cavità, la cui stabilità è invece aiutata dall'azione di sostegno offerta dalle pareti laterali esterne al piano dell'analisi qui considerato. Pertanto, si può ritenere che l'analisi qui descritta presenti un carattere peggiorativo rispetto al reale.

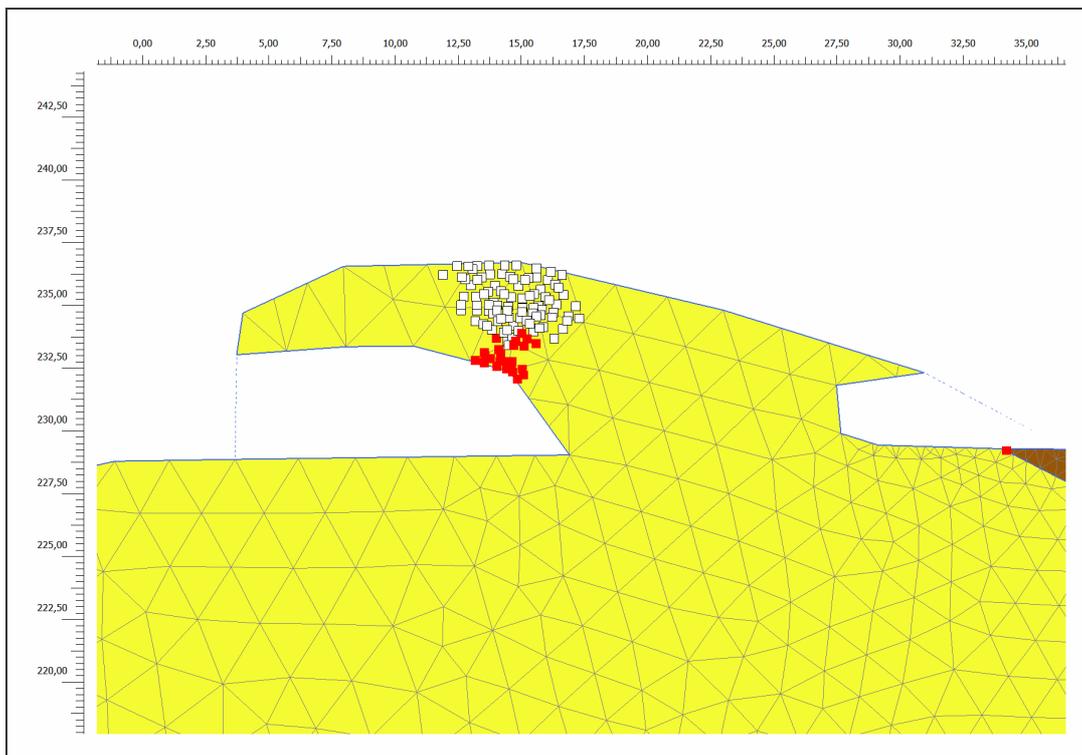


Figura 37. Sezione 2: scenario di calcarenite satura - Punti plastici calcolati nel corso della fase di calcolo plastico.

