

Geologia dell'Ambiente

Periodico trimestrale della SIGEA
Società Italiana di Geologia Ambientale



Supplemento al n. 4/2018
ISSN 1591-5352

Atti del convegno nazionale

Cavità di origine antropica, modalità d'indagine, aspetti di catalogazione, analisi della pericolosità, monitoraggio e valorizzazione

Roma, 1 dicembre 2017

A cura di
FRANCESCA BOZZANO
EUGENIO DI LORETO
STEFANIA NISIO
MARIO PARISE



Analisi geostrutturale su nuvola di punti acquisita con laser scanner 3d: applicazione alla Grotta di Cocceio, Bacoli (Campania, Italia)

Marco Pagano
IdroGeo Srl, Vico Equense (NA), Italia

Biagio Palma
IdroGeo Srl, Vico Equense (NA), Italia

Mario Parise
Dipartimento di Scienze della Terra e
Geoambientali, Università degli Studi Aldo Moro,
Bari, Italia

Anna Ruocco
IdroGeo Srl, Vico Equense (NA), Italia

Geological-structural analysis from laser scanner 3d point cloud: the case study of Cocceio Cave, Bacoli (Campania, Italy)

Parole chiave (*key words*): laser scanner terrestre (*terrestrial laser scanner – TLS*); analisi geostrutturale (*geostuctural analysis*); nuvola di punti (*point cloud*); cavità artificiale (*artificial cavity*)

RIASSUNTO

La Grotta di Cocceio (Bacoli, Italia), realizzata intorno al 37 a.C., fu scavata nel tufo per tutta la sua lunghezza ed è connessa a pozzi verticali scavati nella collina da cui prendeva luce ed aria. Essa durante la Seconda Guerra mondiale fu utilizzata come deposito di munizioni e subì dei forti danni a seguito dell'esplosione di alcuni ordigni che generarono una "calotta di esplosione" fortemente predisposta alla caduta massi.

Al fine di caratterizzare l'ammasso roccioso in volta e, quindi, progettare adeguati interventi di consolidamento, è stata eseguita una analisi geostrutturale utilizzando una innovativa tecnica di analisi che prevede l'uso del Terrestrial Laser Scanning (TLS). Pertanto, a partire dalla nuvola di punti acquisita con laser scanner Riegl VZ400 della IdroGeo Srl di Vico Equense, si è proceduto alla caratterizzazione geometrica di tutte le discontinuità presenti in calotta. Le discontinuità in tal modo saggiate sono state, successivamente, validate attraverso analisi geomeccanica sulle discontinuità eseguite con le tradizionali raccomandazioni dell'ISRM (1978).

Tale procedura ha consentito di pervenire ad una caratterizzazione geostrutturale dell'ammasso tufaceo estremamente accurata garantendo, al contempo, misure areali e non puntuali, alti standard di sicurezza ai tecnici che di solito sostano per lungo tempo al disotto di fronti instabili e costi più contenuti.

INTRODUZIONE

La conoscenza dell'assetto geometrico-strutturale degli ammassi rocciosi è indispensabile per verificare la stabilità degli stessi e progettare le relative opere di consolidamento. Spesso, però, le tecniche di "rilievo tradizionale" sono estremamente costose e, talora, di difficile realizzazione a causa delle difficoltà di accesso al sito, dell'eccessiva pericolosità dei fronti rocciosi, o semplicemente per l'elevata estensione degli affioramenti.

Per risolvere tali problematiche ed al fine di caratterizzare dal punto di vista geostrutturale e geomeccanico le discontinuità degli ammassi rocciosi, negli ultimi anni si sono sviluppate metodologie di rilievo innovative come quelle che prevedono l'uso del *Terrestrial Laser Scanning* (TLS).

Il rilievo TLS fornisce un prodotto, composto da milioni di punti georiferiti, totalmente misurabile e gestibile nello spazio, potendo, in tal modo, costituire una dettagliata base dati di supporto all'analisi morfologica e geostrutturale.

Lo studio mediante l'impiego del TLS di un fronte roccioso, parzialmente inaccessibile o in contesti ambientali complessi, permette di indagare i versanti nella loro completa estensione, offrendo vantaggi sia legati alla sicurezza degli operatori che ai tempi di rilievo.

Tale innovativa metodologia di analisi è stata utilizzata per ricostruire l'assetto geostrutturale e geomeccanico della volta della Grotta di Cocceio (Bacoli, Campania), al fine di fornire un valido supporto alla progettazione degli interventi di consolidamento.

LA GROTTA DI COCCEIO

La Grotta di Cocceio fu progettata e realizzata intorno al 37 a.C. (Beloch, 1989) da Lucio Cocceio su commissione di Marco Vipsanio Agrippa. Essa fu realizzata dai romani per scopi militari, con lo scopo di collegare Cuma (fortificazione e punto di vedetta sul litorale domizio-flegreo) con il Portus Iulius (importante infrastruttura militare insistente, attraverso una serie di canali, anche sui bacini del lago d'Averno e del lago Lucrino) nel golfo di Pozzuoli.

La grotta si estende complessivamente per un chilometro circa (950 m), ha sezione trapezoidale ed andamento rettilineo leggermente in salita verso Cuma. Essa prendeva luce ed aria da sei pozzi scavati nella collina (il più lungo dei quali era profondo oltre trenta metri) ed era sufficientemente larga da permettere il passaggio di due carri.

Durante la Seconda Guerra mondiale fu utilizzata dalla Regia Marina come deposito di munizioni ed esplosivi che furono poi fatti brillare dai tedeschi in ritirata. A seguito del-



Figura 1 – Inquadramento geografico

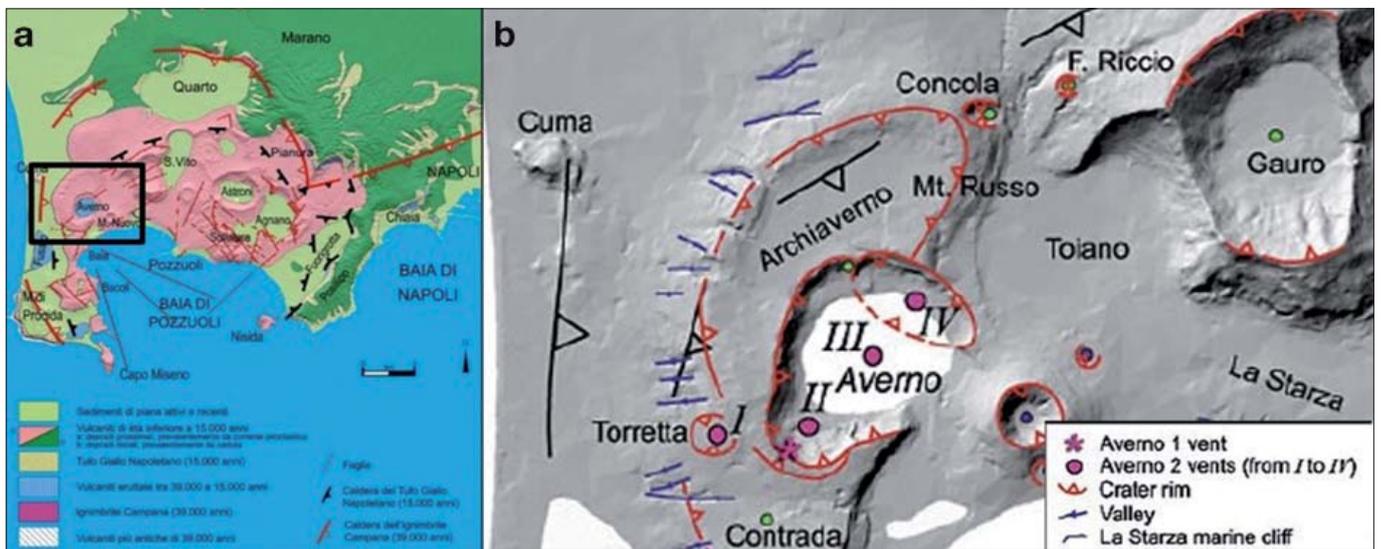


Figura 2 – Carta strutturale schematica della caldera dei Campi Flegrei (a; Orsi et al. 1996); Carta strutturale schematica dell'area di Averno (b; Di Vito et al., 2011)

la esplosione, la Grotta subì dei danni sulla volta di uno dei pozzi di areazione (“calotta di esplosione”), con il crollo parziale del soffitto e delle pareti.

