

GEOLOGI e TERRITORIO

Periodico di Scienze della Terra dell'Ordine dei Geologi della Puglia

ISSN: 1974-1189

Poste Italiane s.p.a. - Spedizione in abbonamento postale - D.L. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n° 46) art. 1 comma 1, DCB BA

SPELEOGENESI IPOGENICA SOLFUREA A SANTA CESAREA TERME, SALENTO

**Ilenia M. D'Angeli, Marco Vattano, Mario Parise, Maria Grazia Ieva,
Martina Cappelletti, Daniele Ghezzi, Jo De Waele**

SULLA INSTABILITÀ DELLE FALESIE E RELATIVE CONTROMISURE CON PARTICOLARE RIFERIMENTO AL TERRITORIO DI MELENDUGNO (LECCE)

**Antonio Federico, Marco Delle Rose, Corrado Fidelibus, Maurizio Orlando,
Luca Orlanducci, Massimiliano Scuro**



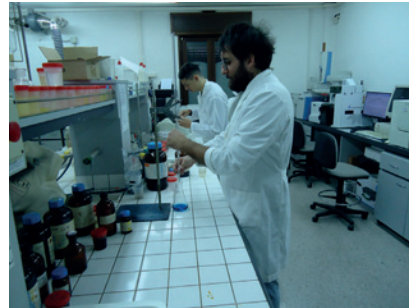
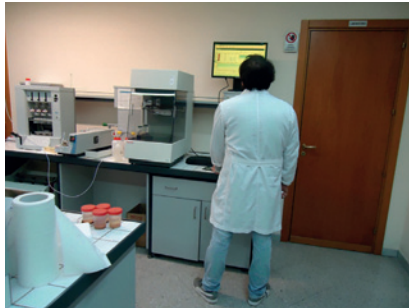
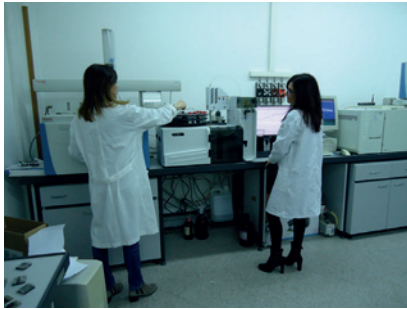


Centro Analisi Ambientali s.r.l.



Laboratorio di Ricerca e Analisi Chimiche
Fisiche e Batteriologiche - Acqua - Aria - Terreni
Rifiuti - Fanghi - Amianto - Radon - Rumori

**20 anni di attività professionale effettuata con impegno
nella ricerca, controllo ed analisi ambientali**



Centro Analisi Ambientali è inoltre Società di consulenza su varie tematiche ambientali:

- Siti inquinati: piani di caratterizzazione, monitoraggio, analisi del suolo; in Atmosfera;
- Valutazione di impatto delle Emissioni in Atmosfera;
- Studio di Dispersione degli Inquinanti con modello tridimensionale tipo CALPUFF;
- Valutazione Previsionale di Impatto Acustico, definizione della mappa di rumorosità secondo le norme ISO 1996/1, 1996/2, 9613/2;
- Piani di Monitoraggio ambientale sulle matrici acqua, aria e suolo;
- Valutazioni ambientali: VIA - VAS - AUA - AIA;
- Campionamenti ambientali ed in condotto.



**Preventivi gratuiti e personalizzati
Sconti particolari ai geologi.**



Centro Analisi Ambientali S.r.l.

Via F.lli Bandiera ang. G. Tell - 73042 Casarano (LE) - tel/fax 0833 513525
www.centroanalisiambientali.com e-mail: amministrazione@centroanalisiambientali.com
Cod. Fisc. e P.I. 03208850754

GEOLOGI e TERRITORIO

Periodico dell'Ordine Regionale
dei Geologi - Puglia
Anno XV - n. 1/2018

Direttore editoriale:
Valletta Salvatore

Direttore responsabile:
Alfarano Espedito

Comitato di redazione:
Amedei Giovanna, Dibenedetto Michele,
De Razza Tiziana, Bonora Davide,
d'Amico Nicola A., Ieva Maria Costantina,
Quarta Giovanni, Tanzarella Vincenzo,
Valletta Salvatore

Comitato scientifico:
Baldassarre Giuseppe, Borri Dino,
Bruno Giovanni, Capolongo Domenico,
Cotecchia Federica, Del Gaudio Vincenzo,
Dellino Pierfrancesco, Di Fazio Antonio,
Fornelli Annamaria, Gallicchio Salvatore,
Leucci Giovanni, Monterisi Luigi,
Negri Sergio, Pagliarulo Rosa,
Paglionico Antonio, Polemio Maurizio,
Ricchetti Giustino, Sabato Luisa, Sansò Paolo,
Santaloia Francesca, Simeone Vincenzo,
Spilotro Giuseppe, Walsh Nicola

Coordinamento scientifico:
Quarta Giovanni, Valletta Salvatore

Segreteria di redazione:
Ieva Maria Costantina, Spizzico Silvio

Redazione, Amministrazione e Pubblicità:
Ordine dei Geologi - Puglia
Via Junipero Serra, 19 - 70125 Bari
www.geologipuglia.it - info@geologipuglia.it

Stampa:
Sagraf Srl - Z.I. Capurso (BA)

Autorizzazione del Tribunale di Bari:
n. 29 del 16.06.2004

Chiuso in tipografia il 9 luglio 2018

SOMMARIO

2

Editoriale del Presidente dell'ORG - Puglia
Salvatore Valletta

3

**SPELEOGENESI IPOGENICA SOLFUREA
A SANTA CESAREA TERME, SALENTO**
*Ilenia M. D'Angeli, Marco Vattano, Mario Parise,
Maria Grazia Ieva, Martina Cappelletti, Daniele Ghezzi,
Jo De Waele*

13

**SULLA INSTABILITÀ DELLE FALESIE E RELATIVE
CONTROMISURE CON PARTICOLARE
RIFERIMENTO AL TERRITORIO
DI MELENDUGNO (LECCE)**
*Antonio Federico, Marco Delle Rose, Corrado Fidelibus,
Maurizio Orlando, Luca Orlanducci, Massimiliano Scuro*



Foto di copertina:
Speleotemi e depositi di zolfo
all'interno di Grotta Gattulla,
S. Cesarea Terme (foto M. Parise).

Con questo numero avviamo il quindicesimo anno di vita del periodico “Geologi e Territorio” mentre facciamo il bilancio del primo anno di attività del Consiglio 2017-2021.

In questi mesi abbiamo proseguito ed intensificato le attività di comunicazione aggiungendo recentemente l’attivazione di una specifica pagina Facebook per poter fornire un ulteriore supporto informativo riguardante le attività promosse dall’Ordine.

L’Ordine dei Geologi della Puglia con il Consiglio Nazionale dei Geologi e la maggior parte degli Ordini Regionali, ha promosso innanzi al TAR Lazio, il ricorso amministrativo per l’annullamento parziale del D.M. 17 gennaio 2018 in materia di “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni”, in vigore dallo scorso 22 marzo.

L’aggiornamento delle NTC vede ancora la relazione geologica ed i temi da essa trattati, un documento puramente accessorio rispetto alla progettazione, creando uno squilibrio nell’interazione tra geologia e geotecnica, materie scientificamente riconosciute come simbiotiche.

Il Consiglio Nazionale e gli Ordini Regionali aderenti hanno ritenuto doveroso e necessario ricorrere alla tutela giurisdizionale, al fine di difendere non solo la nostra categoria professionale, ma anche e soprattutto, l’interesse generale alla prevenzione dei rischi connessi ad una attività edificatoria che spesso ignora le pericolosità geologiche e sismiche.

L’Ordine ha continuato a monitorare, con il contributo delle segnalazioni dei colleghi, la corretta applicazione della normativa sui bandi pubblici per sostenere le competenze professionali dei geologi, come nel caso di bonifiche e messa in sicurezza di cavità antropiche. A tal proposito è il caso di citare la sentenza n. 1036 del 21 giugno 201 del TAR Puglia, sede di Lecce, con la quale è stato affermato l’importante principio che, in virtù del vigente quadro normativo, i Geologi debbono essere considerati a tutti gli effetti quali progettisti per ciò che concerne le attività riservate alla loro esclusiva competenza; inoltre, tale attività di progettazione può riguardare sia interventi geologici strutturali che non strutturali.

Nell’ambito delle attività inerenti l’APC, il Consiglio, ha favorito e diffuso con opportune circolari le novità introdotte dal nuovo Regolamento e dalla successiva Circolare esplicativa. In merito alla formazione dei geologi pugliesi, il Consiglio, pur favorendo e proponendo eventi formativi di carattere generale, ha cercato di focalizzare la formazione su temi specialistici riguardanti soprattutto le tematiche geotecniche, anche in vista della entrata in vigore delle NTC 2018, e di quelle inerenti le tematiche di misura e rilievo del Radon, che ha visto in Puglia l’applicazione della legge regionale n. 30/2016 modificata dalla legge 36/2017.

Anche quest’anno intendiamo aderire alla 6^a edizione della “Settimana del Pianeta Terra - l’Italia alla scoperta delle Geoscienze”, importante manifestazione nazionale finalizzata alla diffusione dei temi della cultura geologica che in Puglia ci vedrà impegnati, dal 14 al 21 ottobre prossimo, con eventi presso alcune scuole secondarie di secondo grado.

Allegato alla rivista troverete il volume di Francesco Forte “Le alluvioni e le avversità del tempo atmosferico nel Salento leccese” che il Consiglio dell’Ordine ha inteso pubblicare per l’opportuna diffusione dei lavori dei colleghi.

SPELEOGENESI IPOGENICA SOLFUREA A SANTA CESAREA TERME, SALENTO

Ilenia M. D'Angeli¹, Marco Vattano², Mario Parise³, Maria Grazia Ieva¹,
Martina Cappelletti⁴, Daniele Ghezzi⁴, Jo De Waele¹

¹Istituto Italiano di Speleologia, Dipartimento di Biologia, Geologia e Scienze Ambientali, Università di Bologna
dangeli.ilenia89@gmail.com; maria.grazia.ieva@gmail.com; jo.dewaele@unibo.it

²Dipartimento di Scienze della Terra e Scienze Marine, Università di Palermo - marco.vattano@unipa.it

³Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, Università Aldo Moro, Bari - mario.parise@uniba.it

⁴Laboratorio di Microbiologia Applicata e Ambientale, Dipartimento di Farmacia e Biotecnologie (FaBit), Università di Bologna
martina.cappelletti2@unibo.it; daniele.ghezzi3@unibo.it

RIASSUNTO

Santa Cesarea Terme (provincia di Lecce) rappresenta l'unica area del Salento, e in generale della regione Puglia, nella quale siano state documentate grotte ipogeniche. Questa area è caratterizzata dalla risalita di fluidi termali solfurei che si miscelano sia con le acque di precipitazione meteorica che con quelle marine. Le quattro grotte solfuree attive oggetto del presente articolo (Grotta Gattulla, Grotta Fetida, Grotta Solfurea, e Grotta Solfatara) presentano morfologie e depositi tipici dei processi ipogenici solfurei. Interessanti filamenti di origine microbica galleggiano nelle acque solfuree, mentre gesso secondario, zolfo nativo, *moonmilk* e vermicolazioni abbondano sulle pareti delle aree in cui il degassamento di H₂S è dominante.

Parole chiave: speleogenesi, acque termali, grotte ipogeniche, microbiologia, zolfo

INTRODUZIONE

Il territorio della regione Puglia è uno dei settori italiani in cui il processo carsico si esplica in maniera più evidente, grazie soprattutto all'abbondanza di continue successioni carbonatiche (Palmentola, 2002; Inguscio *et al.*, 2007; Parise, 2008). La Puglia si presenta come una penisola allungata e bagnata da due mari, il mar Adriatico e lo Ionio, con coste intensamente interessate da carsismo su entrambi i lati. Le evidenze principali consistono in manifestazioni carsiche lungo costa, e in grotte marine e costiere, diffuse in tutti i settori carsici pugliesi (Favale, 1994; Boenzi & Caldara, 1999; Rudnicki, 2003; Onorato *et al.*, 2006; Inguscio *et al.*, 2007; De Waele *et al.*, 2011), ma soprattutto in numerosi sprofondamenti carsici sulle zone di litorale, talora con formazione di estese aree paludose (Delle Rose & Parise, 2002; Bruno *et al.*, 2008; Festa *et al.*, 2012; Margiotta *et al.*, 2012, 2016; Parise *et al.*, 2013, 2017; Basso *et al.*, 2013; Pepe & Parise, 2014). Il Salento, la propaggine più meridionale della penisola, è particolarmente ricca di cavità carsiche costiere (Onorato *et al.*, 1999, 2006; Poto *et al.*, 2006; Inguscio *et al.*, 2007; Margiotta & Sansò, 2014), alcune delle quali rappresentano siti di grande interesse paleontologico e archeologico, come la Grotta Romanelli (Stasi & Regalia, 1904; Blanc, 1921, 1930; De Lorentiis, 1933)

e la Grotta dei Cervi a Porto Badisco (Cipriani & Magaldi, 1979; Graziosi, 1980; Orofino, 1980), o siti turistici come la Grotta Zinzulusa (Parise, 2011; D'Agostino *et al.*, 2015).

In questo scenario, l'area di Santa Cesarea Terme (Fig. 1A) riveste un ruolo essenziale, essendo conosciuta sin dall'antichità per le sue caratteristiche acque termali solfuree. Nei primi anni del XIX secolo le grotte di Santa Cesarea iniziarono a destare interesse negli studiosi, tanto che, come riporta Cosimo De Giorgi nella sua "*Descrizione geologica, fisica e idrografica della Provincia di Lecce*" (1922) per la loro origine furono anche fatte ipotesi di connessioni a fenomeni vulcanici (Milano, 1815); a parte tali ipotesi, non supportate da alcun elemento, pochi anni dopo furono avviati studi di maggiore scientificità, tra i quali anche le prime analisi delle acque solfuree (Brocchi, 1821; Danese & Greco, 1840; Micheli, 1924). Gli studi principali furono poi svolti dall'idrologo francese Aristide Mauget, il quale ipotizzò che la sorgente delle acque solfuree fosse localizzata a circa 500 metri di profondità (Mauget, 1875), dallo stesso Cosimo De Giorgi (1883, 1901), e da Vincenzo De Donno (1899, 1911a, b). Nei primissimi anni del XX secolo, ulteriori analisi chimiche e microbiologiche evidenziarono poi la fonte unica di provenienza delle acque termali di Santa Cesarea, la termalità crescente nelle parti più interne delle grotte, e la significativa presenza di batteri che contribuivano alla produzione di idrogeno solforato e ammoniaca (Gorini, 1889; Biginelli, 1899, 1900).

Successivamente a tale intensa fase di ricerche, le grotte di Santa Cesarea Terme sono state poi trattate solo da sporadici studi (Gabriele, 1933, 1959), con qualche approfondimento a partire dagli anni '70-'80, ai quali si farà riferimento più avanti. In questo articolo, oltre a riassumere brevemente i principali caratteri geologici e la peculiare idrogeologia dell'area, descriviamo le morfologie riconosciute nelle grotte, che evidenziano la loro origine ipogenica, e i depositi mineralogici e microbiologici.

GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA CARSIKA

Le acque solfuree di Santa Cesarea Terme circolano lungo la costa Adriatica salentina, all'interno di carbonati tipici di ambiente di piattaforma (Ricchetti *et al.*, 1988;

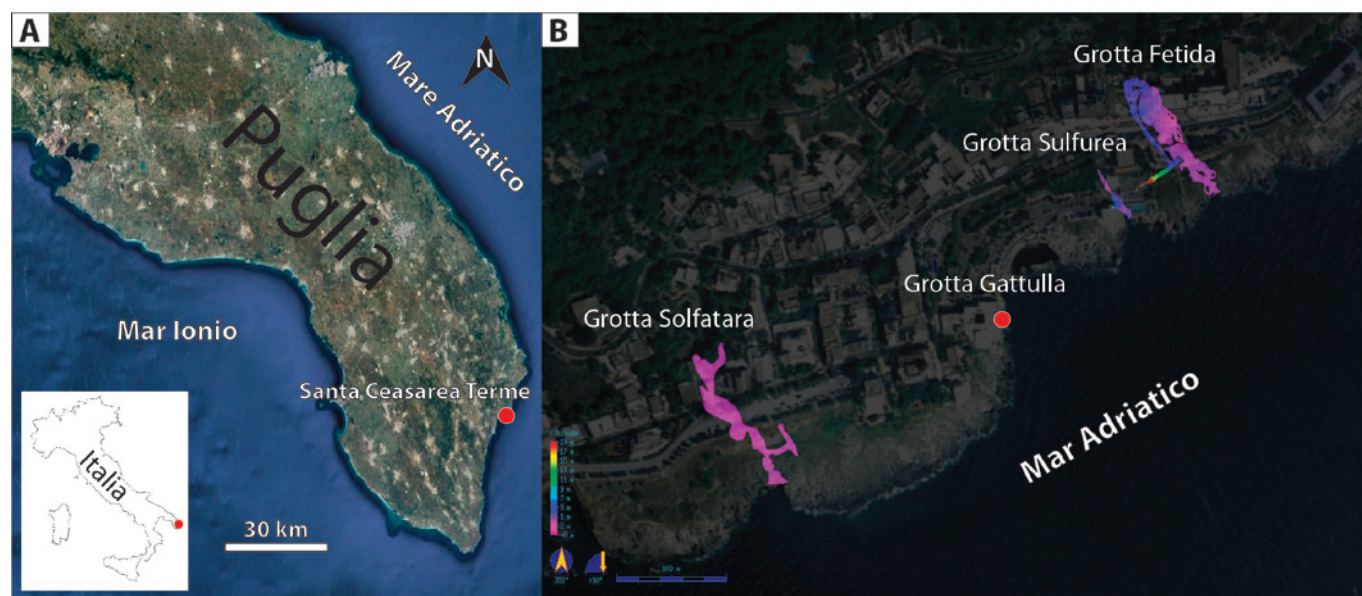


Figura 1 – A: Immagine Google Earth che mostra la localizzazione di Santa Cesarea Terme (indicata in rosso). B: Ubicazione delle cavità esaminate (Grotta Gattulla, Grotta Fetida, Grotta Sulfurea, e Grotta Solfatara), con indicazione dei relativi sviluppi planimetrici, come dai rilievi effettuati dalla Federazione Speleologica Pugliese (FSP).

Bosellini *et al.*, 1999; Bossio *et al.*, 2005) costituiti da una successione di spessore di circa 5 km di calcari e dolomie Giurassico-Cretaciche, poggianti su evaporiti Triasiche, e ricoperta da rocce carbonatiche Cenozoiche. Già dall'inizio del Triassico, l'area era parte della piattaforma carbonatica Apula che si depositava in acque marine superficiali (Mostardini & Merlini, 1986). Dal Cretaceo l'area fu sottoposta a diversi cicli trasgressivo-regressivi che portarono alla formazione di superfici erosive non conformi, e durante il Pleistocene medio essa fu soggetta a sollevamento regionale (Doglioni *et al.*, 1994). Le principali strutture geologiche in prossimità di Santa Cesarea Terme mostrano discontinuità estensive, trans-tensionali, interessanti sistemi *pull-apart*. Le faglie NW-SE sono le più diffuse, mentre subordinati risultano i lineamenti NE-SW, E-W, and N-S. I sistemi NW-SE trans-tensionali sembrerebbero essere i più recenti (Zuffianò *et al.*, 2013), e rappresentano le strutture preferenziali per lo sviluppo dei processi carsici nell'area. Le sorgenti termali sono localizzate, così come il paese di Santa Cesarea Terme, su un alto strutturale, mentre le grotte si sviluppano seguendo i lineamenti NW-SE. L'area di studio ospita diverse forme di carsismo superficiale (Parise & Pepe, 2016) come doline e bacini endoreici, nonché brevi accenni di valli fluvio-carsiche chiamate localmente "lame" (Parise *et al.*, 2003). Nonostante vi siano numerose manifestazioni di carsismo ipogeo anche nell'entroterra, con grotte carsiche a sviluppo planimetrico limitato a poche centinaia di metri, e circa 40 m di profondità (la principale è la Vora di Vitigliano, PU 143 nel Catasto delle Cavità Naturali della Regione Puglia; <http://www.catasto.fspuglia.it>), le principali morfologie carsiche sotterranee si distribuiscono lungo la costa, e si esplicano nelle tre grotte localizzate all'interno dell'area termale (PU105 Grotta Gattulla, PU102 Grotta

Fetida, e PU103 Grotta Sulfurea), e in una quarta, poco più a sud lungo la costa (PU914 Grotta Solfatara) (Fig. 1).

LE GROTTI DI SANTA CESAREA TERME

Le grotte di Santa Cesarea Terme sono state descritte, come precedentemente accennato, sin dal 1800 da diversi autori, i maggiori dei quali sono certamente stati il Mauget (1875) e il De Giorgi (1883), e sono state usate per trattamenti sanitari dal 1930 (Corti, 1992). Esse rappresentano un'importante attrattiva turistica lungo la costa Adriatica meridionale. Però, oltre al turismo e ai trattamenti terapeutici (Dell'Oca, 1962), le grotte sono interessanti siti di approfondimenti scientifici, essendo indubbiamente le più evidenti grotte di origine ipogena della Puglia (*sensu* Klimchouk, 2007, 2017; De Waele *et al.*, 2014; D'Angeli *et al.*, 2017a). Le cavità carsiche si sviluppano per pochi centinaia di metri verso l'entroterra, seguendo le fratture N30°E, perpendicolari a questo tratto di costa. Nelle zone più interne delle grotte, si osservano risalite di acque termali profonde ricche di H₂S. Le gallerie generalmente presentano una sezione di 3-4 m e raramente raggiungono i 10 m, non si osservano chiari segni di livelli di stazionamento del mare precedenti all'attuale. Tutte e quattro le grotte sono parzialmente allagate da acque opalescenti e lattiginose sulfuree, che risalgono lungo faglie profonde, e si miscelano con le acque marine (Fig. 2).

Dalle analisi geochimiche si evince che le acque termali ricadono all'interno del quadrante delle acque solfato-clorurato-alcine (Na-Cl-SO₄) del diagramma di Ludwig-Langelier, con pH medio di 7.2 (dato relativo al monitoraggio eseguito da ottobre 2015 a maggio 2018). Il minimo valore di pH è 6.76, chiaramente indice di acque acide profonde, mentre il più alto registrato è stato

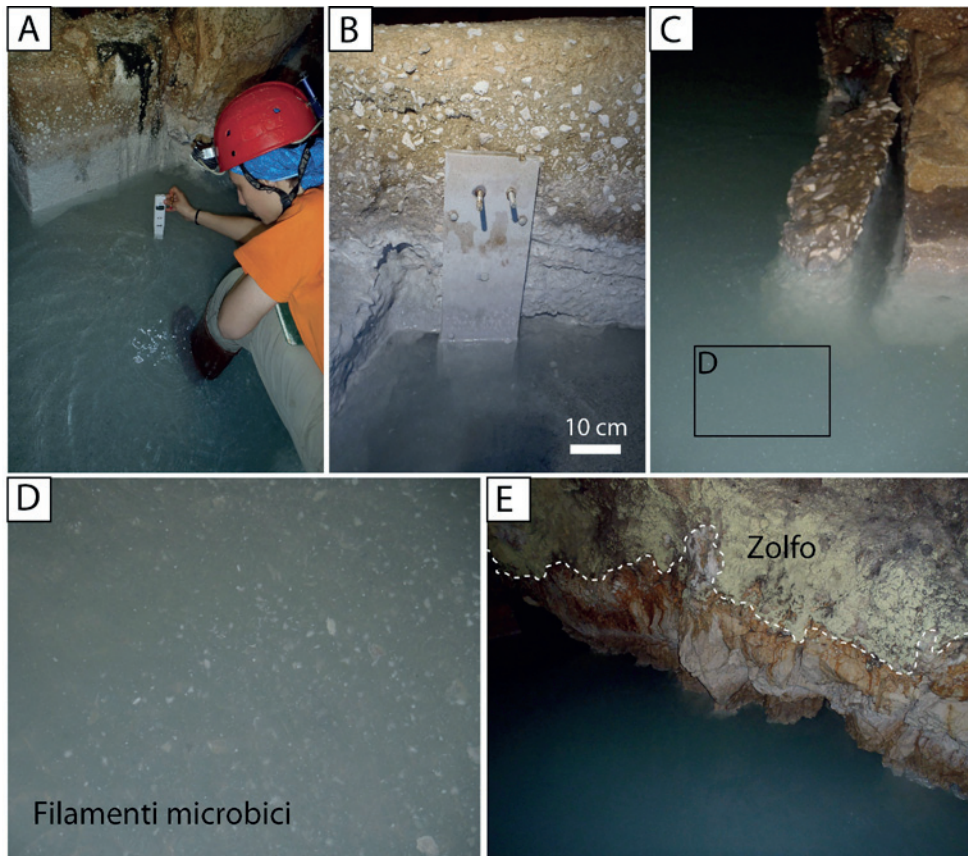


Figura 2 – A: Monitoraggio delle acque nella Grotta Gattulla. B: Lastra di calcare per monitorare il tasso di dissoluzione lungo una superficie verticale. La lastra risulta totalmente coperta da una patina bianca e la parete retrostante mostra una superficie bianca che rappresenta il livello raggiunto dall’alta marea nella Grotta Gattulla. C: I fluidi profondi termali hanno un aspetto lattiginoso e opalescente e contengono filamenti bianchi di origine microbica. D: Ingrandimento dei filamenti visibili nelle acque. E: Al di sopra delle acque si deposita zolfo elementare, che ricopre il gesso di sostituzione. Grotta Gattulla. Fotografie: M. Parise.

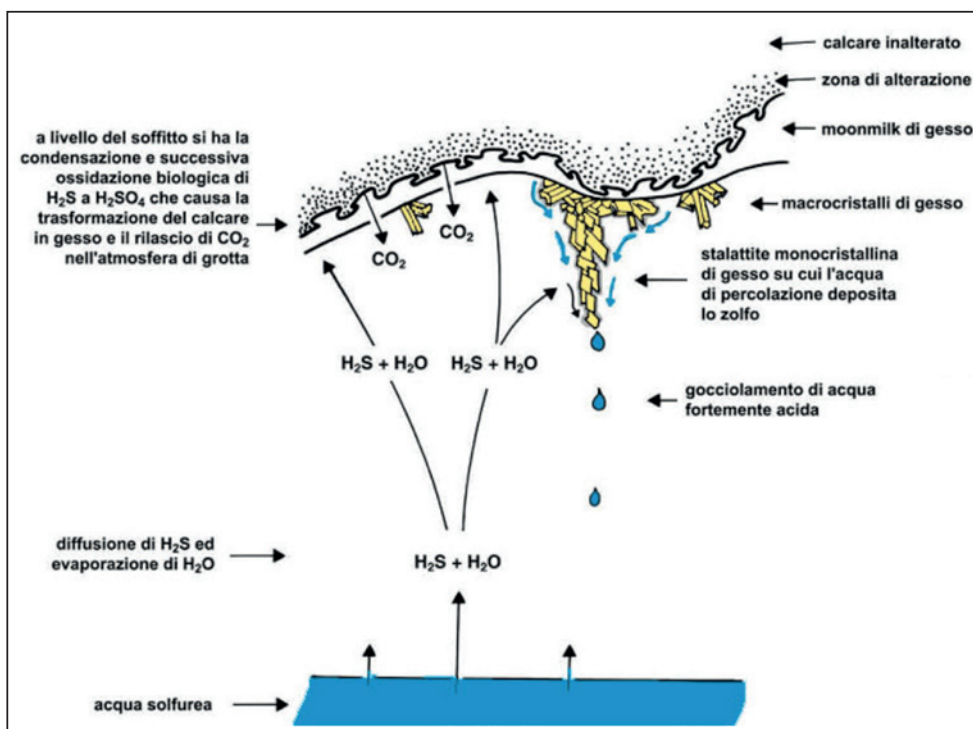


Figura 3 – Schema illustrativo delle reazioni chimiche e dei processi di corrosione e deposizione in sistemi sulfurei (da Forti & Mocchiutti, 2004).

8.1, principalmente influenzato dal mescolamento con le acque marine (che presentano pH di 8.19). Valori di pH molto bassi non sono mai stati osservati, soprattutto a causa dell’effetto tampone delle rocce carbonatiche, che neutralizza i fluidi acidi durante la risalita. Come dimo-

strato anche da altri autori, la geochimica delle acque in queste località è fortemente dipendente dalle fluttuazioni di marea (Visintin, 1945; Polemio *et al.*, 2012), al pari della concentrazione di H₂S, fortemente variabile.

I principali processi ipogenici che avvengono all’in-

terno delle grotte di Santa Cesarea Terme sono legati al degassamento dell' H_2S nell'atmosfera, ma anche alla sua abbondante presenza nelle acque.

La fonte di H_2S in questo contesto potrebbe derivare sia dalla riduzione termale e/o batterica dei solfati (SO_4^{2-}) delle evaporiti Triassiche profonde (Galdenzi & Menichetti, 1995), sia di idrocarburi e di materiale organico presenti nelle profondità del Bacino Adriatico (Velaj, 2015). L' H_2S , una volta raggiunta la zona ossidante (falda superficiale o atmosfera ricca di O_2), si trasforma in H_2SO_4 , e immediatamente attacca la roccia carbonatica ($CaCO_3$), corrodendola e contemporaneamente sostituendola con gesso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) (Fig. 3).

Nelle grotte di Santa Cesarea Terme le pareti e le volte sono intensamente corrose a causa di processi di condensazione-corrosione (Fig. 4A), ossia legati alla condensazione del vapore caldo arricchito di H_2SO_4 che, condensando sulle zone più fredde (pareti e volte), tende a corrodere la roccia in posto e allargare ogni frattura formando una rete di discontinuità allargate e pendenti di roccia (Fig. 4D). La sostituzione del calcare con il gesso produce una grande varietà di depositi che vanno da delicati cristalli aciculari (Fig. 5D), incrostazioni dure, a materiali cremosi come pasta di dentifricio. Nella Grotta Gattulla, le pareti su cui è avvenuta la sostituzione del calcare con il gesso sono coperti da depositi laminari di zolfo giallo (Fig. 5A) spessi più di un centimetro (Fig. 5B) che si

formano al di sopra dell'attuale livello d'acqua.

Depositi di origine microbica sono state osservati e campionati in tutte le grotte esaminate: sulle pareti e volte si trovano vermicolazioni di colore variabile dal marrone al grigio (Fig. 5A-B) e *moonmilk* (latte di monte – Fisher, 1992; Hill & Forti, 1997; Forti, 2001; Northup & Lavoie, 2001) di colore bianco (Fig. 5C), mentre le acque sulfuree sono colonizzate da filamenti soffici galleggianti (Fig. 2D), che tendono a depositarsi sul fondo.

In quasi tutte le grotte i più comuni speleotemi vadosi (stalattiti, stalagmiti, colate, ecc.) sono assenti. Solo nella Grotta Sulfurea si trovano stalagmiti e colonne parzialmente corrose, attualmente posizionate circa 2 metri al di sotto del livello marino. Ciò dimostra che i processi ipogenici, legati alla risalita di acque sulfuree profonde, siano piuttosto recenti.

Differenti ipotesi sull'origine delle acque termali di Santa Cesarea Terme sono state proposte in letteratura (Zezza, 1980; Calò *et al.*, 1983; Calò & Tinelli, 1995), ma molte incertezze ancora esistono. Le grotte si sono sviluppate lungo un tratto di costa di 500 m alla quota attuale del livello marino, e si trovano esattamente alla base della falesia carbonatica. I *plume* ("pennacchi") di acque sulfuree profonde sono chiaramente riconoscibili lungo la costa, in corrispondenza dell'imbocco delle cavità, quando il mare è calmo, soprattutto grazie al loro aspetto lattiginoso.