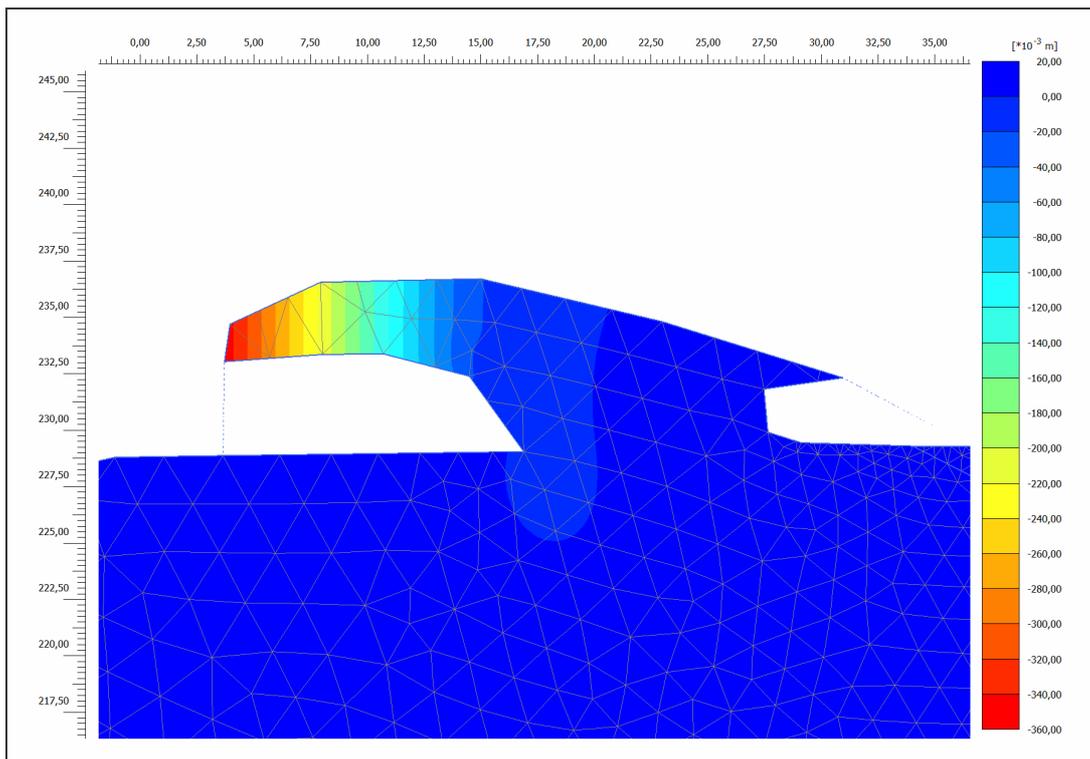


Figura 38. Sezione 2: scenario di calcarenite satura - Spostamenti cumulati durante la fase di calcolo plastico

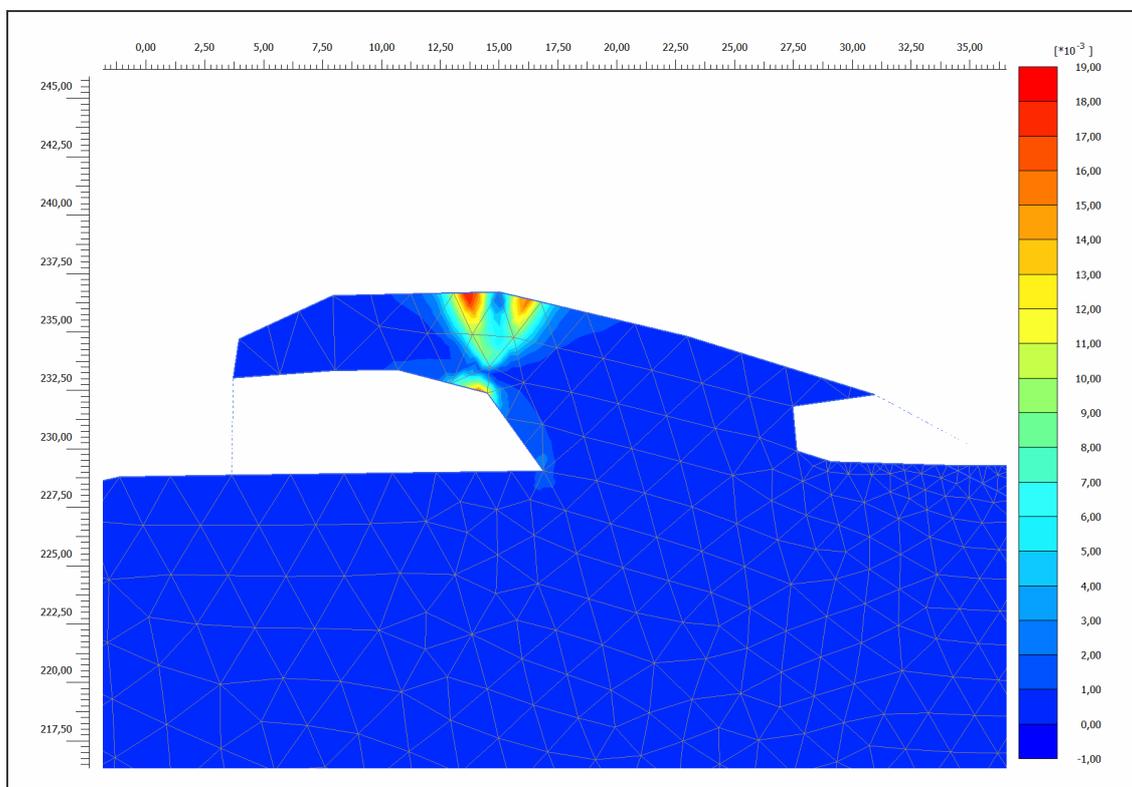


Figura 39. Sezione 2: scenario di calcarenite satura - Deformazioni deviatoriche calcolate durante la fase di calcolo plastico.