Nel dopoguerra, essa è stata sottoposta a diversi interventi di bonifica senza essere mai consolidata.

Nel 2010 un’ordinanza comunale ha disposto lo sgombero esecutivo degli edifici costruiti sopra la galleria, a causa di una serie di crolli avvenuti all’interno della stessa.

Negli anni successivi, la Grotta fu destinataria di progetti tesi alla riqualificazione

ed alla conseguente fruizione, anche turistica, mediante il *Progetto POR 2000-2006 Pit Campi Flegrei – Recupero Grotta di Cocceio*. Nell’ambito del POR 2000-2006 e dopo una serie di interruzioni per crolli, ostruzioni, etc., nel maggio 2017 hanno avuto inizio i lavori di restauro e consolidamento della Grotta.

ASSETTO GEO-STRUTTURALE E VULCANO-STRATIGRAFICO

La Grotta di Cocceio insiste nel settore occidentale della Caldera dei Campi Flegrei, nel comune di Bacoli (Fig. 1).

I Campi Flegrei costituiscono un grande campo vulcanico (Fig. 2), la cui origine è connessa agli eventi tettonici distensivi legati all’apertura del bacino Tirrenico, in cui sono stati attivi, negli ultimi 39.000 anni, più di 70 centri eruttivi. L’attuale assetto morfologico è il risultato di due collassi calderici di vaste proporzioni legati alle eruzioni dell’Ignimbrite Campana (39.000 anni fa) e del Tufo Giallo Napoletano (15.000 anni fa).

La Grotta di Cocceio è ubicata subito ad Ovest del Lago d’Averno, uno specchio d’acqua che giace all’interno del cratere vulcanico dell’Archiaverno.

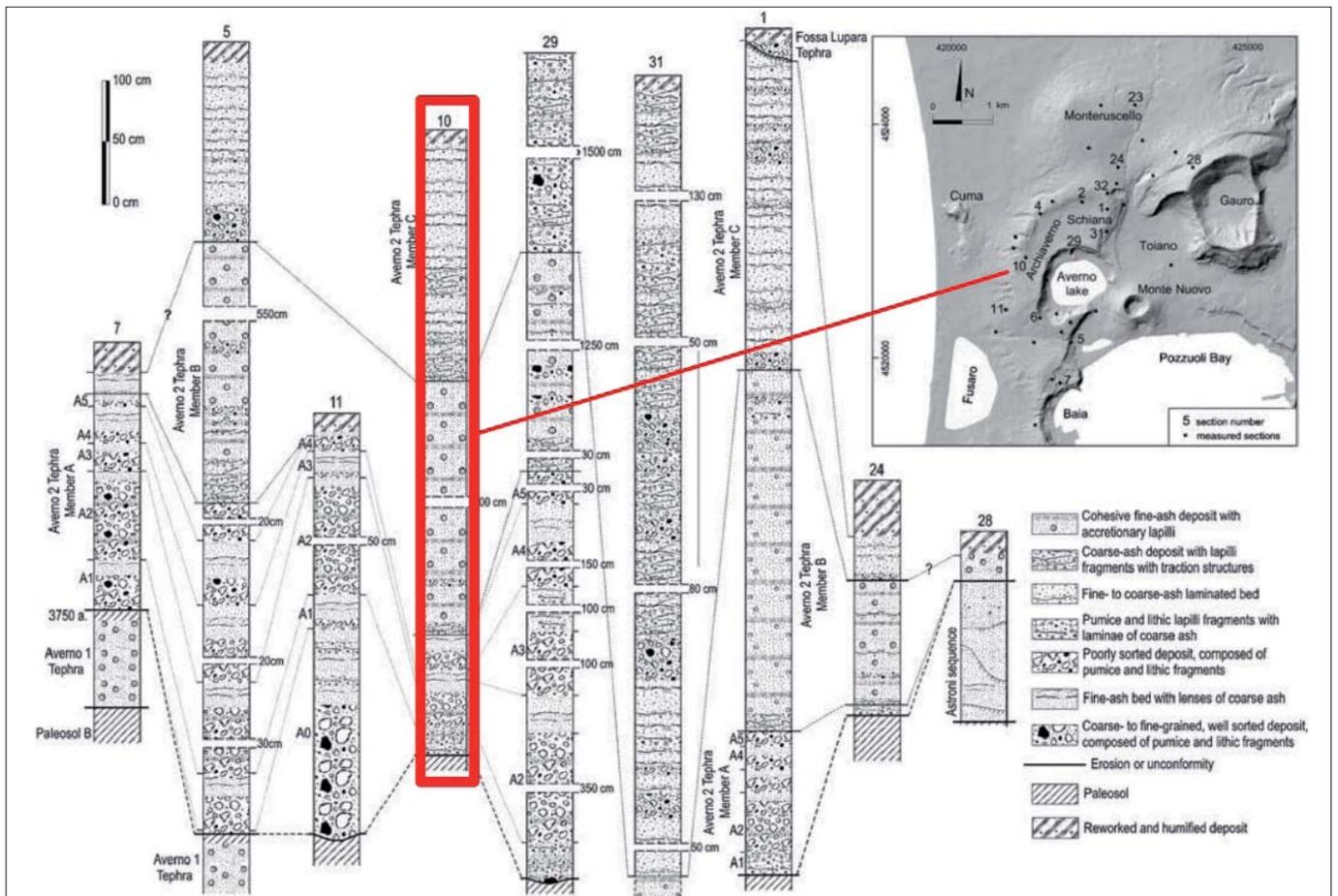


Figura 3 – Sequenza stratigrafica (Di Vito et al. 2011)



Le principali caratteristiche del laser VZ 400:

- Laser di Classe 1
- Portata oltre 500 mt
- Fotocamera metrica con corpo macchina ed ottiche calibrate ad alta definizione (>6 Mpixel)
- First e last impulse
- Capacità di riduzione delle zone d'ombra dovute alla vegetazione
- Sensore inclinometrico integrato e piombo laser
- Antenna GPS integrata
- Alta velocità di acquisizione: min. 122.000 pti/sec
- Angoli di scansione: 360° orizzontale – 360° verticale
- Precisione: ≤ 5mm
- Bussola integrata

Figura 4 – Laser scanner RIEGL VZ400 e sue principali caratteristiche

La sequenza stratigrafica generale (Fig. 3) dell'area è costituita dal *Tufo Giallo dell'Archiaverno*, ed è ricoperta da prodotti incoerenti dell'Averno (Di Vito *et al.* 2011).

La Grotta di Cocceio è stata interamente scavata nella Formazione dell'Archiaverno, la cui messa in posto risale a 10.700 anni b.p. (datazioni ¹⁴C; Lirer *et al.*, 2011). Si tratta di una sequenza di ceneri da massive a pseudo-stratificate, contenenti abbondanti lapilli accrezionali e litici, con subordinati sottili livelli di pomice da caduta. I depositi da *surge* sono distribuiti su un'area di circa 34 km², mentre quelli da caduta si rinvergono solo su una ristretta area verso Nord (Di Vito *et al.*, 2011).

Successivamente alla messa in posto, tali materiali sono stati interessati da processi di zeolitizzazione che hanno portato alla formazione di facies litoide caratterizzata da intensa fratturazione.

RILIEVO LASER SCANNER 3D

Il rilievo laser scanner 3D, eseguito dalla IDROGEO SRL, ha riguardato una porzione della calotta della Grotta di Cocceio e del piano campagna posto sulla verticale della stessa.