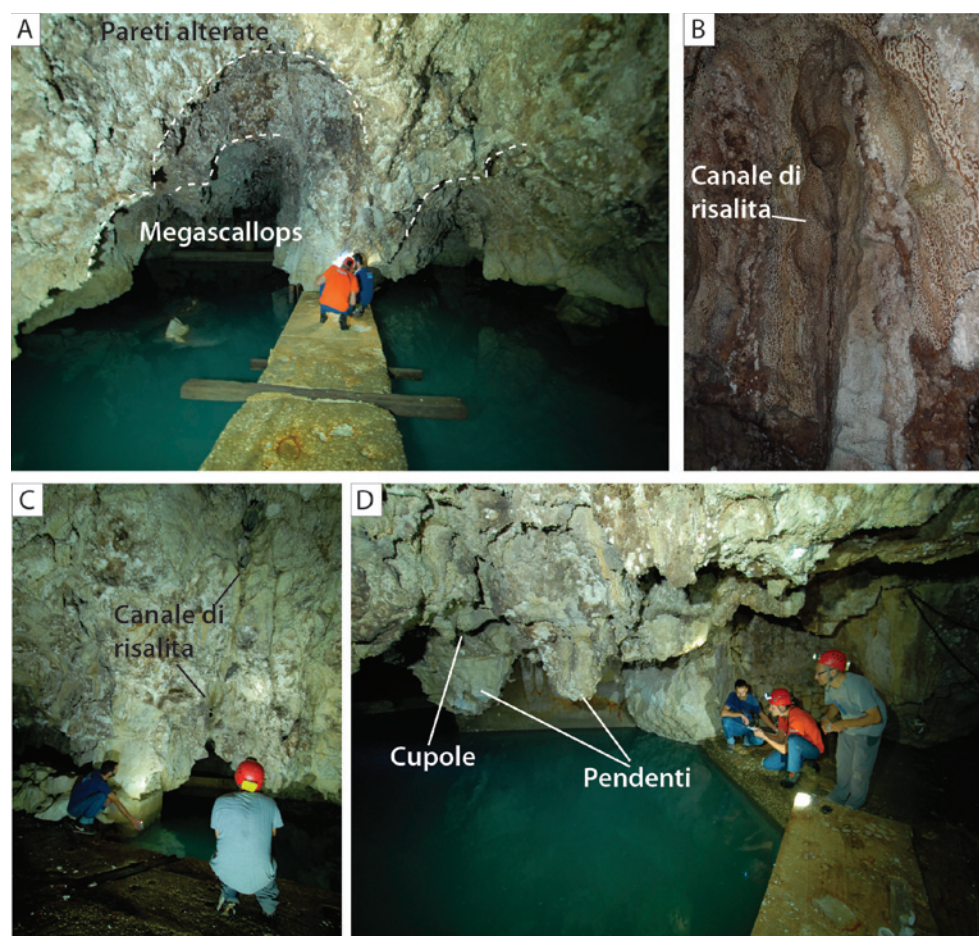


Figura 4 – Principali morfologie ipogeniche osservabili nella Grotta Fetida. A: *Megascallops* circolari lungo le pareti della zona interna della grotta, dovuti alla risalita dei vapori acidi. Le pareti risultano fortemente alterate. B e C: Canali di risalita che indicano la risalita dei vapori acidi lungo discontinuità. D: Il degassamento dell' H_2SO_4 , dopo l'ossidazione dell' H_2S , produce la corrosione delle volte formando cupole e pendenti. Fotografie: M. Vattano.

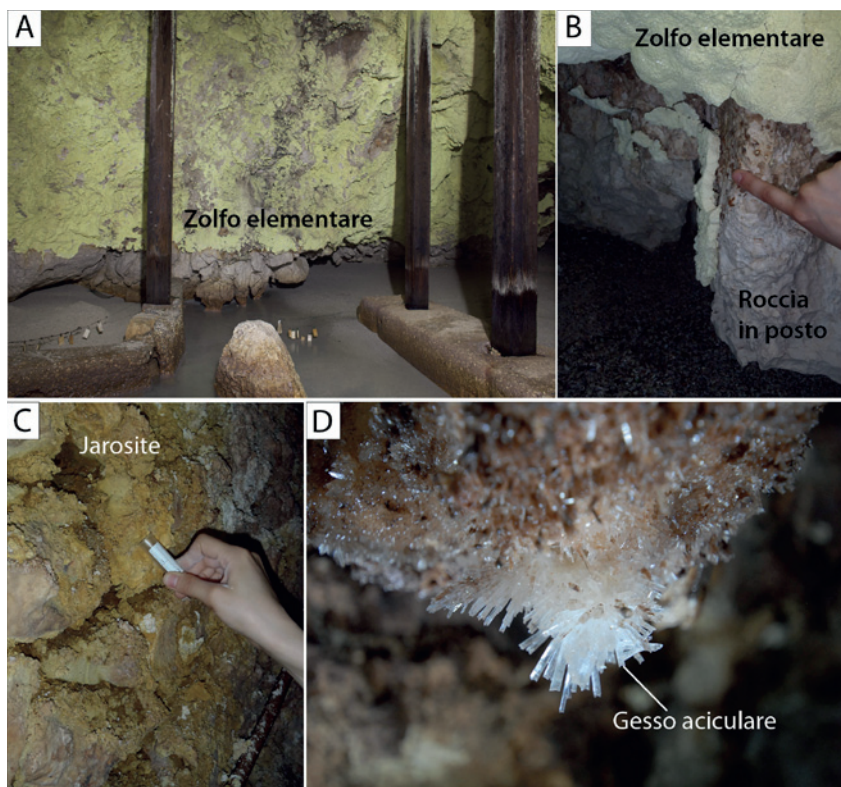


Figura 5 – Principali depositi mineralogici riconosciuti nelle grotte di Santa Cesarea Terme. A: Depositi di zolfo elementare sulle pareti della Grotta Gattulla, sopra il livello d’acqua. La foto è stata scattata durante un momento di bassa marea (foto: O. Lacarbonara). B: Lo zolfo si forma sul gesso a contatto con la roccia in posto; presenta una struttura laminare ed ha spessore maggiore di un centimetro (foto: M. Parise). C: Depositi giallo-arancio di jarosite nella Grotta Fetida (foto: M. Parise). D: Cristalli aciculari di gesso visibili sulle volte della Grotta Fetida (foto: M. Vattano).

Le morfologie interne (*megascallops*, cupole, canali di risalita, tasche di sostituzione) (Fig. 4) e i depositi mineralogici (gesso, zolfo e jarosite) (Fig. 5) (D’Angeli *et al.*, 2018) sono associati alla speleogenesi sulfurea acida (il cui acronimo inglese è SAS-*Sulfuric Acid Speleogenesis*). Tali evidenze, assieme alle analisi geochimiche, contribuiscono a fornire nuovi elementi riguardo al mescolamento delle acque termali con quelle marine e/o meteoriche, e alla loro interazione con i carbonati, chiarendo la velocità di dissoluzione e quindi il tasso di corrosione della roccia. Proprio a tale scopo, sono stati avviati, e sono tuttora in corso, esperimenti finalizzati alla valutazione del tasso di corrosione in questi ambienti: sono state pertanto posizionate tavolette di calcare e gesso (Fig. 6D-E-F) in diversi punti delle grotte, in differenti contesti: in acqua, all’interfaccia acqua-aria, e sospese in aria (Fig. 7). Esse vengono monitorate stagionalmente per osservarne la perdita di peso, e valutare di conseguenza l’entità della corrosione in atto. Le osservazioni effettuate hanno permesso di capire che il punto di maggiore dissoluzione è la zona di interfaccia in cui si è misurata una perdita di peso del 4.97% in 910 giorni. In acqua, invece, i valori hanno raggiunto il 4.31% di perdita, mentre in aria si è osservato un aumento di peso pari a quasi l’1%. Tali risultati derivano dal fatto che nella zona di interfaccia il degassamento di H_2SO_4 e la sua ossidazione in acido solforico, sono sicuramente più abbondanti, producendo una maggiore acidità delle acque e quindi un aumento della trasformazione del calcare in gesso e la sua asportazione ad opera delle acque. Diversamente, l’incremento in peso riscontrato per le tavolette posizionate in aria è

principalmente dovuto alle incrostazioni di gesso che tendono a ricoprirle.

Dal punto di vista idrogeologico-geochemico le acque meteoriche si infiltrano all’interno dell’ammasso roccioso e incontrano le acque marine lungo l’alocline e nell’entroterra, producendo una certa acidità della soluzione che porta alla dissoluzione delle rocce carbonatiche (*coastal mixing dissolution*), ulteriormente incrementata dalla miscela con l’acqua di risalita profonda. Il campionamento stagionale delle acque ha consentito di osservare evidenti variazioni tra l’acqua prelevata lungo la costa (marina in senso stretto) e quelle di grotta. In generale le acque marine presentano mediamente TDS (solidi totali disciolti) di 25.9 g/L maggiore rispetto a quelle di grotta con valori medi di 18.9 g/L, mentre la temperatura delle prime (18°C) è leggermente minore di quelle termali (22.6°C); inoltre, il pH dell’acqua di mare è più alcalino con valori medi di 8.19 rispetto a 7.2 delle acque termali.

Santaloia *et al.* (2016) hanno dimostrato come le acque di Santa Cesarea Terme siano sottosature rispetto alla calcite, alla dolomite e al gesso. L’alto contenuto di litio (Zuffianò *et al.*, 2013) e la bassa concentrazione di trizio (Santaloia *et al.*, 2016, 2017) sarebbero degli ottimi indicatori dei tempi di residenza dell’acqua sotterranea nell’acquifero (Edmunds & Smedley, 2000). Questa evidenza, assieme all’analisi degli isotopi stabili dell’ossigeno $\delta^{18}O$ (tra -3.5 e +2 ‰) e deuterio δD (tra -23 e +5 ‰), suggerirebbero che le sorgenti termali siano alimentate da acqua con tempi di residenza lunghi (maggiore di 55 anni) collegati con circuiti profondi (Zuffianò *et al.*, 2013).

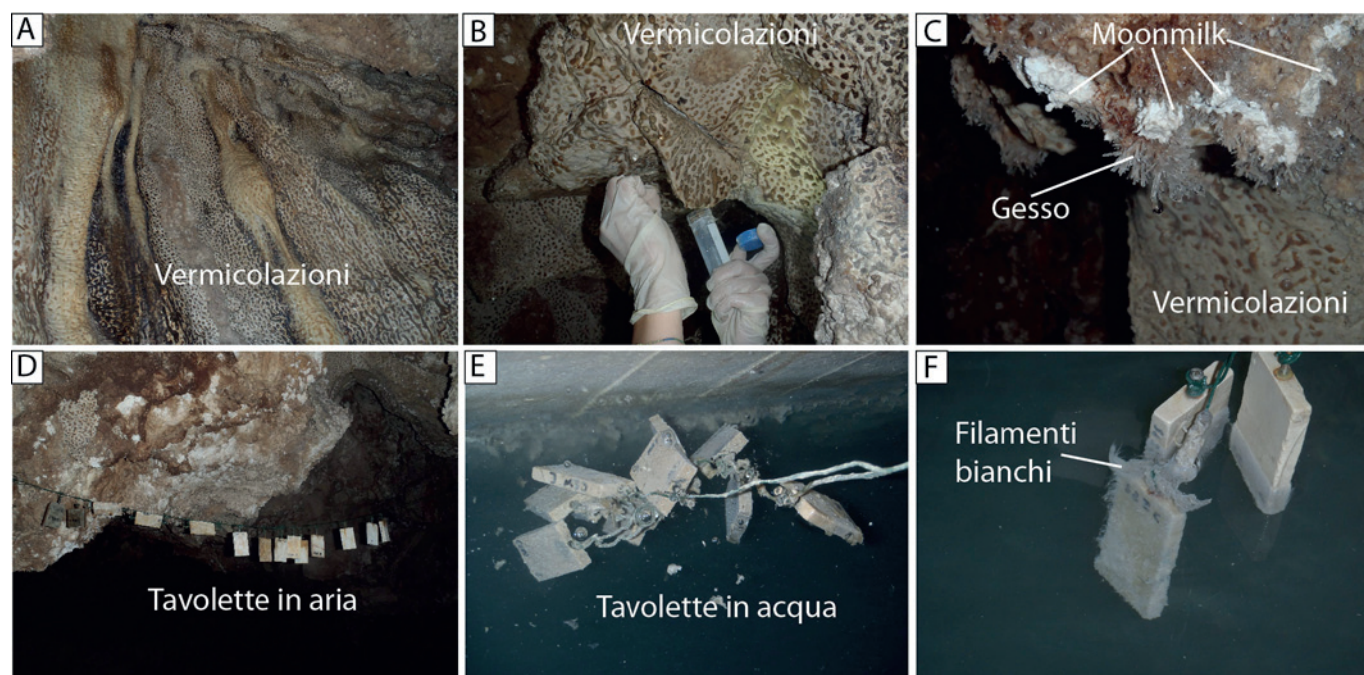


Figura 6 – Depositi di origine microbica e tavolette di calcare nella Grotta Fetida. A: Vermicolazioni sulle pareti della zona più interna della grotta. B: Campionamento microbiologico delle vermicolazioni. C: Depositi bianchi pastosi di *moonmilk* e cristalli aciculari di gesso. D: Tavolette di calcare posizionate vicino alla volta per monitorare il tasso di dissoluzione in atmosfera. E: Tavolette di calcare posizionate sott'acqua per monitorare il tasso di dissoluzione in acqua. F: Le tavolette di calcare in acqua sono avvolte da filamenti bianchi. Fotografie: M. Parise.

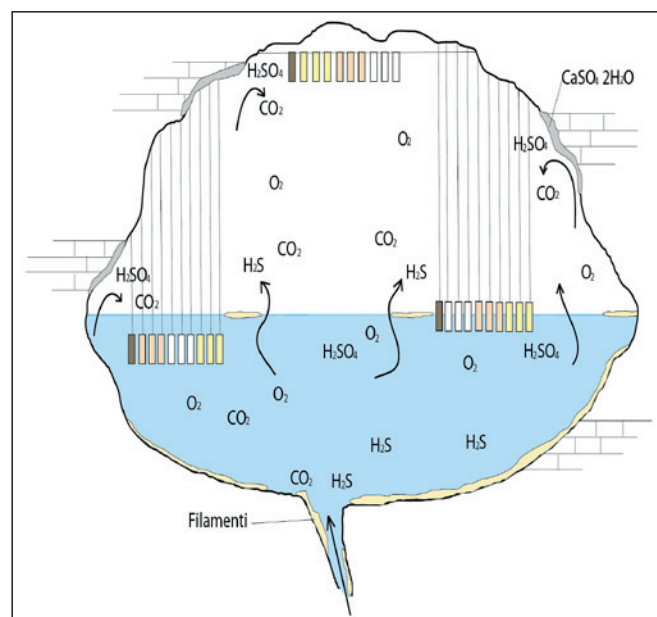


Figura 7 – Schema illustrativo del posizionamento delle tavolette per la misura del tasso di corrosione in grotta.

CONCLUSIONI E PROSSIMI STUDI

All'interno delle grotte di Santa Cesarea Terme sono state osservate e monitorate risalite profonde di acque termali sulfuree. Le morfologie interne come le tasche di dissoluzione, cupole (Fig. 4D), *megascallops* (Fig. 4A), canali di risalita (Fig. 4B-C), pendenti (Fig. 4D) e i minerali identificati (gesso, zolfo, jarosite), sono tipici del processo

ipogenico sulfureo. Il sistema è attivo, con acque ricadenti all'interno del quadrante Na-Cl-SO₄ del diagramma di *Ludwig-Langelier*, e colonizzate da filamenti bianchi e soffici di origine microbica. In prossimità dei punti di risalita termale, dove il degassamento di H₂S è significativo, le pareti e le volte sono abbondantemente coperte da vermicolazioni marroni e grigiastre, e da estesi depositi di *moonmilk* bianco.

Il mescolamento dei fluidi termali con l'acqua marina amplifica i processi di corrosione della roccia in posto. Il monitoraggio della perdita di peso delle tavolette posizionate in acqua, all'interfaccia, e in aria aiuterà a stabilire in quale ambiente la corrosione avviene con maggiore velocità, e a confrontare tali dati con quelli disponibili da altri sistemi ipogenici in Italia (Galdenzi, 2012). La caratterizzazione dei micro-organismi, e in particolare dei batteri solfo-ossidanti e solfo-riduttori (Jones, 2011; Jones *et al.*, 2015), fornirà inoltre importanti informazioni riguardo il loro ruolo nella speleogenesi delle grotte di Santa Cesarea Terme, come già evidenziato dai primi risultati degli studi in corso (D'Angeli *et al.*, 2017b).

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia lo staff delle Terme di Santa Cesarea Terme per la instancabile disponibilità. Ringraziamo inoltre tutte le persone che ci hanno aiutato durante il monitoraggio e nelle preparazioni dei materiali. Infine, si ringraziano Cristina Carbone dell'Università di Genova e Adriano Fiorucci, Fabrizio Bianco, e Bartolomeo Vigna per le analisi delle acque.