5. CONCLUSIONI E ATTIVITA' FUTURE

Le analisi svolte nel centro storico di Ginosa, volte al censimento e rilievo delle cavità antropiche, alla relativa georeferenziazione, alla identificazione degli elementi di dissesto eventualmente presenti, alla zonazione del territorio esaminato in termini di suscettibilità a crolli connessi a cavità artificiali, e ad analisi preliminari di stabilità, costituiscono il primo passo significativo nell'acquisizione di elementi conoscitivi sul tema delle cavità antropiche a Ginosa, data la totale mancanza pregressa di elementi specifici presso l'Ufficio Tecnico della locale amministrazione. In generale, va detto che lo studio qui presentato rappresenta un punto imprescindibile di partenza per ulteriori approfondimenti specifici, indirizzati a risolvere i singoli problemi delle cavità interessate da dissesti (in atto o potenziali), e quindi a mitigare i relativi rischi. Esso non può essere considerato come uno studio esaustivo, in quanto numerose altre cavità interessano il centro storico di Ginosa: queste non sono state indagate o rilevate per vari motivi (da difficoltà nell'individuazione dei proprietari, a chiusura degli accessi, ecc.); va comunque sottolineato che il numero totale (92) di cavità oggetto di rilievi da parte della FSP e del CNR-IRPI, e di successive analisi del CNR-IRPI, ha di gran lunga superato quello originariamente previsto dagli accordi tra Comune di Ginosa e FSP (40 cavità; vedi prot. 6579 del 05/03/2014 del Comune di Ginosa).

Le analisi svolte, e in particolare la zonazione della suscettibilità (riportata in Tavola 2) evidenziano che in più settori, in aggiunta a quello direttamente interessato dall'evento del 21 gennaio 2014, sono presenti situazioni di rischio, che richiedono interventi urgenti. Nel dettaglio, le zone maggiormente critiche dal punto di vista della stabilità risultano essere (i) la zona del crollo del 21 gennaio 2014, (ii) il pianoro del Castello, (iii) il pendio meridionale del Castello (ivi compreso il bastione meridionale), (iv) Via San Martino e (v) Via Matrice.

La **zona del crollo del 21 gennaio 2014** è stata indagata solo parzialmente, dato che alla data odierna ancora non si è provveduto alla rimozione dei detriti, e quindi, per motivi di sicurezza degli operatori, non è stato possibile procedere ad esaminare le cavità comprese nell'area direttamente interessata dal crollo. Si fa presente che sin dai giorni successivi al crollo è stata fatta presente alle competenti Autorità la necessità di intervenire con la rimozione delle macerie, nonché con l'abbattimento controllato dei numerosi ruderi presenti negli immediati dintorni, che costituiscono un indubbio pericolo, a prescindere dalle conseguenze del crollo del 21 gennaio 2014 (si veda a tal proposito la nota CNR-IRPI prot. 458 del 13/02/2014).

Allo stesso tempo, a seguito dei ripetuti sopralluoghi svolti dal personale CNR-IRPI, è stata più volte segnalata la circostanza che vi era una continua immissione di liquidi (acque bianche e nere) da tubazioni dell'acquedotto e del sistema fognario all'interno delle macerie nella zona crollata: tale immissione continua non può che avere determinato ulteriore peggioramento delle caratteristiche di resistenza degli ammassi rocciosi sul pendio in questione. Soltanto in data 20 marzo 2014, a due mesi di distanza dal crollo, a seguito dell'ennesima segnalazione, il problema veniva finalmente risolto.

In merito alla rimozione delle macerie si è recentemente svolto (in data 15 maggio 2014), grazie alla disponibilità dell'11° Reggimento Genio Guastatori, un sopralluogo finalizzato alla valutazione preliminare delle modalità di intervento. Si segnala, ai fini della esecuzione

di tali attività, che quanto riportato nel presente studio evidenzia una situazione di grande complessità nei dintorni dell'area interessata dal crollo, in relazione alla presenza di più livelli di cavità sotterranee, con complesso sviluppo planimetrico e geometrie variabili. La possibilità di interventi che prevedano di procedere alla rimozione delle macerie dall'alto porrebbe pertanto seri problemi di stabilità e di sicurezza agli stessi operatori, oltre che alle strutture ed edifici presenti nelle immediate vicinanze. Posizionare carichi elevati su aree caratterizzate da vuoti sotterranei, innescando in fase di lavoro inevitabilmente vibrazioni nell'ammasso roccioso, potrebbe avere conseguenze di non facile prevedibilità ma che certamente non vanno nella direzione di una maggiore stabilità del pendio. Il nostro suggerimento in merito è pertanto quello di procedere mediante interventi che partano dal fondo della gravina, posizionando in tale zona i necessari macchinari, a distanza tale da evitare un coinvolgimento di mezzi e persone nel caso si verifichi la caduta verso il basso di parte dei detriti in rimozione.