Il rilievo laser scanner tridimensionale (TLS) è un metodo innovativo per la ricostruzione e il controllo geometrico di costoni rocciosi ed ambienti ipogei. La metodologia consente di rilevare le superfici con una maglia di acquisizione sub-centimetrica. Il risultato è un «fermo immagine» della scena alla data dell'acquisizione, rappresentato da milioni di punti georiferiti, facilmente navigabile e condivisibile attraverso il servizio di *cloud-computing*.

L'attività di cantiere ha comportato una prima fondamentale fase di progettazione del rilievo che è consistita nella scelta del numero e del posizionamento dei target (*control points*) da installare in funzione delle scansioni da eseguire, definendo la posizione delle stesse scansioni anche in funzione della orientazione dei principali piani di discontinuità.

Il rilievo, eseguito con Laser Scanner RIEGL VZ400 (Fig. 4), ha consentito di acquisire una nuvola di punti georiferita costituita da 349 milioni di punti, ognuno dei quali dotato delle seguenti informazioni: geografica (X, Y, Z), cromatica (RGB) e di riflettanza (i).

Il rilievo è consistito in un totale di dieci *scan position*, nove delle quali sono state posizionate all'interno della Grotta, mentre una è stata ubicata all'esterno ed integrata con rilievo fotogrammetrico da *SAPR (Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto)* con velivolo modello Italdron 4HSE.

Per ciascuna postazione di rilievo, sono state compiute scansioni plurime variando la risoluzione delle acquisizioni: in primo luogo, è stata eseguita una scansione panoramica

a maglia larga al fine di ottenere un file facilmente gestibile ed un controllo immediato del campo di rilievo, e successivamente sono state compiute diverse scansioni a maglia progressivamente più fitta. Nella fase di impostazione delle scansioni di dettaglio, sono stati settati anche i dati relativi alla fotografia, relativamente al tempo di esposizione e all'apertura del diaframma, in modo da avere le immagini da collegare alla nuvola di punti, opportunamente calibrate, in base alle variabili condizioni di luce e alla vicinanza dell'oggetto di indagine.

Al termine di ogni scansione, prima di cambiare la *scan position*, è stata eseguita la scansione di dettaglio dei target, che ha permesso allo scanner di individuare e registrare i riflettori installati.

I dati acquisiti con laser scanner sono elaborati con software di post-processing dedicati, al fine di unire le scansioni effettuate dalle differenti *scan position*, pulire il modello da elementi spuri per passare definitivamente all'elaborazione bidimensionale e tridimensionale.

Innanzitutto, si procede alla colorazione delle nuvole di punti, assegnando ad ogni punto X, Y, Z, anche le coordinate R, G, B, derivanti dalle immagini scattate durante la fase di acquisizione. Tale procedura avviene mediante tecniche di allineamento sia manuale che automatico tra le foto e le scansioni acquisite.

Si procede quindi all'unione e alla rototraslazione delle varie nuvole di punti acquisite. Tale operazione è di primaria importanza, ed al fine di ottenere errori trascurabili è indispensabile unire le nuvole di punti attraverso target ad alta riflettanza, georiferiti con l'ausilio di GPS e stazione totale di alta precisione. Al termine di tali operazioni, si verifica l'errore di misura esistente in seguito all'unione tra le scansioni; se questo non è accettabile, vengono eseguite tecniche di allineamento "forzate" definite *Multi-Station-Adjustment (MSA)* di cui il software RiscanPro (Riegl) è dotato.

Successivamente, si è proceduto all'ottimizzazione della nuvola di punti eliminando gli elementi spuri, i punti sovrapposti e ridondanti, gli oggetti non significativi (cavi elettrici, impalcatura, etc). Il risultato, a questo punto dell'elabo-



Figura 5 – Nuvola di Punti - Modello numerico reale dell'intera calotta



Figura 6 – Nuvola di Punti - Modello numerico reale dell'interno della calotta

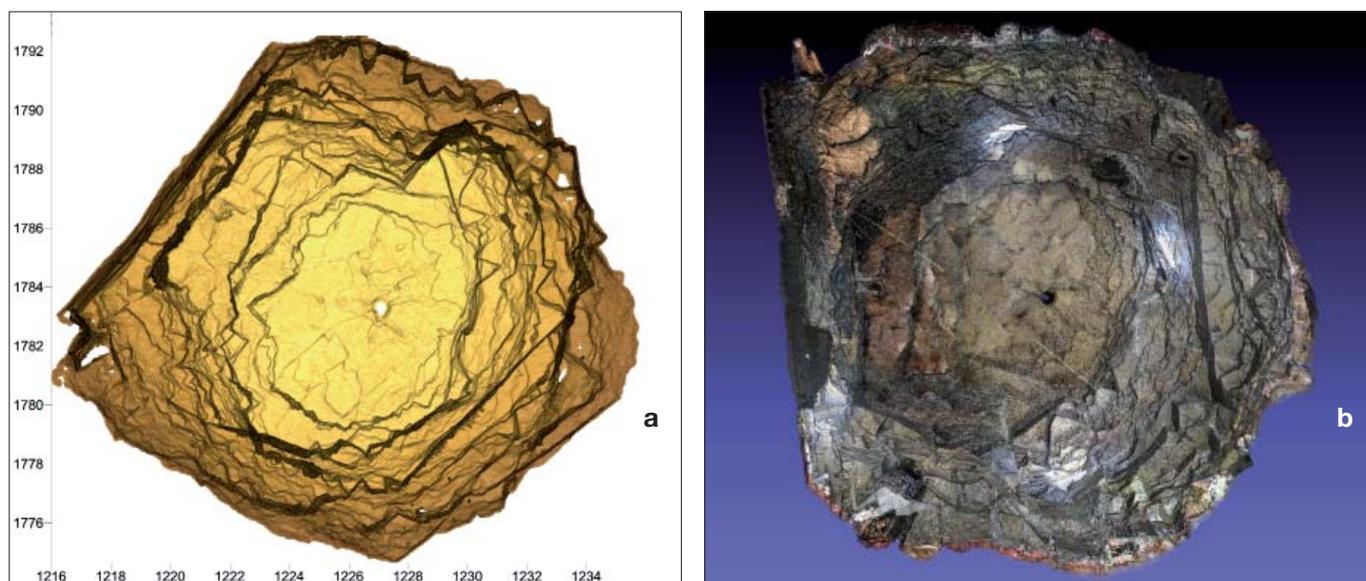
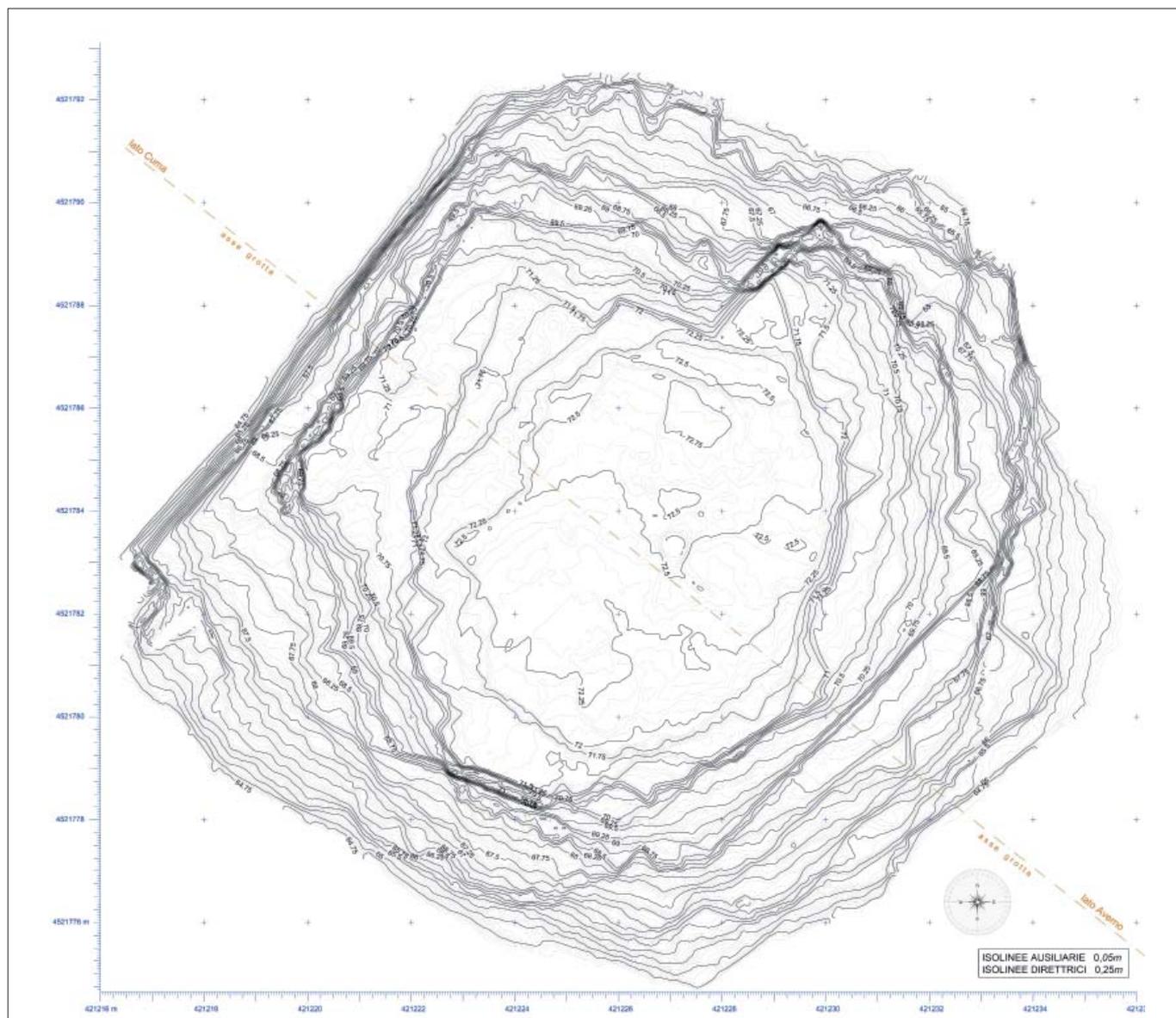