BIBLIOGRAFIA

- BASSO A., BRUNO E., PARISE M., PEPE M. (2013) - *Morphometric analysis of sinkholes in a karst coastal area of southern Apulia (Italy)*. Environmental Earth Sciences, 70 (6), 2545-2559.
- BIGINELLI F. (1899) - *Acque e fanghi delle grotte di S. Cesaria*. Annali di Farmacia e Chimica Biologica.
- BIGINELLI F. (1900) - *Analisi chimica delle acque di S. Cesaria*. Milano, Vallardi.
- BLANC G.A. (1921) - *Grotta Romanelli. I. Stratigrafia dei depositi e natura e origine di essi*. Arch. Antrop. Etnologico, Firenze, 39 pp.
- BLANC G.A. (1930) - *Grotta Romanelli. II. Dati ecologici e paleontologici*. Arch. Antrop. Etnologico, Firenze, 50 pp.
- BOENZI F., CALDARA M. (1999) - *Il Gargano: l'uomo e l'ambiente geologico*. L'Universo, a. 79, 6, 736-754.
- BOSELLINI A., BOSELLINI F.R., COLALONGO M.L., PARENTE M., RUSSO A., VESCOGNI A. (1999) - *Stratigraphic architecture of the Salento coast from Capo d'Otranto to Santa Maria di Leuca (Apulia, southern Italy)*. Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia, 105 (3), 397-416.
- BOSSIO A., MAZZEI R., MONTEFORTI B., SALVATORINI G. (2005) - *Stratigrafia del Neogene e Quaternario del Salento sud-orientale (con rilevamento geologico alla scala 1:25.000)*. Geologica Romana, 38, 31-60.
- BROCCHI G. (1821) - *Osservazioni geologiche fatte in Terra d'Otranto*. Napoli.
- BRUNO E., CALCATERRA D., PARISE M. (2008) - *Development and morphometry of sinkholes in coastal plains of Apulia, southern Italy. Preliminary sinkhole susceptibility assessment*. Engineering Geology, 99, 198-209.
- CALÒ G.C., TINELLI R. (1995) - *Systematic hydrogeological study of a hypothermal spring (S. Cesarea Terme, Apulia), Italy*. Journal of Hydrology, 165, 185-205.
- CALÒ G.C., SPIZZICO M., TINELLI R., ZEZZA F. (1983) - *Hydrogeological investigations on the area surrounding Santa Cesarea Terme springs (southern Apulia)*. Geologia Applicata e Idrogeologia, 18 (2), 129-144.
- CIPRIANI N., MAGALDI D. (1979) - *Composizione mineralogica delle pitture della Grotta di Porto Badisco*. Rivista di Scienze Preistoriche, 34, 263-267.
- CORTI E. (1992) - *Relazione sul Convegno Nazionale di Speleologia di Castro, 14-15-16 settembre 1936*. Itinerari Speleologici, 6, 89-97.
- D'AGOSTINO D., BECCARISI L., CAMASSA M., FEBBRORIELLO P. (2015) - *Microclimate and microbial characterization in the Zinzulusa show cave (South Italy) after switching to led lighting*. Journal of Cave and Karst Studies, 77(3), 133-144.
- DANESE R., GRECO P. (1840) - *Analisi chimica delle acque solforose di S. Cesaria nella provincial salentina eseguita nel 1839*. Giornale di Economia Rurale, Società Economica di Terra d'Otranto.
- D'ANGELI I.M., VATTANO M., PARISE M., DE WAELE J. (2017a) - *The Coastal Sulfuric Acid Cave System of Santa Cesarea Terme (Southern Italy)*. In: KLIMCHOUK A.B., PALMER A.N., DE WAELE J., AULER A., AUDRA P. (Eds.), Hypogene karst regions and caves of the world. Springer, 161-168.
- D'ANGELI I.M., DE WAELE J., IEVA M.G., LEUKO S., CAPPELLETTI M., PARISE M., JURADO V., MILLER A.Z., SAIZ-JIMENEZ C. (2017b) - *Next-generation sequencing for microbial characterization of biovermiculations from a sulfuric acid cave in Apulia (Italy)*. In: K. MOORE & S. WHITE (eds.), Proceedings of the 17th International Congress of Speleology. Australian Speleological Federation Inc., Sydney, 1, 377-380.
- D'ANGELI I.M., CARBONE C., NAGOSTINIS M., PARISE M., VATTANO M., MADONIA G., DE WAELE J. (2018) - *New insights on secondary minerals from Italian sulfuric acid caves*. International Journal of Speleology 47(3).
- DE DONNO V. (1899) - *Le Terme di Santa Cesaria*. Roma.
- DE DONNO V. (1911a) - *L'avvenire della Gattulla*. Trani, Vecchi.
- DE DONNO V. (1911b) - *La grotta termo-minerale di S. Cesaria in Terra d'Otranto*. Rassegna Pugliese, 26, Trani.
- DE GIORGI C. (1883) - *I bagni solfurei di Santa Cesarea in Terra d'Otranto*. Rivista di Idrologia Clim. Med., 4, 8.
- DE GIORGI C. (1901) - *Le Terme solfuree di S. Cesaria sull'Adriatico*. Tip. Ed. Salentina, Lecce.
- DE GIORGI C. (1922) - *Descrizione fisica, geologica e idrografica della Provincia di Lecce*. Tip. Ed. Salentina, Lecce.
- DELLE ROSE M., PARISE M. (2002) - *Karst subsidence in south-central Apulia Italy*. International Journal of Speleology, 31 (1/4), 181-199.
- DELL'OCA S. (1962) - *Note di speleologia economica*. Rassegna Speleologica Italiana, 1, 76-109.
- DE LORENTIS P. (1933) - *Grotta Romanelli. Stazione paleolitica in Terra d'Otranto*. Rinascita Salentina, Lecce.
- DE WAELE J., LAURITZEN S.E., PARISE M. (2011) - *On the formation of dissolution pipes in Quaternary coastal calcareous arenites in Mediterranean settings*. Earth Surface Processes and Landforms, 36 (2), 143-157.
- DE WAELE J., GALDENZI S., MADONIA G., MENICHETTI M., PARISE M., PIZZINI L., SANNA L., SAURO F., TOGNINI P., VATTANO M., VIGNA B. (2014) - *A review on hypogene caves in Italy*. In: KLIMCHOUK A., SASOWSKI I.D., MYLROIE J., ENGEL S.A., SUMMERS ENGEL A. (eds.), Hypogene Cave Morphologies, Karst Water Institute, special publication 18, 28-30.
- DOGLIONI C., MONGELLI F., PIERI P. (1994) - *The Puglia uplift (SE-Italy): an anomaly in the foreland of the Apenninic subduction due to buckling of a thick continental lithosphere*. Tectonics, 13 (5), 1309-1321.
- EDMUNDS W.M., SMEDLEY P.L. (2000) - *Residence time indicators in groundwater: the East Midlands Triassic sandstone aquifer*. Applied Geochemistry, 15, 737-752.
- FAVALE F. (ed.) (1994) - *Le grotte di Polignano*. Federazione Speleologica Pugliese, 250 pp.
- FESTA V., FIORE A., PARISE M., SINISCALCHI A. (2012) - *Sinkhole evolution in the Apulian karst of southern Italy:*

a case study, with some considerations on sinkhole hazards. *Journal of Cave and Karst Studies*, 74 (2), 137-147.

FISHER H. (1992) - *Type locality of mondmilch*. *Cave Science*, 19, 59-60.

FORTI P. (2001) - *Biogenic speleothems: an overview*. *International Journal of Speleology*, 30A, 39-56.

FORTI P., MOCCHIUTTI A. (2004) - *Le condizioni ambientali che permettono l'evoluzione di speleotemi di zolfo in cavità ipogeniche: nuovi dati dalle Grotte di Capo Palinuro (Salerno, Italia)*. *Le Grotte d'Italia*, ser. V, 4, 39-48.

GABRIELE L. (1933) - *Azione terapeutica delle acque e dei fanghi di S. Cesarea*. Tip. Capece, Maglie.

GABRIELE L. (1959) - *Il bacino imbrifero di S. Cesarea Terme*. La Zagaglia, a. 1, 4.

GALDENZI S. (2012) - *Corrosion of limestone tablets in sulfidic ground-water: measurements and speleogenetic implications*. *International Journal of Speleology*, 41(2), 149-159.

GALDENZI S., MENICCHETTI M. (1995) - *Occurrence of hypogene caves in a karst region: examples from central Italy*. *Environmental Geology*, 26, 39-47.

GORINI G. (1889) - *Analisi batteriologica dell'acqua di S. Cesarea*. Perugia.

GRAZIOSI P. (1980) - *Le pitture preistoriche della Grotta di Porto Badisco*. Giunti Martello, Firenze, 196 pp.

HILL C.A., FORTI P. (1997) - *Cave Minerals of the World*. Second edition, Huntsville, National Speleological Society, 463 pp.

INGUSCIO S., LORUSSO D., PASCALI V., RAGONE G., SAVINO G. (eds.) (2007) - *Grotte e carsismo in Puglia*. Regione Puglia, 200 pp.

JONES A.A. (2011) - *Microbe-mineral affinity in sulfuric acid karst systems*. Thesis, University of Austin.

JONES D.S., POLERECKY L., GALDENZI S., DEMPSEY B.A., MACALADY J.L. (2015) - *Fate of sulfide in the Frasassi cave system and implications for sulfuric acid speleogenesis*. *Chemical Geology*, 410, 21-27

KLIMCHOUK A.B. (2007) - *Hypogene speleogenesis: hydrogeological and morphogenetic perspective*. National Cave and Karst Research Institute, Carlsbad.

KLIMCHOUK A.B. (2017) - *Types and settings of hypogene karst*. In: KLIMCHOUK A.B., PALMER A.N., DE WAELE J., AULER A., AUDRA P. (Eds.), *Hypogene karst regions and caves of the world*. Springer, 1-39.

MARGIOTTA S., SANSÒ P. (2014) - *The Geological Heritage of Otranto-Leuca Coast (Salento, Italy)*. *Geoheritage*, 6 (4), 305-316.

MARGIOTTA S., NEGRI S., PARISE M., VALLONI R. (2012) - *Mapping the susceptibility to sinkholes in coastal areas, based on stratigraphy, geomorphology and geophysics*. *Natural Hazards*, 62 (2), 657-676.

MARGIOTTA S., NEGRI S., PARISE M., QUARTA T.A.M. (2016) - *Karst geosites at risk of collapse: the sinkholes at Nociglia (Apulia, SE Italy)*. *Environmental Earth Sciences*, 75 (1), 1-10, DOI: 10.1007/s12665-015-4848-y.

MAUGET A. (1875) - *Note geologiche sulla Provincia di*

Lecce. Relazione al Consiglio Provinciale di Lecce.

MICHELI M. (1824) - *Analisi chimica e medico-pratica di un'acqua solfurea in provincia di Lecce*. Lecce.

MILANO G. (1909) - *Studi idrologici sulle Murge pugliesi*. Bari.

MOSTARDINI F., MERLINI S. (1986) - *Appennino centro meridionale. Sezioni geologiche e proposta di modello strutturale*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 35, 177-202.

NORTHUP D.E., LAVOIE K.H. (2001) - *Geomicrobiology of caves: a review*. *Geomicrobiology Journal*, 18, 199-222.

ONORATO R., DENITTO F., BELMONTE G. (1999) - *Le grotte marine del Salento: classificazione, localizzazione e descrizione*. *Thalassia Salentina*, 23, 67-116.

ONORATO R., BELMONTE G., COSTANTINI A. (2006) - *Le grotte sommerse della costa neretina (Salento, S-E Italia)*. *Thalassia Salentina*, 29, 39-54.

OROFINO F. (1970) - *Grotta di Porto Badisco n. 902 Pu*. *Speleologia Emiliana*, 7, 81-91.

PALMENTOLA G. (2002) - *Il paesaggio carsico della Puglia*. *Grotte e dintorni* 4: 203-220

PARISE M. (2008) - *Elementi di geomorfologia carsica della Puglia*. In: PARISE M., INGUSCIO S., MARANGELLA A. (Eds.), *Atti 45° CNSS-SSI III liv. di "Geomorfologia Carsica"*, Grottaglie, 2-3 febbraio 2008, 93-118.

PARISE M. (2011) - *Some considerations on show cave management issues in Southern Italy*. In: VAN BEYNEN P.E. (ed.) *Karst management*. Springer, 159-167.

PARISE M., PEPE M. (2016) - *Esempi di cartografia geomorfologico-carsica in Puglia*. *Atti Convegno Nazionale "La ricerca carsologica in Italia"*, 22-23 giugno 2013, Laboratorio carsologico sotterraneo di Bossea, Frabosa Soprana, 49-56.

PARISE M., FEDERICO A., DELLE ROSE M., SAMMARCO M. (2003) - *Karst terminology in Apulia (southern Italy)*. *Acta Carsologica* 32 (2), 65-82.

PARISE M., DE PASQUALE P., MARTIMUCCI V., MEULI V., PENTIMONE N., PEPE P. (2013) - *Grotta della Rondinella a Polignano a Mare: un progetto di ricerca della Federazione Speleologica Pugliese*. In: CUCCHI F., GUIDI P. (eds.), *Proc. XXI Nat. Congr. Speleologia "Diffusione delle conoscenze"*, Trieste, 2-5 giugno 2011, Ed. Università di Trieste, 437-448.

PARISE M., PALMISANO P., ONORATO R. (2017) - *Contributo alla conoscenza dei fenomeni carsici di collasso in zone costiere del Salento Jonico (Puglia): la Spunnulata della Pajara*. *Thalassia Salentina*, 39, 99-122.

PEPE M., PARISE M. (2014) - *Structural control on development of karst landscape in the Salento Peninsula (Apulia, SE Italy)*. *Acta Carsologica*, 43 (1), 101-114.

POLEMIO M., LIMONI P.P., ZUFFIANÒ L.E., SANTALOIA F. (2012) - *Santa Cesarea thermal springs (Southern Italy)*. In: THANGARAJAN M., MAYILSWAMI C., KULKARNI P.S., SINGH V.P. (eds.) *5th Int. Groundwater Conf. (IGWC) Assessment and management of groundwater resources in hard rock systems with special reference to basaltic terrain*, 15, 737-

752.

POTO M., ONORATO R., BELMONTE G. (2006) - *Le grotte sottomarine di Capo d'Otranto* - LE. Thalassia Salentina, 29, 55-80.

RICCHETTI G., CIARANFI N., LUPERTO SINNI E., MONGELLI F., PIERI P. (1988) - *Geodinamica ed evoluzione sedimentaria e tettonica dell'Avampese Apulo*. Memorie della Società Geologica Italiana, 41, 57-82.

RUDNICKI J. (2003) - *Processi carsici sotterranei in area costiera (in base all'esempio della Puglia, Italia meridionale)*. Grotte e Dintorni, 5, 5-34.

SANTALOIA F., ZUFFIANÒ L.E., PALLADINO G., LIMONI P.P., LIOTTA D., MINISSALE A., BROGI A., POLEMIO M. (2016) - *Coastal thermal springs in a foreland setting: the Santa Cesarea Terme system (Italy)*. Geothermics, 64, 344-361.

SANTALOIA F., ZUFFIANÒ L.E., LIMONI P.P., PALLADINO G., LIOTTA D., POLEMIO M. (2017) - *Le acque sulfuree delle sorgenti termali di Santa Cesarea Terme*. Geologi e Territorio, 1, 17-31.

STASI P.E., REGALIA E. (1904) - *Grotta Romanelli (Castro, Terra d'Otranto). Stazione con faune interglaciali calde e di steppa*. Arch. Antrop. Etnologico, Firenze, 79 pp.

VELAJ T. (2015) - *New ideas on the tectonic of the Kurveleshi anticline belt in Albania, and the perspective for the exploration in its subthrust*. Petroleum, 1, 269-288.

VISINTIN B. (1945) - *Studio sull'acqua della Grotta Gattulla delle Terme demaniali di S. Cesarea*. Annali di Chimica Applicata, 35 (6-7), 97-111.

ZEZZA F. (1980) - *Le sorgenti ipotermali solfuree di Santa Cesarea Terme*. Salentum, Azienda di cura, soggiorno e turismo, Santa Cesarea Terme, anno III, 1-2, 37 pp.

ZUFFIANÒ L.E., PALLADINO G., SANTALOIA F., POLEMIO M., LIOTTA D., LIMONI P.P., PARISE M., PEPE M., CASARANO D., RIZZO E., MINISSALE A., DE FRANCO R. (2013) - *Geothermal resource in a foreland environment: the Santa Cesarea Terme thermal springs (Southern Italy)*. European Geothermal Congress 2013, Pisa, 3-7 June 2013, 6 p.



TRASPORTO E SMALTIMENTO RIFIUTI SPECIALI TOSSICI E NOCIVI
BONIFICA SITI INQUINANTI
SMALTIMENTO AMIANTO - NUOVE COPERTURE
CONSULENZA AMBIENTALE

e-mail: amianto@ecosudambiente.it
www.ecosudambiente.it

Maglie - Via Montegrappa, 30
Tel/Fax: 0836/427612



Società Italiana di Geologia Ambientale (SIGEA)
Sezione Puglia



ORDINE DEI GEOLOGI
DELLA PUGLIA

con il patrocinio



Regione Puglia

organizzano il

CONCORSO FOTOGRAFICO

“Passeggiando tra i Paesaggi Geologici della Puglia”

9^a edizione 2018



La SIGEA Sezione Puglia e l'Ordine dei Geologi della Puglia, al fine di promuovere la conoscenza e la valorizzazione dei siti di interesse geologico (geositi) e i paesaggi geologici della Regione Puglia, bandiscono l'ottava edizione del concorso fotografico come di seguito specificato.