Il **pianoro del Castello**, sito ad est della struttura, costituisce il promontorio morfologico che si affaccia sull'ansa che la gravina segue all'estremità orientale del centro storico. Si tratta di un rilievo allungato in direzione SW-NE, e che presenta al suo interno e ai suoi margini numerose cavità di origine antropica, ivi inclusa una galleria che lo attraversa in senso trasversale, nei pressi del Castello. L'intero pianoro, come già evidenziato dalla segnalazione inviata all'Autorità di Bacino della Basilicata nel mese di gennaio 2014 dal CNR-IRPI, presenta una serie di dissesti, in parte derivanti dagli effetti delle alluvioni di ottobre e dicembre 2013, ma che certamente legano la propria origine a situazioni ben più lontane nel tempo, ed al continuo degrado dell'ammasso roccioso ad opera degli agenti esogeni. La frana nel materiale colluviale al margine sud-orientale del pianoro, ed il cuneo roccioso in fase di potenziale distacco alle sue spalle, rappresentano gli elementi più evidenti di una situazione di dissesto che appare ben più generalizzata e grave, coinvolgendo l'intero pianoro, e, conseguentemente, i sottostanti insediamenti antropici. Ciò è ad esempio evidenziato dall'intenso stillicidio che si osserva nelle cavità sottostanti il pianoro a seguito di eventi piovosi, con l'acqua che tende ad allargare le discontinuità presenti e ad imbibire l'ammasso roccioso, indebolendo progressivamente la resistenza della calcarenite. Le analisi di stabilità eseguite, seppur preliminari, hanno dimostrato che si è in condizioni al limite della stabilità, e, considerando i sistemi di discontinuità presenti e il progressivo decadimento dei caratteri di resistenza dell'ammasso roccioso, che si potrebbe pervenire a collassi che coinvolgerebbero soprattutto le porzioni di ammasso a copertura delle cavità.

Discorso analogo va fatto per la struttura del Castello: sebbene l'analisi delle condizioni strutturali dell'opera esuli dalle competenze degli scriventi, appare comunque chiaro che il Castello versa a dir poco in una situazione di profondo abbandono e degrado. I tetti sfondati consentono alle acque piovane di infiltrarsi all'interno delle strutture murarie, allargando anche in maniera vistosa le numerose lesioni presenti, che ne minano l'integrità. Il rilievo e le osservazioni delle evidenze di dissesto nelle cavità site nei dintorni della struttura hanno inoltre consentito di evidenziare una situazione estremamente grave, in particolare sul **pendio meridionale del Castello** e nei pressi del relativo bastione all'angolo SW. Vi è in tale settore un serio rischio di possibile evoluzione per ulteriori crolli e distacchi, sia nel sottosuolo che in superficie, con più che probabili ripercussioni sulle opere murarie del Castello. I muri di contenimento, presenti su questo lato del Castello, risultano crollati in più punti (Fig. 40), e le parti rimanenti sono in condizioni estremamente precarie, non risultando più confinate lateralmente ed avendo perso la continuità della struttura muraria. Sarebbero opportuni e necessari interventi urgenti per la ricostruzione

dei muri, e per evitare ulteriori crolli. Le condizioni di abbandono della struttura complessiva del Castello sono, d'altra parte, tristemente evidenziate dal muro sottostante il lato sud, che appare sfondato e visibile da notevole distanza; anche qui si imporrebbe l'adozione di interventi urgenti, senza i quali vi è il rischio che si possa danneggiare irreparabilmente quello che è uno dei simboli del centro storico di Ginosa.



Figura 40. Pendio sud-orientale del Castello, con evidenze dei tratti di mura crollati.