Figura 7 – Modello 3D (7a) e Modello 3D texturizzato (7b)

razione, è un modello tridimensionale costituito da una nuvola di punti molto dettagliata, capace di rappresentare, con estrema accuratezza, la geometria della grotta (Figg. 5 e 6).

Al fine di conferire maggiore gestibilità per le fasi successive di implementazione, viene eseguita una decimazione spaziale nell'intorno dei punti, in modo da alleggerire

il dato e renderlo esportabile in altri software e altri formati. La fase finale del procesamiento delle nuvole di punti consiste nella realizzazione della superficie solida detta *mesh*



(Fig. 7a e 7b) che rappresenta, in maniera esaustiva, la geometria della calotta.

Tutti i prodotti del rilievo confluiscono, infine, in elaborati grafici 2D e 3D rappresentati da planimetrie (Fig. 8), prospetti, sezioni, *mesh*, DTM (*Digital Terrain Model*), DSM (*Digital Surface Model*), etc.

ANALISI GEOMECCANICA SU NUVOLE DI PUNTI

L'analisi geostrutturale della Grotta di Cocceio è stata operata secondo metodi innovativi di analisi che prevedono la misura delle giaciture direttamente sulla nuvola di punti. Difatti, attraverso specifici software sono stati analizzati gli attributi della nuvola di punti e, più specificatamente, i valori del-

Pertanto, a partire dalla nuvola di punti e dal suo DSM occorre stimare le equazioni analitiche, nella forma $AX + BY + CZ + D = 0$, che determinano l'orientamento e la posizione nello spazio dei piani che meglio approssimano la nuvola di punti.

Tra i metodi utilizzati per definire e misurare detti piani vi è il metodo dei minimi quadrati e quello della segmentazione geometrica del DSM (Roncella *et al.*, 2004).

Il metodo dei minimi quadrati considera tutto il set di dati messi a disposizione. Tale metodo, però, non prevede l'utilizzo di meccanismi interni per individuare e rifiutare gli errori grossolani, presenti soprattutto quando si trattano dati sperimentali. Con questo metodo si può avere un alto rischio di errori grossolani non

ratteristiche, anche in presenza di una rilevante percentuale d'errori grossolani.

La procedura seguita dall'algoritmo è totalmente diversa da quelle impiegate nelle normali metodologie di stima: anziché utilizzare inizialmente il maggior numero possibile di dati per ottenere una soluzione di partenza, dalla quale poi distinguere i punti non validi, RANSAC utilizza il minor numero possibile di dati iniziali per generare il modello, cercando poi di allargare questo set con dati coerenti al modello, se possibile.

Per chiarire la procedura si riporta il riferimento al caso bidimensionale della retta da ricercare in un insieme di dati sperimentali contenente una percentuale anche molto rilevante di errori grossolani (Fig. 10a, Project INTERREG III ALCOTRA 2002-2006):

- Vengono eseguite un numero adeguato di prove:
 - estrazione casuale di $n=2$ dati (minimo indispensabile per definire il modello);
 - valutazione degli scarti rispetto al modello: vengono selezionati i punti che cadono entro una soglia predefinita s (verdi) e si scartano gli altri (rossi).
- L'insieme che contiene il numero maggiore di dati rappresenta il modello ricercato;
 - il modello prescelto viene ristimato a minimi quadrati utilizzando tutti i punti classificati come *inliers*.

Ripetendo il procedimento per i volte si otterranno, pertanto, i insiemi di punti ognuno generato da una differente scelta dei 2 punti iniziali. Per un appropriato valore di i , si può asserire che con una determinata probabilità p almeno una delle coppie di punti iniziali non comprende al suo interno nemmeno un *outlier*.

Nel caso in cui siano presenti più sottoinsiemi coerenti di dati (Fig. 10.b, Project INTERREG III ALCOTRA 2002-2006), l'algoritmo elimina tutti i punti appartenenti alla retta che ha ottenuto il maggior consenso (in rosso) e ripete la procedura di ricerca della retta che meglio approssima i punti rimanenti.

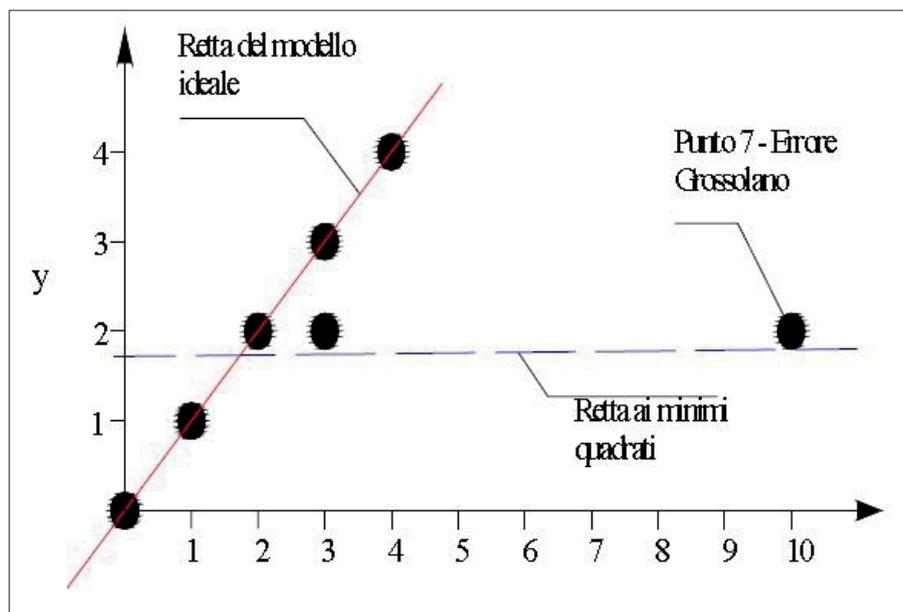


Figura 9 – Fallimento della riduzione a minimi quadrati per la stima di dati affetti da errori grossolani

le normali associate ai piani che si adattano ad aggregati di punti tra loro adiacenti (*CloudCompare*).