Il concorso prevede le seguenti **Sezioni**:

- A. “Paesaggi geologici o geositi”
- B. “La geologia prima e dopo l'Uomo”
- C. “Una occhiata al micromondo della geologia”

La sezione A sarà dedicata ad immagini di luoghi, paesaggi, siti a valenza geologica dove gli elementi geologici o i singoli affioramenti hanno sviluppato forme di qualsiasi tipo e genere.

La sezione B sarà dedicata ad immagini di opere antropiche che si integrano nel contesto geologico o geomorfologico.

La sezione C sarà dedicata ad immagini di elementi paleontologici, sedimentologici e petrografici ripresi a dimensioni naturali o al microscopio.

La partecipazione al concorso è **TOTALMENTE GRATUITA**. Possono partecipare tutti coloro che sono interessati a condividere le emozioni ricevute attraverso la rappresentazione di uno degli aspetti dei “paesaggi geologici” della Puglia.

Le foto dovranno essere inviate entro il **30 settembre 2018**, seguendo le istruzioni disponibili sui siti web degli organizzatori. Info: foto.paesaggi.puglia@gmail.com

La premiazione, la cui data sarà comunicata sui siti web degli organizzatori, avverrà durante una manifestazione appositamente organizzata ed associata ad una iniziativa pubblica da tenersi in Bari.

Con il sostegno di



Apogeo S.r.l.

Via Caduti di Nassiriya, 170 - 70022 Altamura (Ba) - Tel. 080.3143324 - www.apogeo.biz

REGOLAMENTO, MODALITÀ DI PARTECIPAZIONE E SCHEDA AUTORE:

<http://puglia.sigeaweb.it> e www.geologipuglia.it

Info:

Segreteria organizzativa del concorso:

Silvio Spizzico (Ordine dei Geologi della Puglia) • *Oronzo Simone* (SIGEA Sezione Puglia)

Ordine dei Geologi della Puglia

Via Junipero Serra, 19 - 70125 BARI

SULLA INSTABILITÀ DELLE FALESIE E RELATIVE CONTROMISURE CON PARTICOLARE RIFERIMENTO AL TERRITORIO DI MELENDUGNO (LECCE)

Antonio Federico¹, Marco Delle Rose², Corrado Fidelibus³, Maurizio Orlando⁴,
Luca Orlanducci⁵, Massimiliano Scuro⁶

¹ Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio, Edile e di Chimica - Politecnico di Bari

² Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima - CNR, Lecce

³ Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione - Università del Salento, Lecce

⁴ Geologo, libero professionista, Nardò - Iscritto ORG Puglia n. 220

⁵ Geologo, libero professionista, Lecce - Iscritto ORG Puglia n. 544

⁶ Ingegnere, libero professionista, Bari

1. INTRODUZIONE

In vista della stagione estiva e a seguito di valutazioni di pericolosità geomorfologica è ricorrente, da parte delle Autorità Marittime (Capitanerie e Uffici Circondariali), emanare disposizioni limitanti la fruizione balneare di tratti costieri a falesia della Puglia meridionale. Nell'anno corrente, ad esempio, la Capitaneria di Porto di Gallipoli ha emesso una serie di ordinanze (Ord. CP 28, 29, 32 e 33/2018) sicché, con linguaggio mass-mediatico "*più che una lista di divieti, la mappa delle zone di mare interdette ha assunto le fattezze di un vero e proprio bollettino di guerra: ad essere colpiti sono tratti costieri appartenenti ai Comuni di Galatone, Alliste, Castrignano del Capo e Patù, che includono località marine molto note e amate soprattutto dai turisti che vengono appositamente in Salento per conoscere le sue acque limpide*"¹. Al di là delle coloriture giornalistiche, emergono oggettivamente sia il problema di possibili conseguenze negative sulle economie locali sia l'opportunità di procedere con studi supplementari per la rimodulazione dei divieti, in ragione dello scalamento delle indagini. Peraltro, la rimodulazione può comportare anche drastiche riduzioni della estensione dei tratti soggetti a divieto, come verificatosi nel caso della Ord. CP 22 del 2014 relativa al Comune di Melendugno (provincia di Lecce), qui di seguito descritto. La rimodulazione è inquadrabile nella giusta dialettica tra gli enti di governo del territorio; tuttavia, nel periodo intercorrente tra ordinanza e rimodulazione, si possono produrre danni economici consistenti, con riverberi anche in periodi successivi. Ciò suggerisce la necessità di un protocollo, in cui le diverse autorità concorrano proattivamente e congiuntamente alla perimetrazione delle zone sottoposte a divieto, ricorrendo a specifiche competenze tecnico-scientifiche. L'assenza di coordinamento è viepiù deleteria, come mostra la descrizione della situazione del tratto di costa del Comune di Melendugno.

Scopo di questa nota è la deduzione, a partire da un caso particolare, di principi generali per la definizione e l'adozione delle contromisure necessarie per garantire la balneazione in condizioni di ragionevole sicurezza per il

breve termine, argomento di particolare interesse anche alla luce delle probabili conseguenze sulla dinamica costiera dei cambiamenti climatici. Nel seguito si riportano l'inquadramento geologico delle falesie del tratto di costa interessato dall'ordinanza CP 22 del 2014, una descrizione delle indagini e relative interpretazioni effettuate per la proposta di rimodulazione della stessa ordinanza, commenti sulla utilità delle indagini preventive in generale e alcune conclusioni utili per la stesura dei protocolli.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELLE FALESIE DI MELENDUGNO

La morfologia del Salento adriatico a nord di Otranto è caratterizzata da una serie di pianori posti a diverse quote sul livello del mare e solcati da incisioni fluvio-caratteristiche. Nell'ambito dello sviluppo costiero del Comune di Melendugno, le falesie sono uno degli aspetti del paesaggio più caratteristici. Il termine falesia si riferisce a una superficie fortemente inclinata situata in corrispondenza dell'intersezione tra la superficie del terreno e la linea di costa, indipendentemente dalla sua morfogenesi (Hampton & Griggs, 2004). Rilevanti sono anche i numerosi faraglioni e scogli di varia grandezza, separati dalla terraferma da bracci di mare estesi da pochi a oltre 100 metri. Le rocce costituenti le falesie dell'area di interesse (Fig. 1) sono formate da calcareniti, calcareniti fini e calcilutiti.

A nord di Rocavecchia prevalgono litologie calcarenitiche, mentre a sud sono più frequenti intercalazioni dei tre litotipi. Nel foglio 214 della CGI sono infatti distinte due unità, Calcareniti del Salento e Formazione di Uggiano (Largaiolli *et al.*, 1969). La prima è riferita al Pleistocene, mentre la seconda è datata Pliocene medio-superiore in base ad analisi biostratigrafiche (Bossio *et al.*, 1985). Gli strati di quest'ultima presentano frequenti laminazioni e bioturbazioni, nonché diffusi resti fossili, localmente concentrati sino a costituire veri e propri giacimenti fossiliferi (Varola, 1965). Le formazioni sono considerate da Ciaranfi *et al.* (1988) un'unica unità, denominata dagli Autori "*complesso di Open Shelf*", di probabile significato stratigrafico-sequenziale (Delle Rose, 2008). Gli

¹<http://www.ilpaesenuovo.it/2018/05/04/pericolo-crolli-lungo-la-costa-salentina-scattano-i-divieti-blindati-chilometri-di-scogliera-dalla-montagna-spaccata-a-punta-meliso/>, consultato il 23 giugno 2018.



Figura 1 - Schema cartografico dell'area di interesse.

spessori degli strati affioranti lungo le falesie di Melendugno sono compresi in genere tra 0,5 e 1,5 metri, mentre valori maggiori di 2,5m sono decisamente subordinati. L'erodibilità è elevata; in particolare, gli strati più grossolani (calcareniti) appaiono più tenaci di quelli più fini (calclutiti). In specie lungo i tratti di falesia più antichi e stabili, i primi sono quindi in rilievo rispetto ai secondi, ad indicare la selettività dell'erosione. Nella depressione dei Tamari i depositi pliocenici sono sormontati da sabbie, limi e argille, contenenti materiale carbonioso e con paleosuoli intercalati, deposti in ambiente continentale. In merito all'assetto tettonico degli strati pliocenici, sono rilevabili sinclinali ed anticlinali i cui assi presentano direzioni NNO-SSE. In particolare, il bacino dei Tamari è impostato lungo una blanda sinclinale.

Come più avanti riportato, l'ammasso roccioso è interessato da 6 sistemi di discontinuità, 4 dei quali subverticali, con direzioni medie (da N verso E) 20°, 65°, 110° e 155° e con deviazioni dai valori medi poco frequentemente superiori a 15°. La spaziatura è variabile da circa 0,2 ad oltre 20m (Delle Rose & Parise, 2005). Le discontinuità appaiono in parte ricementate da concrezioni carbonatiche, altrimenti risultano allargate da fenomeni di dissoluzione carsica con aperture dell'ordine di alcuni millimetri, sino ad alcuni metri nei casi di sviluppo completo di gallerie. Subordinate vi sono discontinuità beanti riempite, parzialmente o totalmente, da detriti e suoli. Le discontinuità subverticali caratterizzano fortemente la morfologia del sito; infatti, sia la falesia che i sistemi carsici sono costituiti da tratti orientati in prevalenza secondo tali direzioni.

Nel Comune di Melendugno il tratto costiero da Torre Specchia a S. Andrea è caratterizzato da falesie con fronti prevalentemente subverticali, distinguibili per altezza ed esposizione. L'altezza della falesia varia da valori

minimi dell'ordine di 1m a valori massimi di circa 17m, con un valore medio di circa 9m. Risultano molto estesi i tratti di falesia con altezza da 5 a 6 metri e, seppur in misura minore, quelli con altezza di circa 14 metri. In particolare nel tratto a Nord di San Foca, la falesia ha altezza sul livello del mare non superiore a 4m ed un profilo piuttosto complesso. Procedendo verso Sud, invece, il profilo delle falesie è, generalmente, più semplice, ma con tratti più articolati comprendenti spiagge delimitate da pareti di roccia (*pocket-beaches*). Le altezze della falesia aumentano procedendo da NNW a SSE, raggiungendo il valore massimo di 17m nella zona di Torre dell'Orso. Da qui sino a Sant'Andrea, dopo un tratto di spiaggia lungo circa 800m, e alla foce del Canale del Brunese, la falesia mostra un profilo complesso e sostanzialmente diverso dai precedenti, caratterizzato dalla presenza, poco al di sopra del livello marino, di una piattaforma suborizzontale di abrasione ampia sino a oltre 20m, interposta tra il mare ed il piede della falesia. Poco al di sopra del piano della piattaforma scaturiscono numerose piccole venute di acqua dolce che drenano la locale falda freatica. In particolare, a sud della baia di Torre dell'Orso sono presenti le Grotte dell'Acqua Dolce, cinque cavità ubicate lungo la falesia dalle quali fuoriescono piccoli rivoli, anche durante il semestre estivo.

In molti tratti alla base della falesia si osserva un "solco di battente" costituito da un intaglio erosivo orizzontale generalmente alto 1-1,5m e profondo anche qualche metro. Esso è prodotto dall'energia del moto ondoso, da effetti di bioerosione e da processi ipercarsici (Beccarisi *et al.*, 2003). Il solco coincide con la porzione inferiore del piano vegetazionale sopralitorale, per lo più privo di alghe macroscopiche, e con il piano mesolitorale, interposto tra il livello superiore delle alte maree normali e quello delle basse maree eccezionali (Parenzan, 1983). Il solco di battente è estesamente colonizzato da feoficee, rodoficee e cloroficee, sia crostose che fruticose, tra cui trovano rifugio varie specie di molluschi, policheti e crostacei. Le pareti del solco di battente hanno struttura alveolare con vuoti sub-sferici e sub-cilindrici, in parte comunicanti. Tale struttura interessa la roccia per alcuni decimetri, sfumando progressivamente verso la roccia intatta. La genesi della struttura alveolare deve essere attribuita, in gran parte, a processi biologici operati dagli organismi sul substrato litico (Beccarisi *et al.*, 2003). In particolare, nella porzione superiore del solco i processi di erosione della roccia sono ben evidenti ad opera soprattutto di alcuni molluschi che producono nella roccia cavità sub-cilindriche di diametro e forma coincidenti con quello dei singoli individui. Più in generale, l'azione degli organismi sul substrato roccioso si esplica in maniera complessa, attraverso i principali meccanismi di secrezione di sostanze chimiche, disgregazione fisica e processi chimici causati dalla degradazione della materia organica (Golubic e Schneider, 1972; Folk *et al.*, 1973; Schneider, 1977). Solchi di battente piuttosto evoluti sono presenti anche sui lati rivolti verso terra di scogli isolati, dove

trascurabili sono le azioni meccaniche del moto ondoso e ridotte quelle di dissoluzione chimica, a conferma di quanto sia determinante il contributo biologico per la loro formazione. Detti solchi costituiscono di frequente elementi destabilizzanti delle pareti rocciose, come meglio dettagliato in seguito.

Il paesaggio retrostante la falesia è tipicamente carsico. Le forme principali sono costituite da doline di crollo, due delle quali costituiscono gli accessi verticali al sistema delle Grotte della Poesia. Molto diffuse sono le forme carsiche minori, quali vaschette di corrosione e pozzetti carsici. Le rocce carbonatiche costituiscono, nel complesso, un acquifero che raggiunge spessori di molte decine di metri. In particolare, essendo gli strati calcarenitici più permeabili di quelli calcilutitici, la circolazione sotterranea avviene secondo più livelli definendo, in sostanza, la struttura di acquifero multifalda (Delle Rose, 2007). In prossimità della linea di costa, mescolamenti delle acque di falda con quelle marine producono acque salmastre molto aggressive sul carbonato di calcio (ipercarsismo per diffusione *sensu* Cigna (1983) e Forti (1991, 1993)). Altri processi ipercarsici sono innescati da acque meteoriche (sotto forma di precipitazioni dirette negli ipogei aperti e di acque di infiltrazione e stillicidio) e dall'idrodinamismo costiero che causa, specie nelle fasce sopratidale e intertidale, variazioni di umidità e, di conseguenza, di salinità

delle acque permeate nelle rocce.

L'instabilità della falesia tra Rocavecchia e Torre dell'Orso, è stata precedentemente analizzata attraverso rilievi in sito, l'analisi della documentazione storica disponibile e l'interpretazione di foto aeree stereoscopiche da Delle Rose & Parise (2005). Si identificarono circa 50 eventi di crollo, di cui 29 avvenuti tra il 1943 ed il 1996. Considerando l'arco temporale di 53 anni, la media è poco più di un evento ogni due anni (0,58 eventi l'anno). I crolli sembrano ricorrere con regolarità, come dedotto dall'analisi di intervalli temporali più ristretti; infatti nell'intervallo tra il 1943 e il 1972 si registrarono 9 eventi (0,31 l'anno), mentre tra il 1972 e il 1996 gli eventi ammontarono a 10 (0,42 l'anno).

Negli ultimi anni, i fenomeni gravitativi lungo le falesie della costa melendugnese sono divenuti più frequenti. Una lista dei dissesti avvenuti a partire dal 2013, probabilmente incompleta, è stata redatta sulla base delle fonti cronachistiche reperite, dalle quali risultata anche che i crolli sono avvenuti in concomitanza, o a seguito, di forti mareggiate e/o di piogge più o meno intense (Tab. 1, Fig. 2).