In merito al censimento delle cavità antropiche rilevate, bisogna poi tenere in conto che vi è una notevole interazione tra cavità antropiche poste a livelli differenti: oltre ai caratteri singoli osservati in ciascuna cavità, va quindi considerato l'effetto derivante dalla sovrapposizione e/o dalla vicinanza tra cavità limitrofe, dato che un crollo che avviene in un ambiente ipogeo può avere ripercussioni sugli ambienti vicini a questo. Ad esempio, emblematica è la situazione delle cavità poste in **Via San Martino**, al margine nord-orientale del centro storico: qui è avvenuto uno sprofondamento in una cavità del secondo livello (a partire dal fondovalle della gravina), che ha messo in comunicazione la grotta con il sottostante ambiente ipogeo, evidenziando un complessivo stato di degrado dell'ammasso roccioso nella zona. Tale degrado è riconoscibile anche in altre cavità limitrofe, individuando così uno dei settori potenzialmente a maggiore rischio. Queste situazioni di complessità geometrica degli ipogei richiedono studi approfonditi e dettagliati a scala locale sulla base di appositi strumenti di analisi di tipo tridimensionale, attraverso i quali è possibile indagare l'effetto dell'interazione tra le diverse cavità.

Altra situazione di notevole importanza è quella relativa alla **Via Matrice**, la principale arteria stradale che margina il centro storico sul lato nord. Al di sotto di tale strada, in

almeno due punti sono state individuate cavità che si sviluppano ben al di sotto della strada stessa, evidenziando al loro interno situazioni di notevole instabilità, con crolli recenti e vuoti sotterranei di ampie dimensioni, ed altezze sino a 5 m. Non si esclude la possibilità che ulteriori, analoghe situazioni possano essere presenti in altri punti della strada, e si ritiene pertanto opportuno suggerire la esecuzione di una serie di indagini geofisiche volte ad indagare il sottosuolo ed a individuare eventuali altri ambienti ipogei. Lungo la Via Matrice, nonché nel pendio sottostante, risulta imprescindibile un accurato intervento finalizzato alla regimazione delle acque, per limitare al massimo la possibilità di infiltrazione nel sottosuolo, l'imbibimento dell'ammasso roccioso, e il conseguente degrado nei caratteri di resistenza dello stesso.

Risulta altresì evidente che in passato il passaggio continuo di automezzi e camion su Via Matrice, e i relativi carichi pesanti, viste alcune attività commerciali ubicate sulla stessa strada (anche all'interno delle stesse cavità), abbia svolto un ruolo peggiorativo delle condizioni di stabilità dei sottostanti ipogei e, più in generale, dell'intero pendio. La circolazione di automezzi su tali strade andrebbe regolamentata in maniera molto restrittiva, impedendo certamente il transito di mezzi pesanti ed evitando l'utilizzo di luoghi delicati quali le cavità sotterranee per attività che comportano ingenti carichi, nonché una interazione diretta tra liquidi e ammasso roccioso.

Allo stesso tempo, in tutta l'area del centro storico, i lavori periodici di manutenzione e ripristino delle tubazioni e reti infrastrutturali andrebbero eseguiti evitando il ricorso a strumenti e mezzi di percussione e/o vibrazione, i cui effetti sulle cavità sottostanti non sono facilmente controllabili.

Altro settore sul quale andrebbero svolti studi ed analisi è il **versante sud del centro storico**, presso il Villaggio Rivolta. Tale zona non è stata esaminata nel presente studio, risultando esterna rispetto alle aree interessate da ordinanze di sgombero, ma presenta ugualmente evidenze di dissesti (si veda lo sprofondamento individuato dal CNR-IRPI a febbraio 2014; Fig. 4, sito F in Fig. 1), con numerosi sistemi caveali sotterranei. Anche su tale lato del centro storico, insistono numerose abitazioni al di sopra del pendio interessato da cavità antropiche, e sarebbe pertanto opportuno estendere le analisi anche a quest'area, sia in relazione al censimento e rilievo delle cavità, che a specifiche analisi di stabilità.

Ipotesi di monitoraggio

Le principali ipotesi di monitoraggio prese in considerazione, e più volte discusse con i Dirigenti della Protezione Civile Regionale, oltre che con il Sindaco di Ginosa, in relazione al controllo di ampi settori del centro storico, ed in particolare delle aree sottoposte ad ordinanze di sgombero a causa dell'evento del 21 gennaio 2014, sono: (i) rilievi topografici da terra, e (ii) rilievi da satellite. I rilievi topografici da terra sarebbero realizzati in continuo mediante stazione robotizzata, eventualmente integrata da sistema dotato di macchina digitale ed elaborazione relativa delle immagini, al fine di rilevare possibili movimenti precursori dei crolli. Data la configurazione dell'area in esame, consistente in un ampio settore del centro storico, che si estende dalla zona del crollo del 21 gennaio 2014 sino al Castello ed al pendio opposto, questo tipo di monitoraggio si potrebbe però realizzare su tutta l'area soltanto posizionando almeno tre punti di stazione fissa, con conseguente aggravio economico per strumentazioni, mezzi ed elaborazioni dati.