Tali normali definiscono l'orientamento delle entità geometriche a cui appartengono nello spazio, difatti anch'esse sono definite da una terna di coordinate spaziali.

compensati che vanno ad inficiare la validità del modello assunto; infatti il rischio è quello di avere nel set di punti iniziali da interpolare punti appartenenti ad un altro piano (Fig. 9).

L'algoritmo RANSAC (Fischler & Bolles, 1981) permette, invece, di individuare i vari piani e stimare le relative equazioni ca-

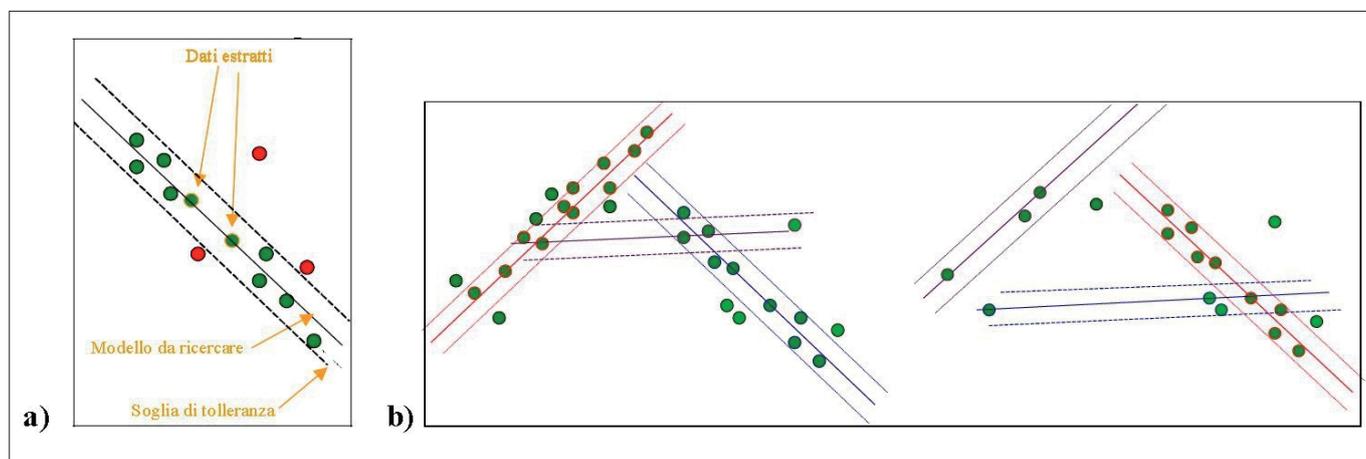


Figura 10 – a) Individuazione della retta interpolante nel caso sia presente un solo insieme di dati; b) Individuazione della retta interpolante nel caso siano presenti più sottoinsiemi di dati (più rette)

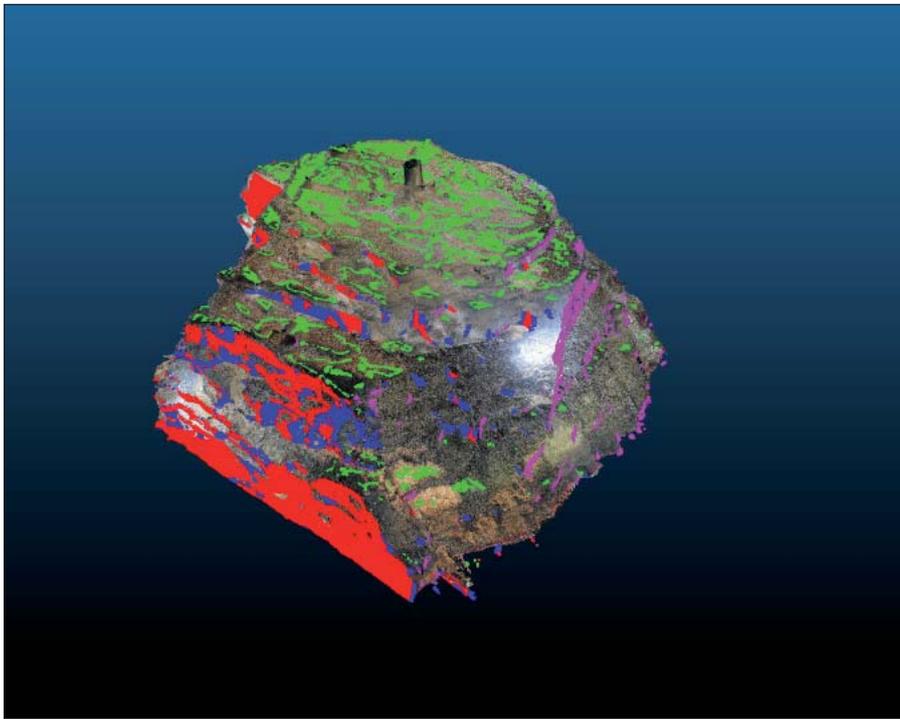


Figura 11 – Rappresentazione del set di punti selezionati in quanto ritenuti rappresentativi di una determinata famiglia di discontinuità

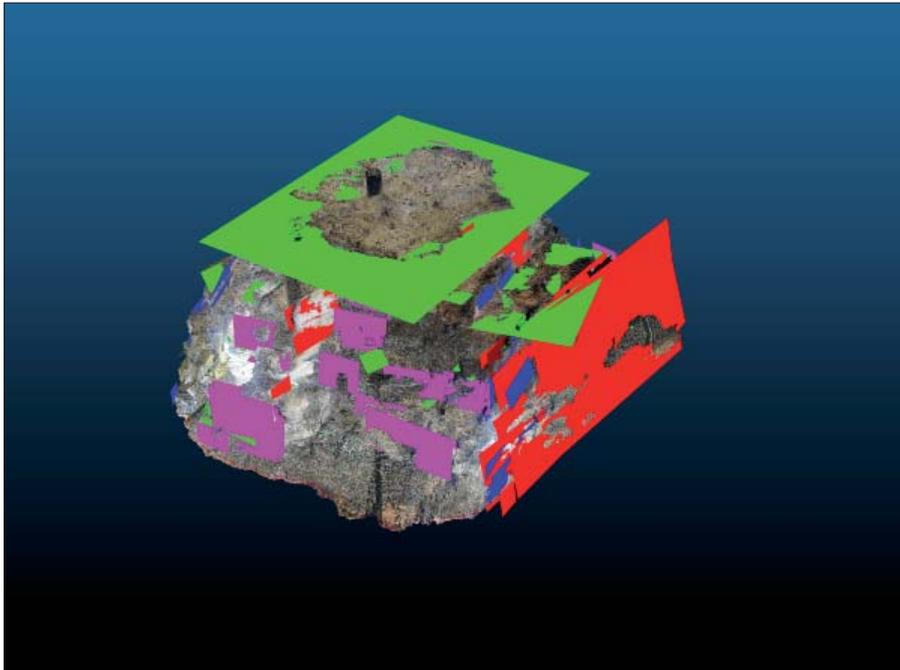


Figura 12 – Rappresentazione dei piani di discontinuità interpolanti i set di punti selezionati

A tale fine, per ogni modello, sono state condotte delle prove su diverse porzioni di DTM, per ricercare un valore di soglia che si dimostrasse efficiente, indipendentemente dalla dimensione media delle porzioni, dalla rugosità e dall'ondulazione della parete.