3. LE INDAGINI PER LA RIMODULAZIONE DELLA ORDINANZA

Come su menzionato, con l'ordinanza C.P. 22/2014, l'Ufficio Circondariale Marittimo di Otranto vietava la



Figura 2 - Crollo lungo un tratto di falesia a sud di Sant'Andrea avvenuto nell'aprile 2006. A sinistra: panoramica del tratto durante un intervento dei VVFF di Lecce, intenti a soccorrere un cane rimasto intrappolato nella sottostante grotta; a destra lo stesso tratto ripreso alcuni giorni dopo un ultimo crollo che ha ostruito l'ingresso della cavità.

data	località	fonte
febbraio-marzo 2013	Sant'Andrea	Corriere del Mezzogiorno (5/4/2013)
febbraio 2014	Rocavecchia	TgNorba24 (4/2/2014)
marzo 2014	San Basilio	TgNorba24 (5/3/2014)
gennaio 2016	Rocavecchia	Quotidiano di Puglia (23/1/2016)
dicembre 2016	Rocavecchia	Lecceprima (14/12/2016)
gennaio 2017	San Foca	La Repubblica (23/1/2017)
marzo 2018	Sant'Andrea	La Gazzetta del Mezzogiorno (4/3/2018)

Tabella 1 - Fenomeni gravitativi che hanno interessato le falesie di Melendugno negli ultimi 5 anni (per gli indirizzi web delle fonti *vide* Appendice).

balneazione in corrispondenza di lunghi tratti di falesia di pertinenza del Comune di Melendugno. In particolare si interdiceva a balneazione, pesca, attracco e navigazione la maggior parte dei tratti di falesia classificati dal Piano di Bacino, Stralcio Assetto Idrogeologico (Autorità di Bacino della Puglia, 2005, 2010) al livello più alto di pericolosità geomorfologica (PG3), con finalità di salvaguardia della pubblica incolumità. Nei successivi tavoli tecnici tra le istituzioni interessate, si riconobbe la necessità di procedere a studi e indagini finalizzati a una migliore definizione e una più precisa perimetrazione delle instabilità. Pertanto, la Giunta del Comune di Melendugno (deliberazione n. 48/2014) approvava un protocollo di intesa con il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio, Edile e di Chimica (DICATECh) del Politecnico di Bari per una consulenza scientifica su valutazione e mitigazione del rischio da frana nelle falesie (Federico *et al.*, 2014). I rilievi e gli studi eseguiti hanno riguardato l'assetto geostrutturale degli ammassi rocciosi, le caratteristiche delle instabilità individuate e la determinazione dei meccanismi di rottura. A causa del poco tempo a disposizione, non sono state effettuate indagini sulle porzioni sommerse delle falesie, le cui caratteristiche geomorfologiche e idrodinamiche, tuttavia, incidono sulla stabilità delle coste non meno delle porzioni emerse. Sono stati comunque proposti vincoli, limitazioni e locali interventi di disaggancio atti a mitigare il rischio geomorfologico, garantendo frequentazione e balneazione in condizioni di ragionevole sicurezza per il breve termine. Di seguito si riporta una sintesi delle risultanze delle attività svolte per la suddetta consulenza.

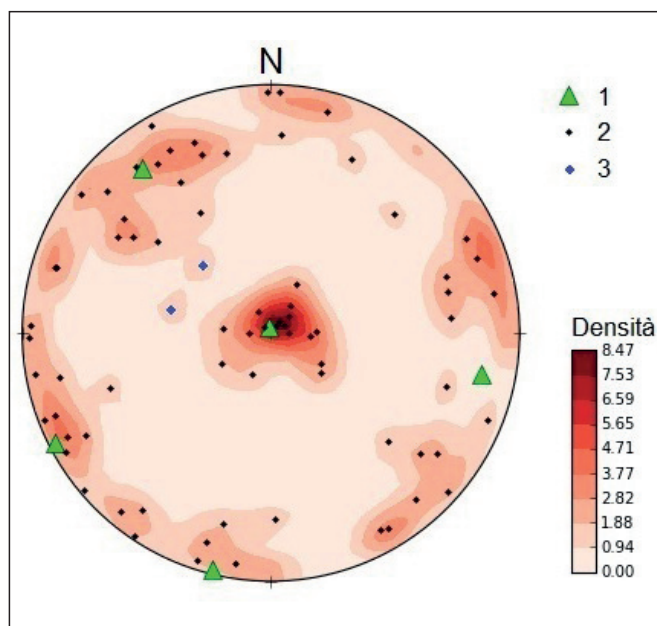


Figura 3 - Proiezione stereografica equal-area dei poli delle giaciture censite (da Federico *et al.*, 2014, modificata). I triangoli verdi indicano i poli medi delle famiglie 1-5; per la famiglia 6, scarsamente rappresentata in questo censimento, si individuano solo due poli (in blu, simbolo 3).

3.1. Assetto geostrutturale

Per la definizione dell'assetto geostrutturale sono stati effettuati rilievi finalizzati all'individuazione delle famiglie di discontinuità e della loro giacitura media. Tramite l'elaborazione statistica sono stati individuati quattro famiglie principali di discontinuità di origine tettonica con inclinazioni medie subverticali (73° - 88°) e direzioni medie attorno a 20° , 65° , 110° e 155° . Una quinta famiglia di discontinuità coincide con i piani di strato, in genere sub-orizzontali, mentre una sesta famiglia è caratterizzata da inclinazioni intorno a 45° e direzione variabile. I risultati del rilevamento geostrutturale sono riportati nella proiezione stereografica di Fig. 3.

Le superfici delle discontinuità tettoniche appaiono planari alla scala dell'affioramento e sono riempite, a luoghi, da cemento carbonatico secondario, più tenace della roccia incassante.

Sono stati eseguiti, inoltre, vari transetti in corrispondenza di tratti di falesia con profili topografici caratterizzati, di volta in volta, da solchi di battente, mensole in roccia o altre particolarità influenti sulle condizioni di stabilità (Fig. 4).

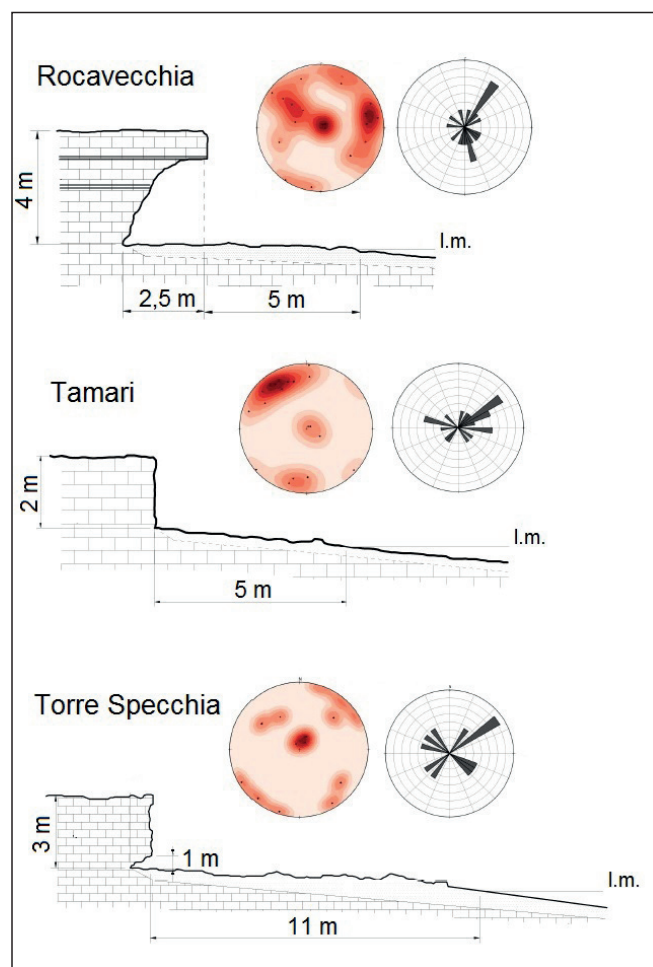


Figura 4 - Esempi di misure geostrutturali (proiezioni stereografiche e istogrammi circolari) eseguite in tre località campione (da Federico *et al.*, 2014, modificata).

3.2 Instabilità individuate e meccanismi di rottura

Le onde erodono le falesie mediante due processi principali: 1) per impatto e pressione idraulica e 2) per abrasione di sabbia, ghiaia e ciottoli. West (2010) ha calcolato che l'impatto di onde estreme contro pareti di roccia può esercitare una pressione fino a quasi 150kPa. L'acqua si insinua nelle discontinuità della roccia e comprime l'aria contro le pareti solide, la quale agisce come un cuneo che allarga le fratture e ne induce la propagazione. Studi sperimentali, condotti presso la Queen's University di Belfast, hanno mostrato che le pressioni generate dall'impatto delle onde si trasmettono pienamente nelle discontinuità completamente o parzialmente riempite d'acqua (Wolters & Müller, 2004). Se le discontinuità sono solo parzialmente sommerse, l'impulso di pressione viaggia nell'aria, propagandosi rapidamente e con poca attenuazione, il che implica che le discontinuità parzialmente riempite sono potenzialmente più pericolose per l'integrità della struttura rispetto a quelle completamente sommerse. Tali impulsi di pressione possono essere la causa principale del distacco di blocchi dall'ammasso roccioso nelle falesie.

L'azione di compressione, ciclica e persistente, esercitata dal moto ondoso sulle falesie nel corso delle mareggiate può determinare, quindi, l'aumento dei valori di persistenza e di apertura delle discontinuità (Sunamura, 2015). Questo processo comporta il deterioramento della resistenza dell'ammasso roccioso nel suo complesso, predisponendo così la rimozione dei blocchi.

L'abrasione dovuta a sabbia, ghiaia e ciottoli concorre alla costituzione del solco di battente. Si noti che oltre alla abrasione, anche azioni bioerosive dovute a organismi vegetali e animali insediati nei piani sopralitorale e mesolitorale (Golubic & Schneider, 1972; Folk *et al.*, 1973; Schneider, 1977; Beccarisi *et al.*, 2003) contribuiscono a tale processo. L'evoluzione dei solchi di battente rappresenta comunque un fattore cruciale nel determinare i crolli di tratti di falesia (Erickson, 2002). I relativi detriti rimangono temporaneamente a proteggere il piede della falesia, ma sono destinati ad essere erosi e portati via dall'azione del mare, dando inizio a una nuova fase predisponente crolli (Sunamura, 2015). L'arretramento di una falesia può essere, quindi, schematizzato come un processo ciclico, composto da una lunga fase di preparazione in cui si verifica l'erosione ed il modellamento del solco di battente, seguita dal crollo della massa rocciosa in oggetto. I tempi e le modalità con cui questo ciclo si compie dipendono da fattori meteomarinari (energia e direzione del moto ondoso, frequenza ed intensità delle mareggiate, morfologia del primo fondale, ecc.), dalla tenacità della roccia, dal grado di fratturazione, dalla orientazione degli strati e delle discontinuità.

La combinazione dei processi 1 e 2 summenzionati porta alla instabilità della falesia. Lo scalzamento al piede dovuto all'approfondimento del solco di battente comporta il crollo dei volumi sovrastanti a condizione che la disposizione delle discontinuità sia propizia. I fenomeni

di erosione sono particolarmente complessi e risulta difficile approntare modelli predittivi della loro evoluzione, a meno che non si ricorra alle osservazioni al fine di dedurre una qualche legge evolutiva temporale. Anche la evoluzione del sistema di fratture per effetto dell'azione ciclica del moto ondoso richiederebbe, per una corretta previsione, modelli altrettanto complessi. Per la valutazione del rischio da crollo (*vide* capitolo 4) è essenziale indagare sull'assetto strutturale per definire le condizioni predisponenti al dissesto, ipotizzando una qualche evoluzione del solco di battente e della persistenza delle discontinuità. Ad ogni modo, non si può prescindere da un rigoroso rilievo geologico.

Nel caso della rimodulazione dell'ordinanza, lungo i tratti di costa interdetti alla balneazione dalla ordinanza si eseguirono rilievi geologici di dettaglio finalizzati a definire le specifiche condizioni di pericolosità geomorfologica e, quindi, suggerire, per il medio e lungo termine, interventi di mitigazione quali: a) opere di consolidamento (riprofilature, chiodature, reti), da realizzare dopo individuazione del meccanismo di rottura locale presunto, minimizzandone l'impatto paesaggistico); b) opere di sottrazione in corrispondenza di cavità e solchi di battente significativi; c) disaggi di blocchi instabili e mensole in roccia; d) riprofilatura di tratti particolarmente instabili; e) opere di regimentazione delle acque al fine di ridurre il ruscellamento superficiale.

In relazione ai possibili meccanismi di rottura, sulla base delle indagini esperite risultarono prevalenti, se non esclusivi, crolli di blocchi di roccia, benché la disposizione mutua delle giaciture medie, per effetto segnatamente della famiglia 6, sia in teoria predisponente a scivolamenti di cunei di roccia, anche in considerazione della ampia persistenza delle famiglie. I crolli si manifestano in generale per effetto di rimozione di materiale alla base, a seguito dell'approfondirsi del solco di battente. Nelle falesie su spiaggia il solco, anche quando profondo, è nascosto dai depositi di spiaggia attuali. In entrambi i casi, comunque, la presenza dell'intaglio erosivo basale è stata identificata quale principale fattore intrinseco di suscettibilità a franare (Federico *et al.*, 2014). La conseguente possibilità cinematica risulta essere la più comune tra quelle rilevate, e anche la più vistosa, manifestandosi con crolli di blocchi di volume variabile sino a decine di metri cubi.

4. RISCHIO DA FRANA

Come è noto, secondo Varnes (1984), il rischio R connesso a movimenti franosi di data intensità I , è pari al prodotto $P(I, \Delta t) \cdot V \cdot E$, dove si indica con $P(I, \Delta t)$ la probabilità di occorrenza in un determinato intervallo di tempo Δt dell'evento di intensità I , detta anche pericolosità, con V la vulnerabilità, ossia il livello del danno connesso con l'esposizione al rischio, variabile tra 0 e 1, e con E il numero di unità di ognuno degli elementi a rischio presenti in una data area, come le vite umane o gli insediamenti. Nell'ambito delle attività di prevenzione del rischio da

frana e di programmazione dell'uso del territorio, si conviene di fissare il rischio accettabile R_a , in base al quale definire i criteri di gestione del rischio medesimo. In particolare, gli interventi di mitigazione devono contenere R entro valori inferiori a R_a . A questo fine, una volta definita la finestra temporale, è necessario effettuare una stima quantitativa di R , spesso difficoltosa per le incertezze nella determinazione sia di I che di V .

La definizione delle tre componenti $P(I, \Delta t)$, V , E richiede la quantificazione con sufficiente accuratezza di fattori geologici e geotecnici, oltre che socio-economici, conseguibile tramite l'effettuazione di approfondite indagini geologiche, geotecniche e idrogeologiche. Detta quantificazione è necessaria per una programmazione razionale delle azioni da intraprendere ai fini di una corretta e sicura gestione del territorio; ove incompleta o parziale, essa potrebbe comunque risultare sufficiente per discriminare tra zone a diverso grado di rischio. Tuttavia, come per esempio nel caso oggetto qui di specifica menzione, sovente l'approfondimento delle indagini può, per motivi di opportunità ed economici, essere limitato e, pertanto, la stima del rischio che ne risulta è di carattere semi-quantitativo se non qualitativo. A tal proposito, Corominas *et al.* (2003) riportano che la maggior parte degli studi sulla stima del rischio da frana si basa su analisi di tipo qualitativo.

Per i movimenti franosi in rocce fratturate i parametri di riferimento per la definizione del rischio sono relativi prevalentemente alle discontinuità dell'ammasso roccioso. Risulta evidente, infatti, che per l'insorgere dell'instabilità debba sussistere una configurazione geometrica propizia delle discontinuità, anche se è da rimarcare che la condizione cinematica non è, da sola, sufficiente. Intervengono in modo altrettanto essenziale la condizione meccanica delle discontinuità o della massa fratturata nel suo insieme e la condizione d'ambiente, in particolare la presenza d'acqua e lo stato di sforzo nella parete rocciosa. In relazione poi agli elementi puramente geometrici, influenti sulla condizione di stabilità di un pendio in roccia, i parametri oggetto di indagine sono la giacitura delle discontinuità, la loro persistenza e connettività, la rugosità delle superfici a contatto. Denominati parametri indice, essi definiscono i potenziali cinematismi ed incidono in modo sostanziale sulla resistenza meccanica e sulle condizioni idrauliche.

Per caratterizzare la propensione all'instabilità e formulare le conseguenti valutazioni quantitative è, pertanto, necessario descrivere la struttura dei sistemi di discontinuità presenti nel pendio con ragionevole dettaglio, secondo quattro fasi:

- individuazione e rappresentazione individuale delle singolarità strutturali di grande scala quali, in primo luogo, le faglie;
- caratterizzazione statistica dei parametri indice a meso e piccola scala tramite censimento effettuato su supporti di misurazione (in particolare, giaciture, come si conviene nella pratica, ma anche spaziatore appa-

renti e lunghezze di traccia delle discontinuità, ovvero delle intersezioni delle discontinuità sul supporto); il supporto può essere, nel caso delle falesie, il fronte a mare così come qualunque superficie a vista dell'ammasso, anche orizzontale, ed è auspicabile che le misurazioni riferiscano almeno a tre supporti;

- trasferimento dei risultati delle misurazioni (lineari, su stendimento con rollina metrica, o su superfici tramite interpretazione fotogrammetrica) in una descrizione tridimensionale tramite procedure stereologiche di inferenza di elementi rappresentativi delle stesse discontinuità (estensione planare e intensità volumetrica, cioè area di frattura per unità di volume dell'ammasso);
- composizione di uno schema semplificato d'insieme (modello) che ricostituisce i rapporti geometrici specifici del sistema di discontinuità osservato.