Altra ipotesi è quella del monitoraggio da satellite, mediante interferometria satellitare, teoricamente in grado di misurare anche spostamenti verticali con grande precisione. Per poter raggiungere risoluzioni sufficienti alla comprensione dei fenomeni, è necessaria in questo caso l'acquisizione di lunghe serie storiche di dati, da processare ed elaborare per ricostruire le serie di movimento dei vari punti di riferimento al suolo (i cosiddetti "scatteratori permanenti"). Tale acquisizione richiede costi elevati, oltre a lunghi pre-processamenti ed elaborazioni delle immagini.

A prescindere dai costi connessi alle due ipotesi di monitoraggio complessivo del territorio, bisogna però precisare che, in relazione all'occorrenza di sprofondamenti connessi a cavità nel sottosuolo, non vi è ancora certezza nel mondo scientifico a riguardo della possibilità di individuare e misurare eventuali segnali precursori dei fenomeni, e pertanto di fornire indicazioni su un possibile stato di allerta. Data questa incertezza, e il fatto che si è tuttora di fronte ad argomenti oggetto di approfondimenti e di confronti a livello scientifico, si suggerisce altresì di procedere con monitoraggi puntuali, riguardanti le singole cavità considerate a maggiore suscettibilità o, eventualmente, settori all'interno dei quali insistono più cavità con evidenze di potenziali crolli.

Azioni a breve termine

Sulla base di quanto riportato nel presente studio, si suggeriscono le seguenti azioni, da mettere in atto a breve termine, al fine di pervenire da un lato ad un ulteriore accrescimento del quadro conoscitivo sulle cavità antropiche nel territorio di Ginosa e, dall'altro, alla messa in sicurezza di porzioni del centro storico:

- rimozione delle macerie del crollo del 21 gennaio 2014, con conseguente ispezione di ciò che resta delle sottostanti cavità;
- estensione dei rilievi delle cavità antropiche al resto del centro abitato;
- indagini geofisiche di tipo indiretto sulle arterie principali (a iniziare da Via Matrice, per tutto il suo sviluppo), al fine di verificare la presenza di anomalie, possibilmente riconducibili a ulteriori cavità, al momento sconosciute; nel caso si individuino cavità, queste dovranno essere oggetto di rilievi speleologici e geologici;
- regimazione delle acque piovane, per tutta l'area del centro storico, ma con particolare riguardo ai pendii al di sotto di Via Matrice, sul lato S (verso Villaggio Rivolta) e nella zona del pianoro del Castello; tale regimazione dovrebbe essere principalmente orientata alla riduzione dell'infiltrazione dell'acqua piovana nel sottosuolo interessato dalla presenza di cavità;
- controlli periodici dello stato di funzionamento delle reti idriche e fognarie, al fine di evitare perdite di acqua e relativa infiltrazione nel sottosuolo o, nel caso avvengano perdite, procedere alla tempestiva individuazione e alla risoluzione dei problemi;
- controlli periodici e monitoraggio delle cavità a suscettibilità da medio-alta ad alta, con continue attività di controllo e ricognizione;
- installazione di strumenti di misurazione (vetrini, fessurimetri, fessurimetri in continuo, ecc.) degli eventuali allargamenti di lesioni e fratture, e delle deformazioni, nelle cavità a suscettibilità da medio-alta ad alta;

- interventi di consolidamento nelle cavità a suscettibilità da medio-alta ad alta;
- miglioramento delle condizioni di aerazione delle cavità caratterizzate da tassi di umidità elevati;
- crollo controllato dei ruderi in evidente stato di dissesto presenti in vari punti del centro storico (non solo nei pressi del crollo del 21 gennaio 2014);
- rimozione dei rifiuti presenti nelle cavità, con particolare riguardo alla zona N del centro storico, a valle di Via San Martino e Via Matrice, sino alla zona del crollo del 21 gennaio 2014;
- eliminazione delle situazioni che comportino una interazione tra liquidi e ammasso roccioso all'interno di cavità antropiche.