In particolare il presente studio è stato operato avvalendosi dell'algoritmo RansacSD (RANSAC *Shape Detection*). Si tratta di un algoritmo di rilevamento automatico della forma proposto da ricercatori dell'Università di Bonn (Schnabel *et al.*, 2007), che consente di isolare forme, o un insieme di forme, all'interno del DSM (procedura eseguita con il software *open source Cloud Compare*).

Pertanto, per estrapolare i piani interpolanti aggregati di punti ad egual giacitura si è eseguita, sulla nuvola di punti filtrata e decimata, una analisi delle normali associate ai singoli piani così determinati; ciò ha

consentito di individuare porzioni di spazio con orientazione simile. Tali valori sono stati, quindi, parametrizzati attribuendo alla nuvola di punti un nuovo attributo, calcolato associando al valore della normale di ogni singolo piano, il valore di giacitura (Dip/Dip Direction).

A questo punto, sono stati selezionati tutti i punti a giacitura simile entro un certo *range* di variabilità, lungo quelli che sono i lineamenti geologici di interesse, al fine di interpolare i piani che meglio si adattano alla distribuzione di punti individuata.

I parametri considerati sono (Tarsha-Kurdi *et al.*, 2008):

- numero massimo di punti appartenenti allo stesso piano, che è funzione della densità di punti;
- soglia di tolleranza della distanza tra il piano scelto e gli altri punti, che è funzione dell'accuratezza della nuvola di punti;
 - massima deviazione dal vettore normale al piano scelto;
- imposizione di valori di soglia, affinché il procedimento iterativo sia finalizzato alla ricerca di piani più adatti trascurando quelli con errore maggiore. Tale metodo è definito di tipo semi-automatico, con controllo e validazione manuale, in quanto ad una fase prettamente computazionale di riconoscimento, calcolo e conversione delle normali in dato geostrutturale, vi è alla base un processo di selezione manuale delle entità da modellare (Fig. 11), dettata dall'esperienza dell'operatore che mantiene un controllo diretto sul dataset di risultati in uscita.

Infine, si è proceduto alla creazione automatica del piano di discontinuità interpolante i punti selezionati e limitrofi (Fig. 12) ed alla estrazione delle giaciture per ciascuno di essi (calcolo di Dip Direction – Dip).

I piani così individuati dai parametri medi di immersione e inclinazione vengono rappresentati mediante proiezione stereografica. La discretizzazione in famiglie di discontinuità è operata per mezzo di una selezione dei poli dei piani mediante finestre entro le quali è stato mediato il valore di dip/dip direction.

Essendo le giaciture in oggetto in gran parte ad alto angolo di inclinazione si è tenuto conto della possibile variazione di polarità delle discontinuità connessa ad un eventuale

Tabella 1 – Giacitura media delle principali famiglie di discontinuità identificate mediante analisi geostrutturale su nuvola di punti.

SET	Analisi Geostrutturale su Nuvola di Punti			
	ID	Immersione	Inclinazione	N. di Piani
K1		310	82	41
K2		112	78	53
K3		20	75	38
S'		205	15	22

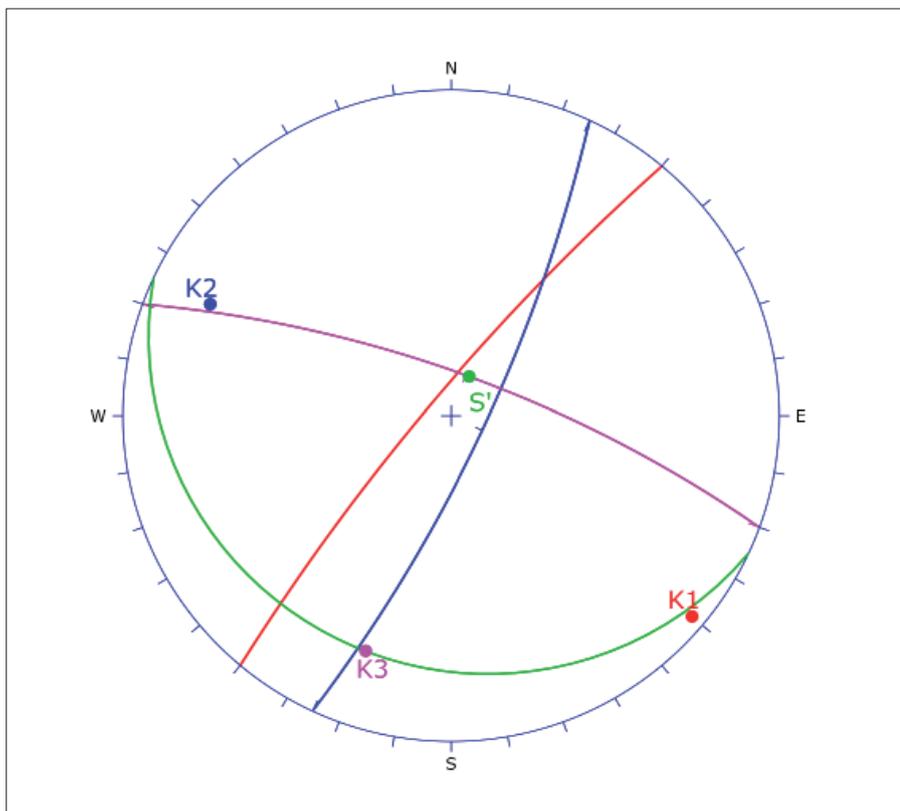


Figura 13 – Rappresentazione delle ciclografiche delle famiglie di discontinuità individuate mediante analisi geostrutturale su nuvola di punti

andamento ondulato. Di conseguenza le finestre entro cui sono stati mediati i parametri delle discontinuità abbracciano porzioni opposte dello stereoplot.

Sono state effettuate 154 misure di discontinuità lungo tutta l'estensione delle pareti in esame, distinguendo almeno tre famiglie di discontinuità principali, oltre alla

stratificazione, la cui giacitura media è illustrata nel diagramma stereografico di Fig. 13 e che sono riassunte in Tab. 1.

TARATURA E CONFRONTO QUANTITATIVO DEI DATI MEDIANTE TECNICHE STANDARD

Al fine di tarare il dato giaciturale acquisito in maniera semi-automatica sulla nuvola di punti, sono state saggiate sul posto alcune delle discontinuità presenti nell'ammasso tufaceo.

Più nel dettaglio, sono state identificate le principali famiglie di discontinuità che pervadono l'ammasso mediante osservazione diretta, e successivamente sono state eseguite misurazioni casuali delle stesse, con tecniche standard utilizzando la bussola geologica tipo Clar (Fig. 14) secondo le Raccomandazioni dell'*International Society of Rock Mechanics* (ISRM 1978). I dati di orientazione delle discontinuità in tal modo acquisiti sono stati raccolti in proiezione equiareale polare. In definitiva, è stata evidenziata la presenza, oltre alla stratificazione (S' , S''), di tre famiglie di discontinuità principali (K1, K2, K3) e di una famiglia K4 scarsamente rappresentata (Tab. 2).

In ultima analisi è stata effettuata una comparazione dei dati strutturali ricavati con le due differenti tecniche di rilievo, ovvero rilievo geomeccanico manuale e rilievo geostrutturale su nuvola di punti acquisita con tecnica TLS.