I parametri indice sono da considerare come grandezze aleatorie, perciò si sintetizzano i dati del censimento in istogrammi di frequenza, dai quali desumere i parametri delle relative funzioni di densità di probabilità (probability density function, PDF). La validità della caratterizzazione è tuttavia subordinata al riconoscimento di differenti tipologie e livelli sistematici di sbilanciamento, da associare alle varie tecniche di rilievo. Ciò implica inaccuratezza nella valutazione dei parametri di interesse, cui si cerca di ovviare adottando tecniche di interpretazione dei dati mirate a riproporzionare le stime (Priest, 1993). Le procedure di inferenza attengono al passaggio da PDF per grandezze riferite ai supporti a grandezze che si sviluppano nelle tre dimensioni e comportano complesse derivazioni matematiche, anche se formule speditive sono ricorrenti in letteratura, almeno per i passaggi tra i valori medi e tra le deviazioni standard (*vide* Cravero *et al.*, 2004 per un compendio). Il modello nel quale si condensano le informazioni di natura statistica desunte dal censimento è noto in letteratura come modello a fratture discrete (in terminologia anglosassone, DFN, *Discrete Fracture Network*), cioè un artefatto costituito dall'assemblaggio di figure piane di orientazioni e dimensioni date conformi alle PDF associate e collocate secondo intensità opportuna in un volume di riferimento tramite generazione stocastica di valori (Dershowitz & Einstein, 1988). Il DFN viene usualmente generato per aggregazioni successive degli oggetti alle diverse scale (Fig. 5).

I vantaggi conseguiti con la produzione di un DFN sono evidenti. Si noti che il DFN non è da considerare una replica perfetta del sistema di discontinuità dell'ammasso, ma una sua "alterazione" che condivide con l'originale le stesse caratteristiche dal punto di vista statistico. Il DFN si trasforma in un elemento di analisi tramite il quale si può addivenire a una stima della pericolosità da frana dell'ammasso censendo su di esso le situazioni marcatamente instabili, il cui numero viene rapportato al volume considerato per definire una possibile densità di accadimento del dissesto. Rispetto a una analisi convenzionale delle condizioni di instabilità tramite le pro-

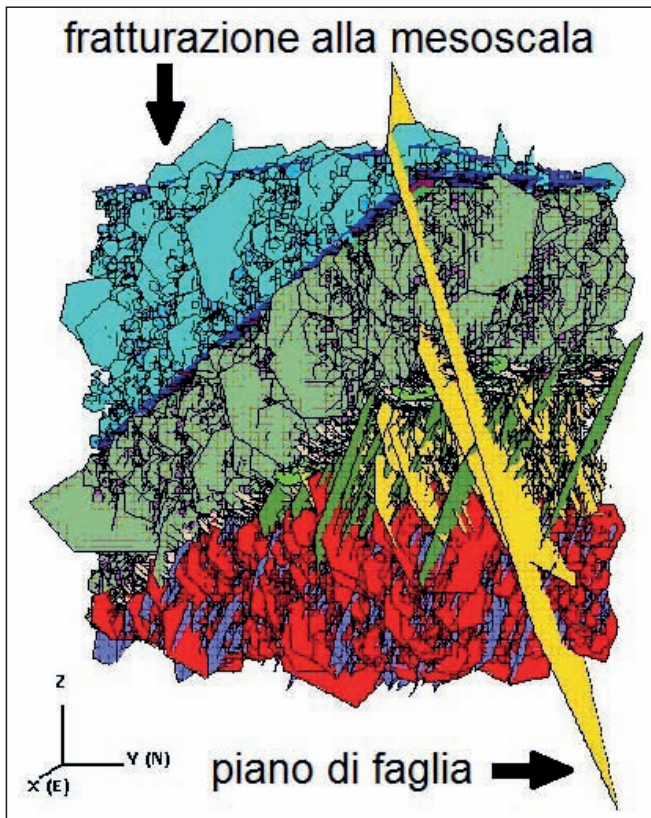


Figura 5 - Rappresentazione delle fratture di un ammasso roccioso tramite generazione stocastica di un DFN (da Cravero *et al.*, 2007, modificata).

iezioni stereografiche e metodi speditivi come quelli di Markland, l'analisi del DFN riporta l'effetto della persistenza delle discontinuità e della organizzazione casuale, sia pure inquadrata in PDF, delle discontinuità stesse.

Per conferire significato e robustezza ai modelli tipo DFN il censimento delle discontinuità deve essere ragionevolmente ampio perché il campione sia sufficientemente rappresentativo della popolazione, qualunque sia il parametro di riferimento. L'opportunità di effettuare censimenti di questo genere deriva dalla importanza socio-economica del contesto geografico-geologico interessato dai movimenti franosi e, ovviamente, dalle inevitabili limitazioni di budget. Tuttavia, anche se si rilevasse non opportuno procedere a indagini di tipo statistico, gli studi strutturali devono essere comunque ispirati a una visione probabilistica, rifuggendo dalla convinzione di poter conseguire determinazioni certe dei parametri in gioco. E comunque, è necessario analizzare i potenziali fenomeni di crollo senza prescindere dalla organizzazione delle discontinuità, anche in relazione a volume e forma dei blocchi.

Nel caso della rimodulazione dell'ordinanza, la stima quantitativa ed assoluta del rischio da frana ha esulato dalle finalità della consulenza per motivi di urgenza e limitazioni di budget. Si è comunque effettuato uno studio dei sistemi di discontinuità il più possibile spinto, per individuare le possibili tipologie di crollo. Nel contempo,



Figura 6 - Crollo in prossimità del lungomare di San Foca; a) vista panoramica da nord; b) vista panoramica da sud. La distanza (L) tra il blocco più avanzato ed il fronte della falesia è pari a circa 7m , ossia circa $1,5 H$, (H) essendo l'altezza della falesia. L è inferiore a H se riferita al ciglio della falesia precedente al crollo (da Federico *et al.*, 2014).

per fornire una qualche indicazione per la ripermimetrazione delle zone precluse alla balneazione, si sono censiti gli avanzamenti dei massi crollati o, comunque, le loro posizioni rispetto alla falesia arretrata. Si è riscontrato che per una falesia di altezza H la distanza L dei massi crollati, rispetto al ciglio precedente al dissesto, è pari all'incirca a H . Tale valore è stato poi prudenzialmente incrementato a $1,5H$ e $2H$ per falesie su spiaggia e per falesie a mare, rispettivamente (Federico *et al.*, 2014). La Fig. 6 è relativa ad un crollo avvenuto di recente in una falesia su spiaggia.

I valori di L sono in qualche modo coerenti con valutazioni sperimentali derivati dalla raccolta di dati storici relativi a trincee in roccia instabili, stradali e ferroviarie, basati sul concetto di *cono d'ombra*, ovvero del cono di angolo dato all'interno del quale si arresta la quasi totalità dei blocchi di caduta (Heinimann *et al.*, 1998). Larga sperimentazione in situ ha fornito per quest'angolo valori variabili tra 27° e 54° e crescenti all'aumentare dell'inclinazione, rispetto all'orizzontale, del fronte di falesia

(Focardi e Iotti, 2001; Heuzè & Goodman, 1971; Toppe, 1987; Onofri & Candian, 1979; Jaboyedoff & Labouise, 2003).

A seguito delle suesposte indagini, l'Ufficio Circondariale Marittimo di Otranto ridimensionò e in parte stralcio la propria precedente ordinanza. Ancora più importante, nelle autorità locali è maturata la consapevolezza "che la problematica dell'erosione costiera risulta complessa e delicata in quanto attinente ad aspetti di salvaguardia della pubblica incolumità", per la cui preservazione "si deve costantemente agire in varie direzioni, quali: lo studio con indagine tecnica dei luoghi, la realizzazione di interventi di messa in sicurezza (il meno invasivi possibile), il monitoraggio continuo dei fenomeni erosivi in evoluzione"².

5. CONCLUSIONI

Le attività per la rimodulazione dell'ordinanza della Capitaneria di Porto 22 del 2014, contenente il divieto di balneazione esteso su gran parte della costa del comune di Melendugno, seppur svolte con l'urgenza dettata dall'incombere della stagione estiva e con un budget limitato, costituiscono un esempio di gestione del rischio da crollo di falesie. Esse attività sono incentrate sull'osservazione dei sistemi di discontinuità, sia pure senza approfondimenti quantitativi, al fine di individuare i meccanismi di crollo e acquisire conoscenze sulla forma e sul volume dei blocchi potenzialmente instabili. Pur non operando di fatto una quantificazione del rischio, si è valutato coerentemente il pacchetto di contromisure ai fenomeni di instabilità, al fine di affrancare o sostanzialmente ridimensionare le zone di balneazione inizialmente interdette. Si segnala, tuttavia, che uno studio dettagliato dei sistemi di discontinuità nelle zone soggette potenzialmente a crolli della falesia, nel quadro di un protocollo di azioni tra tecnici ed Enti interessati, permetterebbe la definizione del rischio preventivamente per il progetto delle contromisure e comunque per la definizione in via temporanea delle zone interdette alla balneazione, ovviando al ricorso a misure di emergenza in prossimità della stagione estiva.

BIBLIOGRAFIA

Autorità di Bacino della Puglia (2005) – *Piano di Bacino, Stralcio Assetto Idrogeologico*.

Autorità di Bacino della Puglia (2010) – *Atto di indirizzo per la definizione e perimetrazione delle aree a pericolosità geomorfologica in ambito costiero*.

BECCARISI L., CACCIATORE G., CHIRIACÒ L., DELLE ROSE M., FIORITO F., GIURI F., LISI G., MARRAS V., QUARTA G. (2003) - *Influenza del carsismo sulla falesia e negli ipogei di Rocavecchia*. Atti 2° convegno "Il carsismo nell'area mediterranea", suppl. Thalassia Salentina, 26, 155-163.

BOSSIO A., LANDINI V., MAZZEI R., SALVATORINI G., VAROLA A. (1985) - *Studi sul Neogene e Quaternario della Penisola Salentina. I – La sequenza pliocenica di S. Andrea (Lecce) ed il suo contenuto in pesci, ostracodi, foraminife-*

ri e nannofossili. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., 92, 35-93.

CIARANFI N., PIERI P., RICCHETTI G. (1988) - *Note alla Carta Geologica delle Murge e del Salento (Puglia centro-meridionale)*. Mem Soc. Geol. It., 41, 449-460.

CIGNA A.A. (1983) - *Sulla classificazione dei fenomeni carsici*. Le Grotte d'Italia, 11, 497-505.

Corominas J., Copons R., Vilaplana J.M., Altimie J., Amigó J. (2003) – *Form landslide hazard assessment to management, the Anorran experience*. International Conference on Fast Slope Movements, Prediction and Prevention for Risk Mitigation. AGI.

CRAVERO M., FIDELIBUS C., CAMMARATA C. (2004) - *Caratterizzazione idraulica degli ammassi rocciosi*. X Ciclo di Conferenze di Meccanica e Ingegneria delle Rocce, Torino 24-25 Novembre 2004.

CRAVERO M., PIANA F., PONTI S., TALLONE S., BALESTRO G. (2007) - *3D simulation and aggregation of fracture network*. Proceedings of the 1st Canada-US Rock Mechanics Symposium - Rock Mechanics Meeting Society's Challenges and Demands, 1, 145-152.

Delle Rose M. (2007) - *Sedimentological features of the Plio-Quaternary Aquifers of Salento (Puglia)*. Memorie descrittive della carta geologica d'Italia, 76, 137-145.

DELLE ROSE M. (2008) - *Eustatic-climate versus tectonic control of Pliocene-lower Pleistocene sequence stratigraphic surfaces (Salento, south Italy)*. Atti Congresso GEOSD 2008, Bari, 47-49.

Delle Rose M., Parise M. (2005) - *Speleogenesi e geomorfologia del sistema carsico delle Grotte della Poesia nell'ambito dell'evoluzione quaternaria della costa adriatica salentina*. Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan, 40, 153-173.

DEKSHOWITZ W.S., EINSTEIN H.H. (1988) - *Characterizing rock joint geometry with joint system models*. Rock Mech. Rock Eng., 21(1), 21-51.

ERICKSON J. (2002) - *Environmental Geology: Facing the Challenges of Our Changing Earth*. Facts on File, New York, 310 p.

FEDERICO A. con la collaborazione di SCURO M., ORLANDO M., ORLANDUCCI L. (2014) - *Consulenza scientifica finalizzata all'accertamento delle condizioni di rischio geomorfologico ed alla definizione di interventi di mitigazione del rischio da frana delle falesie della costa del Comune di Melendugno*. 30 pp + allegati

FOCARDI P., IOTTI A. (2001) - *Confronto di metodi di calcolo per la determinazione del percorso di blocchi a seguito di frane di crollo*. Geologia Tecnica e Ambientale, 2, 3-8.

FOLK R.L., ROBERTS H.H., MOORE C.H. (1973) - *Black phytokarts from Hell, Cayman Islands, British West Indies*. Geol. Soc. Amer. Bull., 84, 2351-2360.

FORTI P. (1991) - *Processi carsici e speleogenesi*. Prima Parte. Speleologia, 24, 42-46.

FORTI P. (1993) - *Meccanismi genetici ed evolutivi delle grotte marine*. Speleologia, 28, 63-67.

²<https://www.corrieresalentino.it/2014/08/ridotte-le-limitazioni-alla-balneazione-della-costa-nelle-marine-di-melendugno/>, consultato il 23 giugno 2018.

GOLUBIC S., SCHNEIDER J. (1972) - *Relationship between carbonate substrate and boring patterns of marine microorganism*. Geol. Soc. Am., Ann. Meet. Abstr. Progr., 4, 518.

HAMPTON, M.A., GRIGGS, G.B. (ed.) (2004) - *Formation, Evolution, and Stability of Coastal Cliffs—Status and Trends*. USGS Professional Paper 1693, 123 pp.

HEINIMANN H.R., HOLTENSTEIN K., KIENHOLTZ H., KRUMMENHACHER B., MANI P. (1998) - *Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren*. Naturgetahnenm BUWAL, Umwelt-Materialien, 85, 248 p.

HEUZÈ F.E., GOODMAN R.E. (1971) - *Three-dimensional approach for design of cuts in jointed rock*. Stability of rock slopes, 13th U.S. Symp. On Rock Mechanics, Urbana, Illinois. American Society of Civil Engineers, 397-441.

JABOYEDOFF M., LABOUISE V. (2003) - *Preliminary assessment of rockfall hazard based on GIS data*. ISRM 2003, Technology roadmap for rock mechanics. South Africa Institute of Mining and Metallurgy.

LARGAIOLLI T., MARTINIS B., MOZZI G., NARDIN M., ROSSI D., UNGARO S. (1969) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia*, Foglio 214 Gallipoli. 64 pp.

ONOFRI R. & CANDIAN C. (1979) - *Indagine sui limiti di massima invasione dei blocchi rocciosi franati durante il sisma del Friuli del 1976*. Reg. Aut. Friuli-Venezia-Giulia, CLUET, 42 pp.

PARENZAN P. (1983) - *Puglia Marittima*. Congedo ed., vol. 1, 403 pp.

PRIEST S.D. (1993) - *Discontinuity Analysis for Rock Engineering*. Chapman & Hall, 473 pp.

SCHNEIDER J. (1977) - *Carbonate construction and decomposition by epilithic and endolithic micro-organisms in salt- and freshwater*. In Flügel E. (a cura di) – Fossil Algae. Springer-Verlag, Berlino, 248-260.

SUNAMURA T. (2015) - *Rocky coast processes: with special reference to the recession of soft rock cliffs*. Proc. Jpn. Acad., Ser. B 91, 481-500.

TOPPE R. (1987) - *Terrain model: a tool for natural hazard mapping. Avalanche formation, movement and effect*. Publ. 162, 629-638.

VARNES D.J. (1984) - *Landslides Hazard Zonation – a Review of Principles and Practice*. IAEG Commission on Landslides, Unesco, Paris, 63 p.

VAROLA A. (1965) - *Nota preliminare su di un giacimento a Cancer Sismondai Meyer nella provincia di Lecce*. ATTI SOC. TOSC. SC. NAT., 72, 295-298.

WEST T.R. (2010) - *Geology Applied to Engineering*. Waveland Press Inc., Long Grove, 560 p.

WOLTERS G., MÜLLER G. (2004) - *The propagation of wave impact induced pressure into cracks and fissures*. In Coastal Chalk Cliff Instability. Eng. Geol. Spec. Publ. 20, Geological Society, London, 121–130.