Si sottolinea ancora una volta che qualunque studio e intervento sulle singole cavità aree non potrà prescindere da specifici rilievi volti a definire le geometrie degli ambienti ipogei, e le reciproche relazioni esistenti tra questi, nonché con l'urbanizzato; inoltre, date le caratteristiche peculiari dei siti, in precedenza esposte, sarà necessario procedere con analisi di stabilità mediante elaborazioni in 3D, al fine di caratterizzare compiutamente i siti di studio, e eliminare le approssimazioni insite nelle analisi di stabilità bi-dimensionali (si vedano a tal proposito le considerazioni in PARISE & LOLLINO, 2011; LOLLINO *et al.*, 2013), che in ragione delle complessità geometriche qui esistenti vanno intese come studio di carattere preliminare volte ad evidenziare soprattutto una suscettibilità all'instabilità dell'area.

In definitiva, le indicazioni che derivano dalle attività svolte in questi mesi sono tutte indirizzate alla necessità di un controllo periodico ed una manutenzione oculata della rete caveale esistente a Ginosa, che dovrà essere necessariamente eseguito o coordinato dagli uffici tecnici preposti al controllo ed alla pianificazione del territorio. Una volta individuate le situazioni critiche, queste andrebbero risanate o risolte (anche mediante l'eliminazione delle cavità stesse, se altre soluzioni non sono percorribili). La risoluzione dei problemi più critici porterebbe, d'altro canto, a valorizzare, anche mediante le opportunità offerte dal quadro normativo regionale in materia (FIORE *et al.*, 2011), quelle numerose situazioni che non presentano elementi di dissesto e che potrebbero servire alla creazione di un circuito virtuoso al fine di contribuire a rendere nuovamente fruibile il centro storico di Ginosa, che di per sé presenta una serie di valenze storiche, culturali, paesaggistiche e religiose di assoluto valore.

Ringraziamenti

Diverse persone ci sono state di grande aiuto nel corso delle attività svolte in questi mesi a Ginosa: è doveroso citare l'Architetto Ivan Risimini, che ci ha messo a disposizione un rilievo laser scanner della zona del pianoro del Castello, e Giambattista Sassi e Pietro Di Canio, che sono stati di prezioso supporto nel corso delle fasi di sopralluogo e rilievo delle cavità. Infine, un sentito ringraziamento va a tutti gli amici della Federazione Speleologica Pugliese, che si sono messi a totale disposizione, svolgendo con innegabile professionalità e competenza le delicate fasi di rilievo e la faticosa restituzione dei dati; in merito a quest'ultima, ci preme citare in particolare Giuditta Garziano, Samantha Santarcangelo e Vincenzo Martimucci.

Riferimenti bibliografici

- ANDRIANI G.F. & WALSH N. (2010) - *Petrophysical and mechanical properties of soft and porous building rocks used in Apulian monuments (south Italy)*. Geological Society, London, Special Publication, 333, 129 – 141.
- CHERUBINI C., REINA A. & BRUNO D. (2007) - *Le rocce tenere del Salento: proposta di classificazione con l'uso delle caratteristiche tecniche e meccaniche*. Geologi e Territorio, n. 2, 37 - 47.
- CALABRESE S. (2009) – *Relazione geologica sui fenomeni di dissesto per crollo avvenuti fra Via Pescarella e Via Il Fornace*. Relazione tecnica per il Comune di Ginosa, marzo 2009, 20 pp.
- DE GIOVANNI A., MARTIMUCCI V., MARZULLI M., PARISE M., PENTIMONE N. & SPORTELLI D. (2011) - *Operazioni di rilievo e analisi preliminare dello sprofondamento in località San Procopio (Barletta) del 2-3 maggio 2010*. Atti VII Convegno Nazionale di Speleologia in Cavità Artificiali, Urbino, 4-8 dicembre 2010, Opera Ipogea, n. 1/2, p. 151-158.
- DEL PRETE S. & PARISE M. (2007) - *L'influenza dei fattori geologici e geomorfologici sulla realizzazione di cavità artificiali*. Opera Ipogea, anno 9, n. 2, 3-16.
- DE WAELE J., GUTIERREZ F., PARISE M. & PLAN L. (2011) - *Geomorphology and natural hazards in karst areas: a review*. Geomorphology, vol. 134 (1-2), p. 1-8.
- FIGLIORE A. & PARISE M. (2012) - *Sprofondamenti connessi a cavità di origine antropica in Puglia*. Geologia dell'Ambiente, n. 2, suppl., Atti Convegno Nazionale "Dissesto Idrogeologico. Il pericolo geoidrologico e la gestione del territorio in Italia", Roma, 10 giugno 2011, p. 41-45.
- FIGLIORE A., MARTIMUCCI V. & PARISE M. (2011) - *Nuove opportunità per la conservazione e valorizzazione delle cavità artificiali in Puglia*. Atti VII Convegno Nazionale di Speleologia in Cavità Artificiali, Urbino, 4-8 dicembre 2010, Opera Ipogea, n. 1/2, p. 187-192.
- GALEAZZI C. (2013) – *The typological tree of artificial cavities: a contribution by the SSI Commission*. Opera Ipogea, n. 1, p. 9-18.
- HOEK E. & BROWN E.T. (1997) - *Practical estimates of rock mass strength*. Int. J. Rock Mech Min. Sciences, 34 (8), 1165–1187.
- HOEK E., CARRANZA-TORRES C. & CORKUM B. (2002) - *Hoek-Brown failure criterion – 2002 version*. Rocscience, www.rockscience.com
- INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS (1978) - *Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses*. Int. J. Rock Mech. Mining Sc. & Geomech. Abs., vol. 15, p. 319–368.
- LAGIOIA R. (1996) - *Comportamento meccanico di una calcarenite di Gravina di Puglia*. Rivista Italiana di Geotecnica, 4, 96 – 84.
- LOLLINO P. & PARISE M. (2010) - *Analisi numerica di processi di instabilità di cavità sotterranee e degli effetti indotti in superficie*. Atti 2° Workshop Internazionale "I sinkholes.

Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma, 3-4 dicembre 2009, p. 803-816.

LOLLINO P., MARTIMUCCI V. & PARISE M. (2013) - *Geological survey and numerical modeling of the potential failure mechanisms of underground caves*. Geosystem Engineering, vol. 16 (1), p. 100-112.

MATSUI T. & SAN K.C. (1992) - *Finite element slope stability analysis by shear strength reduction technique*. Soils & Foundation, 32(1), 59 - 70.

PARISE M. (2007) - *Pericolosità geomorfologica in ambiente carsico: le gravine dell'arco ionico tarantino*. Atti e Memorie Commissione Grotte "E. Boegan", vol. 41, p. 81-93.

PARISE M. (2008) - *Rock failures in karst*. In: CHENG Z., ZHANG J., LI Z., WU F. & HO K. (Eds.), *Landslides and Engineered Slopes*. Proc. 10th International Symposium on Landslides, Xi'an (China), June 30 – July 4, 2008, vol. 1, 275-280.

PARISE M. (2011) - *Alcune considerazioni sulle cave sotterranee in Puglia e sulle relative problematiche*. Atti VII Convegno Nazionale di Speleologia in Cavità Artificiali, Urbino, 4-8 dicembre 2010, Opera Ipogea, n. 1/2, p. 217-224.

PARISE M. (2012a) - *Lo sviluppo degli insediamenti rupestri in funzione delle caratteristiche fisiografiche del territorio*. Atti Seminario Internazionale CRHIMA "Rupestrian settlements in the Mediterranean region", Massafra, Aprile-Maggio 2011, ISBN 978-88-96080-06-1, p. 133-138.

PARISE M. (2012b) - *A present risk from past activities: sinkhole occurrence above underground quarries*. Carbonates and Evaporites, vol. 27 (2), p. 109-118.

PARISE M. (2012c) - *Il dissesto idrogeologico in ambiente carsico*. Geologia dell'Ambiente, n. 2, suppl., Atti Convegno Nazionale "Dissesto Idrogeologico. Il pericolo geoidrologico e la gestione del territorio in Italia", Roma, 10 giugno 2011, p. 242-246.

PARISE M. & LOLLINO P. (2011). *A preliminary analysis of failure mechanisms in karst and man-made underground caves in Southern Italy*. Geomorphology, vol. 134, p. 132-143.

PARISE M., FEDERICO A., DELLE ROSE M. & SAMMARCO M. (2003) - *Karst terminology in Apulia (southern Italy)*. Acta Carsologica, vol. 32, no. 2, p. 65-82.

PARISE M., GALEAZZI C., BIXIO R. & DIXON M. (2013) - *Classification of artificial cavities: a first contribution by the UIS Commission*. In: FILIPPI M. & BOSAK P. (Editors), Proceedings 16th International Congress of Speleology, Brno, 21-28 July 2013, vol. 2, p. 230-235.

ROCSCIENCE (2013) - *RocLab v1.033*. User's manual.