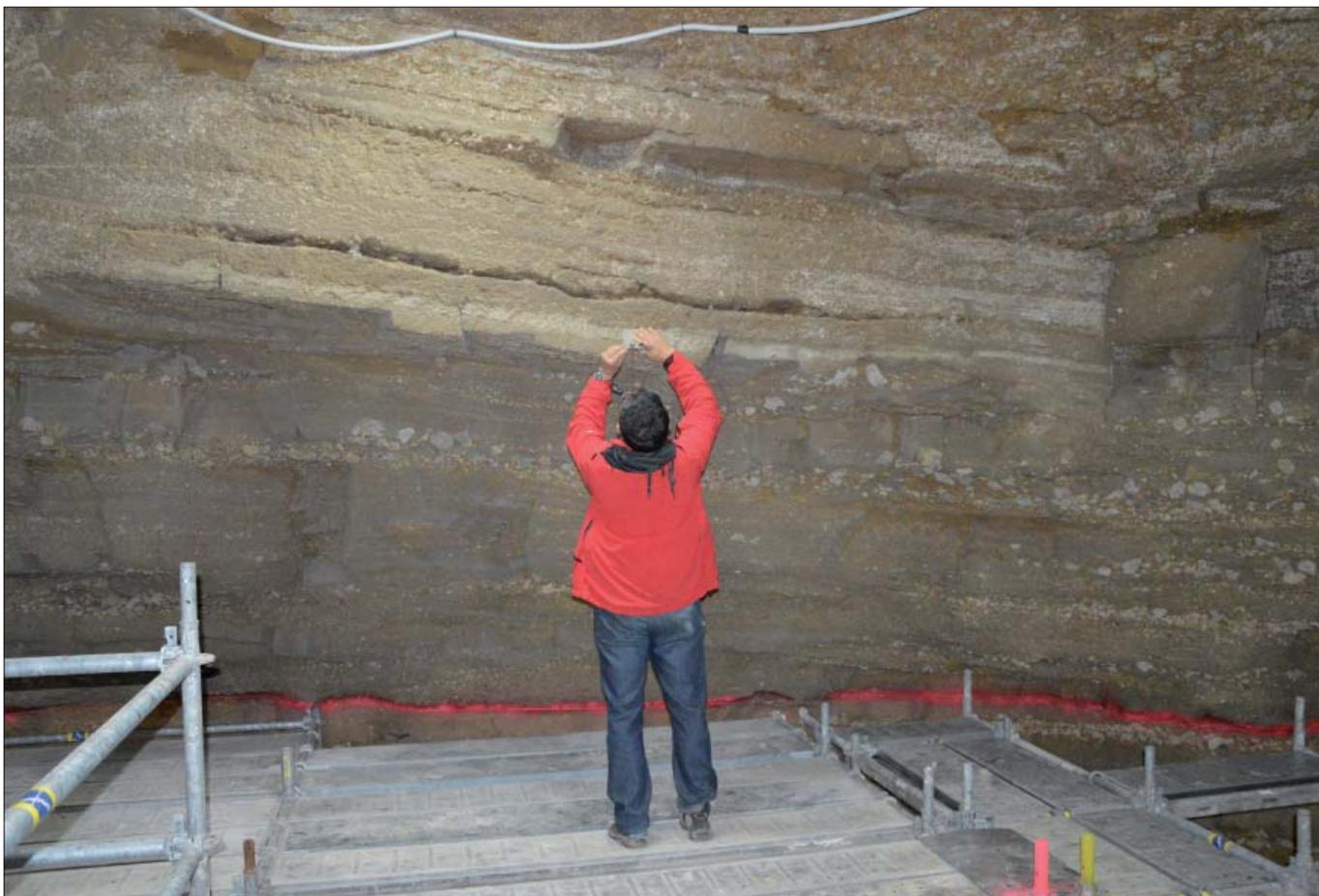


Figura 14 – Fase di acquisizione dei dati geomeccanici con tecniche standard

Dal confronto dei dataset ottenuti risulta evidente che i risultati conseguiti attraverso l'analisi geostrutturale su nuvola di punti sono congruenti con quanto acquisito in modo diretto (Fig. 15 e Tab. 2).

oltre che dispendiosa in termini di costi e di tempo. L'utilizzo di tecniche di indagine avanzate, come il rilievo scanner laser 3D per la accurata modellazione geometrica dei fronti rocciosi, risulta una metodologia essenziale

Difatti, le analisi condotte hanno consentito di ottenere dati altamente attendibili in condizioni logisticamente difficili, fornendo così ai progettisti la base per la definizione di tutti quegli elementi indispensabili per il dimensionamento degli interventi di consolidamento (orientazione dei giunti, cinematismi attesi, spaziature delle discontinuità, ecc.).

Gli ottimi risultati ottenuti da questa innovativa tecnica di rilievo inducono a considerare la possibilità di una sua applicazione a nuvole di punti acquisite avvalendosi della fotogrammetria terrestre da SAPR (*Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto*). Tale procedura consentirebbe di risolvere una delle maggiori problematiche legate al rilievo con LST, rappresentata dalla sovente impossibilità di acquisire l'oggetto in esame da più punti di vista a meno di installare il laser scanner su piattaforme inerziali in grado di consentire il rilievo anche su mezzi aerei, SAPR, o natanti.

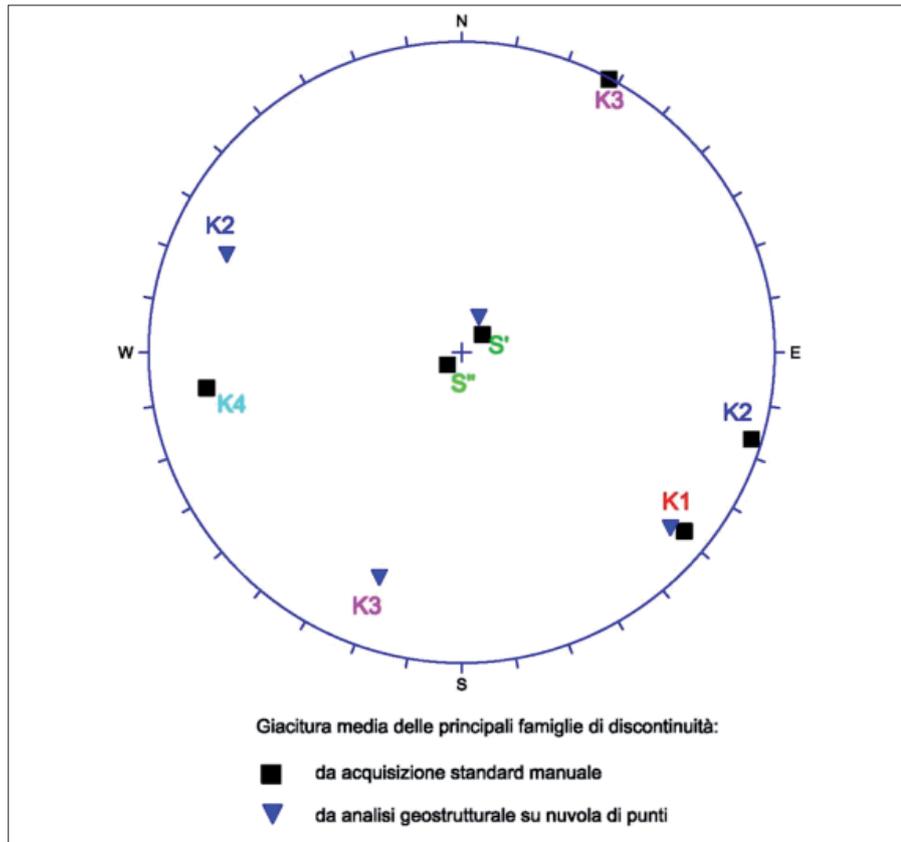


Figura 15 – Stereoplot relativo al confronto dei dati derivati da analisi geostrutturale su NP e da acquisizione con tecniche standard manuali

Tabella 2 – Confronto tra dati giaciturali acquisiti

SET	Tecniche Standard di Acquisizione		Analisi Geostrutturale su Nuvola di Punti	
	Immersione	Inclinazione	Immersione	Inclinazione
K1	309	85	310	82
K2	287	88	112	78
K3	208	90	20	75
K4	82	79		
S'	228	10	205	15
S''	50	7		

Fa eccezione la famiglia denominata K4, per lo più evidenziata da lineazioni lungo le pareti della calotta ma in generale scarsamente rappresentata nell'ammasso roccioso ed, apparentemente, le giaciture degli strati. A tal ultimo proposito, è da evidenziare che la differenza di immersione degli strati scaturita dal rilievo di tipo standard manuale è da correlare alla genesi dei materiali vulcanici (flussi piroclastici) caratterizzati da un andamento ondulato della stratificazione.