Appendice - Fonti giornalistiche di Tabella 1

Corriere del Mezzogiorno

<https://corrieredelmezzogiorno.corriere.it/lecce/notizie/cronaca/2013/5-aprile-2013/erosione-crolla-falesiaa-san-foca-sant-andrea-212498186277.shtml>

TgNorba24

<https://www.youtube.com/watch?v=BbkoFsWfaU4>
<https://www.youtube.com/watch?v=JvXbk4ueoO0>

Lecceprima

<http://www.lecceprima.it/politica/roca-crollo-m5s.html>

Quotidiano di Puglia

https://www.quotidianodipuglia.it/lecce/la_falesia_si_sgretola_crollo_roca-1500767

La Repubblica

http://bari.repubblica.it/cronaca/2017/01/23/news/salento_crollano_pezzi_di_scogliera_a_roca_e_a_san_foca_le_ultime_due_emergenze-156702504/

La Gazzetta del Mezzogiorno

<http://www.lagazzettadelmezzogiorno.it/news/home/988545/crolla-un-pezzo-di-falesia-poti-zona-gia-off-limits-subito-i-consolidamenti.html>

RICORDIAMO GLI AMICI...

ANTONIO GIORDANO - (Dott. Geol.) - Accadia (FG)

Caro Antonio

Ormai è quasi un anno che sei venuto a mancare, da quel fatidico 10 agosto 2017.

Dopo una vita di frequentazioni, discussioni, successi entusiasmanti e anche “delusioni” professionali comuni, vederti andare via così presto mi ha riempito di una grande tristezza, per te, per il nostro grande gruppo storico, per la cara Liliana, per i tuoi figli.

Gruppo storico che, anche grazie a te e al tuo supporto, dal '90 ad oggi ha governato, imposto e fatto rispettare i geologi e la geologia professionale in tutto il tessuto sociale pugliese.

Sei stato un grande pioniere della professione di geologo, vissuta sempre con la schiena dritta e con grande dignità umana e professionale, sempre presente e disponibile per i veri amici, anche quando la malattia ti aveva già tolto un po' di serenità, attore di una intera vita di professione ad altissimo livello.

Te ne sei andato senza esser riusciti a fare la riunione a casa tua, riunione che stavamo organizzando proprio per fine estate scorsa, con gli amici del Consiglio e della Sigea.

Ricordo però, e mi consolano, le tante che nei decenni abbiamo fatto, da te ad Accadia, a Lucera, a Foggia, a Bari o altrove, tutti ricordi preziosi.

Sono stato fortunato a poter “disporre” della tua amicizia, sincera e costante, che si era da subito estesa alle consorti, contaminandole e coinvolgendole.

La categoria e l'Ordine dei Geologi ti devono molto.

Ciao, da me e da tutti i geologi amici.



Giovanni Calcagni

Antonio (al centro) con alcuni colleghi in una riunione del 2004.

MICHELE DI SALVIA - (Dott. Geol.) - San Nicandro Garganico (FG)

Michele era un “garganico” puro: caparbio e silenzioso, riflessivo e integerrimo. Di lui desidero ricordare, tra l'altro, la determinazione e la tenacia con cui costantemente, per sei lunghi anni, ha percorso insieme a Giovanni Calcagni, quasi mensilmente, il lungo percorso da Sannicandro Garganico a Bari.

Era il periodo della prima costituzione regionale dell'Ordine: si dovevano affrontare molti problemi e tutti i consiglieri eravamo al nostro primo incarico. Dopo lunghe e spesso pesanti riunioni organizzative il ritorno a casa risultava a dir poco “faticoso” per tutti in particolare per loro che dovevano percorrere intorno ai 150 km, ma eravamo tutti un po' più giovani!!!

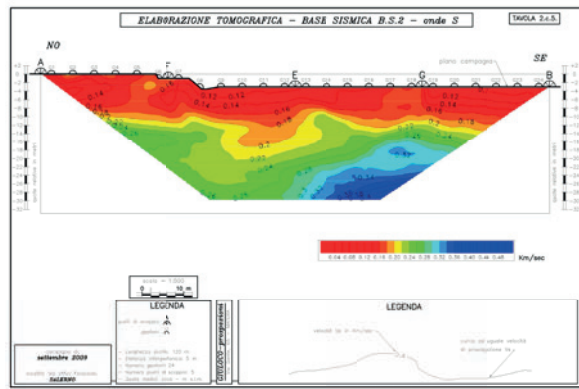
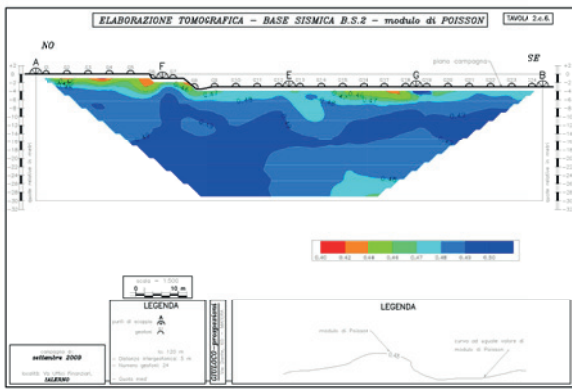
Michele, con il suo sorriso sornione, quasi mai esplosivo, era sempre razionale e risolutivo nell'affrontare i problemi talora difficili anche per la nostra inesperienza. Solo in rarissime occasioni l'ho visto perdere la sua compostezza: nel caso di “scorrettezze” da parte di iscritti nella compilazione di parcelle (era il presidente di quella Commissione) e quando presentatosi a Bari con un'auto nuovissima e lucidissima di colore scuro (una Lexus allora poco conosciuta in Italia) fu preso in giro dai consiglieri a cui rispose perdendo il suo “aplomb”.

Era chiaramente un uomo saggio come dimostrò nella soluzione di molte e delicate situazioni. Oltre al grande contributo in termini di efficacia e di competenza che conferì nell'organizzazione del neo-Ordine, tutti coloro che hanno avuto modo di conoscerlo lo ricordano con grande affetto per le sue qualità sia comportamentali che professionali.



Michele con G. Calcagni in occasione della cerimonia del ventennale dell'ordine (2012).

Antonio Paglionico



GIULOCO-prospezioni s.a.s. del Dott. Geol. Giuseppe Locorotolo

[iscritta al Registro delle Imprese di Matera R.E.A. n. 84248] P. IVA IT 01249760776

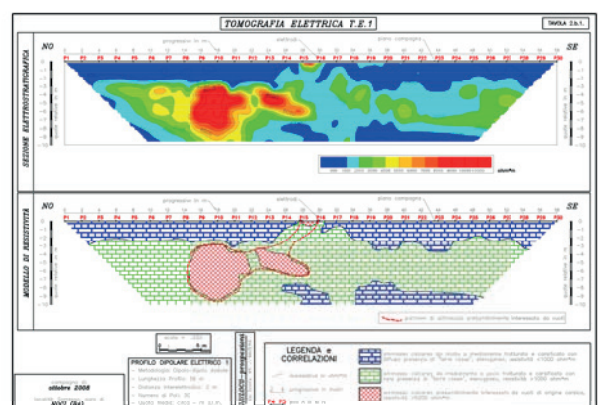
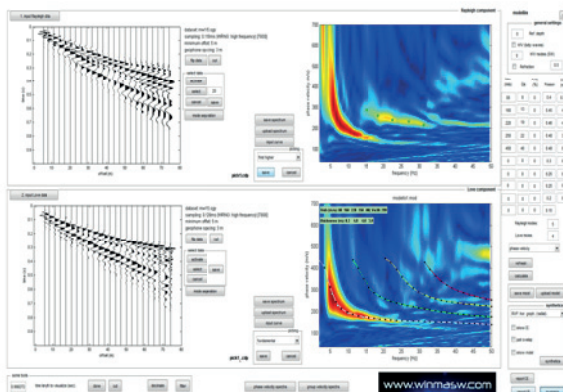
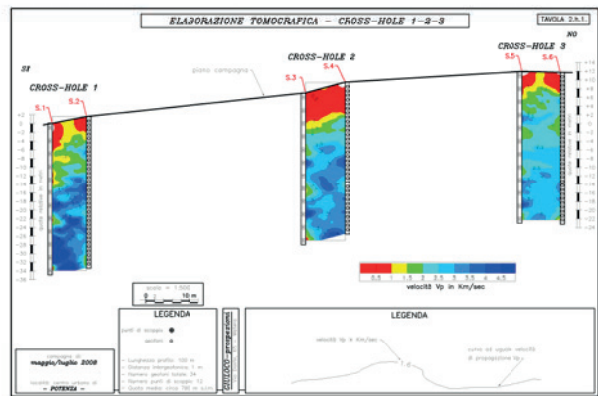
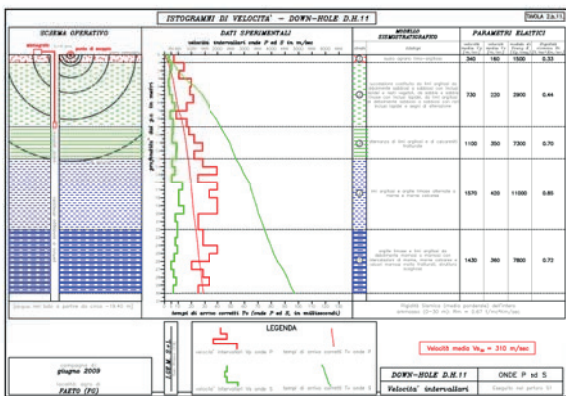
Sede: via De Sariis, 14 75100 Matera Tel. & Fax 0835.264522 Cell. 335.6204363

Indirizzo e-mail: glocorotolo@teletu.it indirizzo WEB: <http://home.teletu.it/giuloco>

La GIULOCO-prospezioni opera nel settore delle indagini geognostiche con specializzazione nel campo della Geofisica Applicata da oltre 25 anni. Eseguce interventi di supporto per studi geologico-tecnici inerenti tematiche ambientali, ingegneristiche, idrogeologiche finalizzate alla ricostruzione di sequenze stratigrafiche, individuazione di corpi sepolti, caratterizzazione geodinamica dei litopli, individuazione di livelli acquiferi.

Operando in diverse regioni viene a contatto con contesti geologici differenti, accrescendo continuamente la propria esperienza applicativa potendo fornire così valide indicazioni geognostiche su un'ampia gamma di terreni. Le metodologie geofisiche applicate sono quelle della geosismica e della geoelettrica, con le seguenti tipologie d'indagine:

- Prospezione geosismica a rifrazione di superficie in onde P e S, con calcolo dei moduli dinamici e V_{seq} - V_{s30} e con elaborazione tomografica delle sezioni sismostratigrafiche (BASE SISMICA); software utilizzati IXRefrax v. 1.21 della Interpex Limited e Rayfract v. 3.32 della Intelligent Resources Inc.;
- Prospezione geosismica in foro in onde P e S, con calcolo dei moduli dinamici e V_{s30} (DOWN-HOLE e CROSS-HOLE), sia con tiri diretti che con elaborazione tomografica); software utilizzato IXRefrax v. 1.21 della Interpex Limited e Rayfract v. 3.32 della Intelligent Resources Inc.;
- Prospezione geosismica di superficie attiva in onde di Rayleigh, sia in componente verticale che radiale, e in onde di Love, con analisi congiunta, con calcolo di V_{s30} (MASW); software utilizzato winMASW Academy 7.1 della EliaSoft;
- Prospezione geosismica di superficie passiva, con metodologia REMI, ESAC e HVSr, anche in analisi congiunta con acquisizioni tipo MASW; software utilizzato winMASW Academy 7.1 della EliaSoft;
- Prospezione geoelettrica di resistività con metodologia Schlumberger o Wenner (SONDAGGIO ELETTRICO VERTICALE); - prospezione geoelettrica di resistività e di caricabilità (polarizzazione indotta) 2D e 3D con metodologia Dipolo-Dipolo Assiale, Schlumberger, Wenner, Wenner-Schlumberger, Polo-Polo, Polo-Dipolo con elaborazione tomografica (PROFILO di RESISTIVITÀ); software utilizzato EarthImager 2D/3D della AGI;
- Prospezione georadar GPR; eseguita con sistema radar Ris MF Hi-Mod I prodotto dalla I.D.S. - Ingegneria dei Sistemi S.p.A., con software di elaborazione GRED 3D;



60
1958
2018



TS **TRIVELSONDA** s.r.l.
Perforazioni ed esplorazioni del sottosuolo

www.trivelsonda.com

Noi, non l' amianto.

Eliminarlo adesso, con noi costa meno.

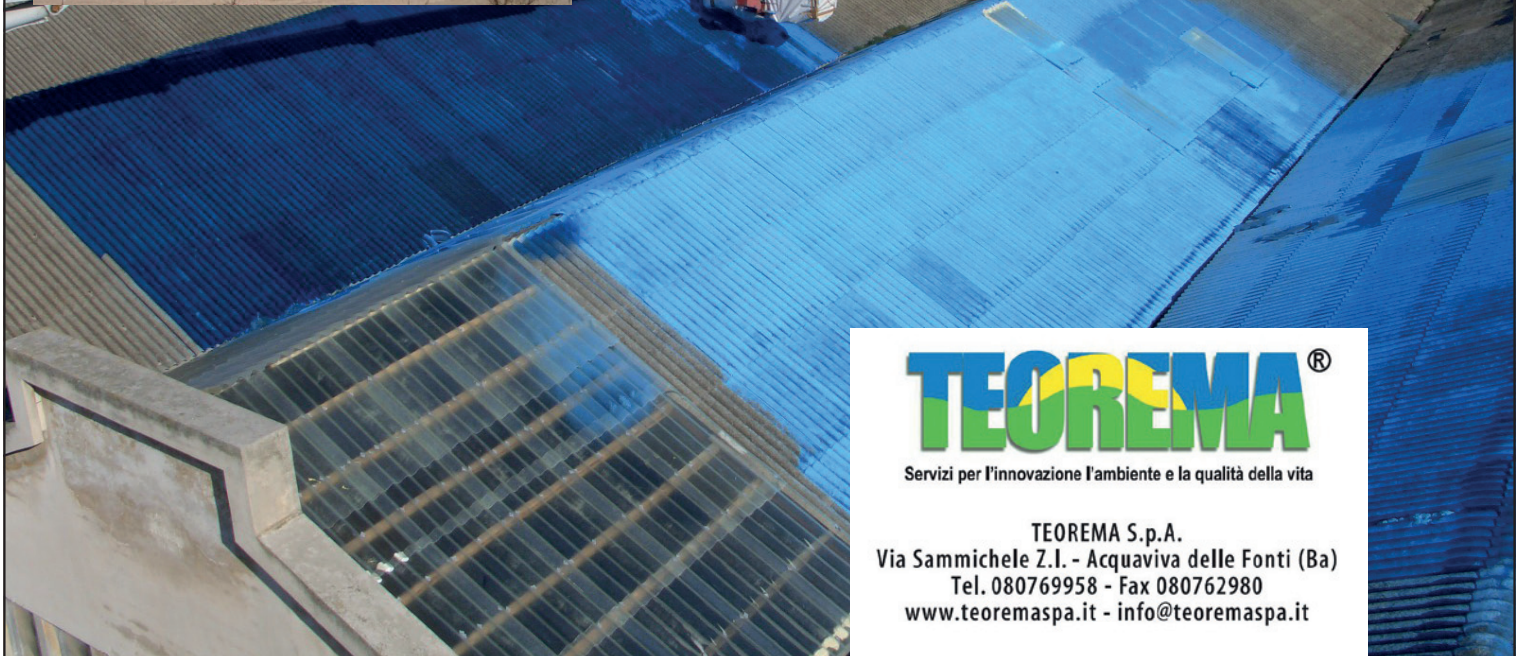
Tuteliamo la vostra salute.

I manufatti a base di amianto, soprattutto se danneggiati o deteriorati, possono disperdere fibre altamente pericolose nell'aria e causare asbestosi, carcinomi e mesoteliomi.

CREDITO D'IMPOSTA (50%) PER INTERVENTI DI BONIFICA DELL'AMIANTO ESEGUITI NEL 2016, PER LE IMPRESE.
CENSIMENTO AMIANTO GRATUITO.

CONSULENZA TECNICA GRATUITA

 **080 76 99 58**



TEOREMA®

Servizi per l'innovazione l'ambiente e la qualità della vita

TEOREMA S.p.A.
Via Sammichele Z.I. - Acquaviva delle Fonti (Ba)
Tel. 080769958 - Fax 080762980
www.teoremaspa.it - info@teoremaspa.it

GEOPROVE

S.R.L.

LABORATORIO MATERIALI DA COSTRUZIONE • LABORATORIO TERRE E ROCCE
INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE



Autorizzazione ministeriale ad effettuare e certificare prove su materiali da costruzione DM 275 del 12 giugno 2018.

Autorizzazione ministeriale ad effettuare e certificare prove su terre, rocce e prove in sito DM 278 del 14 giugno 2018.