CONCLUSIONI

L'analisi degli ammassi rocciosi può risultare in alcuni casi particolarmente complessa in considerazione delle condizioni logistiche e della estensione dei fronti da investigare,

per trovare una soluzione tecnica valida a tali problematiche.

Tale procedura consente, infatti, di sostituire le informazioni puntuali acquisite con le tecniche di rilievo tradizionale con quelle areali ed estese all'intero ammasso roccioso. Ciò, oltre a determinare una più approfondita conoscenza dell'assetto geostrutturale dell'ammasso, consente anche di eseguire i rilievi con maggiori livelli di sicurezza (talora proibitivi con l'esecuzione di indagini classiche) e con costi più ridotti.

A tal fine, è stato presentato il caso studio relativo alla Grotta di Cocceio a Bacoli, dal quale si evince il prezioso contributo del rilievo laser scanner 3D come supporto alla analisi geostrutturale degli ammassi rocciosi.

BIBLIOGRAFIA

- BELOCH J. (1989), *Campania – Storia e topografia della Napoli antica e dei suoi dintorni*. Ristampa a cura di Claudio Ferone e Franco Pugliese Carratelli, Napoli, Bibliopolis.
- DI VITO M. A., ARIENZO I., BRAIA G., CIVETTA L., D'ANTONIO M., DI RENZO V., ORSI G. (2011), *The Averno 2 fissure eruption: a recent small-size explosive event at the Campi Flegrei caldera (Italy)*. Bull. Volcanol., 73, 295-320.
- FISCHLER M. A., BOLLES R. C. (1981), *Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography*. Communications of the ACM, 24 (6), 381-395.
- ISRM (1978), *Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences Geomechanical Abstracts, 15, 319-368.
- LIRER L., PETROSINO P., ALBERICO I., ARMIERO V. (2011), *Carta Geologica di Cuma, Averno e Monte Nuovo* (Scala 1:10.000).
- ORSI G., DE VITA S., DI VITO M. (1996), *The restless, resurgent Campi Flegrei nested caldera (Italy): constraints on its evolution and configuration*. J. Volcanol. Geotherm. Res., 74, 179-214.
- PROJET INTERREG III ALCOTRA (2002-2006), *Rockslidtec - Développement d'outils méthodologiques pour la détection et la propagation des éboulements de masse* - Rapporto Finale.
- RiscanPRO 64bit vers. 2.3.2, Riegl Laser Measurement System, www.riegl.com
- RONCELLA R., FORLANI G., REMONDINO F. (2004), *Photogrammetry for geological applications: Automatic retrieval of discontinuity orientation in rock slopes*. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering.
- SCHNABEL R., WAHL R., KLEIN R. (2007), *Efficient RANSAC for Point-Cloud Shape Detection*. Computer Graphics Forum, Citeseer, vol. 26, pp. 214-226.
- CloudCompare Version 2.9.1 User Manual.
- TARSHA-KURDI, F., LANDES, T., GRUSSENMEYER, P. (2008), *Extended RANSAC algorithm for automatic detection of building roof planes from Lidar data*. The Photogrammetric Journal of Finland, 21 (1), 97-109.



CONSIGLIO NAZIONALE
DEI GEOLOGI



Cavità di origine antropica, modalità d'indagine, aspetti di catalogazione, analisi della pericolosità, monitoraggio e valorizzazione

Sala Convegni del CNR, P.le Aldo Moro, Roma
1° dicembre 2017 ore 9.30-18.30

PROGRAMMA

Comitato Promotore

Eugenio Di Loreto, Antonello Fiore, Carla Galeazzi, Maurizio Lanzini,
Stefania Nisio, Arcangelo Francesco Violo

È stata inoltrata richiesta di n. 8 crediti formativi ai fini dell'APC per geologi.

Con nota del MIUR (U).0049443.20-11-2017 è stato concesso l'esonero
dall'obbligo di servizio ai docenti di ogni ordine e grado.

Sarà possibile seguire il convegno anche in diretta streaming sul canale CNR
<https://live.cnr.it/liveRomaConvegni.html>

Info

<http://www.convegnoipogei2017.it> • convegnoipogei2017@sigeaweb.it



Con il patrocinio di



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE



Ministero
dei beni e delle
attività culturali
e del turismo



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente



Consiglio Nazionale delle Ricerche



ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO

Major sponsor



Sponsor



Sala convegni CNR - Piazzale Aldo Moro, 7 - Roma
1° dicembre 2017 ore 9.30-18.30
Programma sessione orale

08.00-09.30 | Accredito in sala partecipanti registrati

09.30-10.00 | Apertura lavori e saluti delle Autorità

ANTONELLO FIORE, presidente della SIGEA - Società Italiana Geologia Ambientale

FABIO TRINCARDI, direttore del Dipartimento Terra e Ambiente del CNR

CLAUDIO CAMPOBASSO, direttore del Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia dell'ISPRA

GINO MIROCLE CRISCI, rettore dell'Università della Calabria

ROBERTO TRONCARELLI, presidente dell'Ordine dei Geologi del Lazio

ARCANGELO FRANCESCO VIOLIO, segretario del CNG - Consiglio Nazionale dei Geologi

10.00-11.45 | **Sessione A - Censimento a catalogazione cavità**
Moderatore MARIO PARISE

10.00 | *Catasto Speleologico Nazionale delle Cavità Artificiali. Classificazione, interventi di tutela e monitoraggio conseguiti grazie ai dati speleologici, prospettive future* – BELVEDERI G., BETTI M., BIXIO R., GALEAZZI C., GALEAZZI S., GERMANI C., MAZZOLI M., MENEGHINI M., PARISE M. & SAJ S.

10.20 | *Cave sotterranee nel Colle Aventino. Cartografia storica, documenti di archivio e nuove indagini geoarcheologiche* – RUSTICO L. & NARDUCCI R.

10.35 | *Primo contributo alla realizzazione della Carta delle Cavità Sotterranee di Roma* – BISCONTI F., CIOTOLI G., FERRI G., FIORE R., HUBER T., LANZINI M., NISIO S., PAOLUCCI R., ROMA M., STRANIERI I. & SUCCHIARELLI C.

10.50 | *L'inventario delle cavità di origine antropica e la Banca Dati territoriale online del territorio della Città Metropolitana di Napoli* – GUARINO P.M., CARTA R., NICEFORO D.M.A., ROMA M., MARI R., SORAVIA M., NAPOLITANO P., PALMA G., SGARIGLIA F. & SANTO A.

11.05 | *Opere belliche: classificazione dei rifugi per categoria tecnico-costruttiva e funzione d'uso* – GRASSI L.

11.20 | *Cittaducale (Rieti): i rischi connessi all'esteso reticolo di cavità antropiche* – DAMIANI G., MENOTTI R. M., MILLESIMI F., RINALDI C. & SABATINI F.

11.45-13.30 | **Sessione B - Analisi della pericolosità territoriale**
Moderatrice STEFANIA NISIO

11.45 | *Le condizioni di stabilità degli ipogei in ammassi rocciosi calcarenitici: rapporti tra geologia e propensioni al dissesto* – ANDRIANI G.F. & PARISE M.

12.05 | *L'utilizzo delle fotografie aeree dell'Aerofototeca Nazionale degli anni precedenti l'urbanizzazione del suburbio romano per l'individuazione e catalogazione di cavità di crollo connesse all'evoluzione pernicioso di cavità sotterranee legate ad attività estrattive* – GIANNELLA G. & ROSA C.

12.20 | *Analisi geostrutturale su nuvola di punti acquisita con laser scanner 3d: applicazione alla grotta di Cocceio, in Bacoli (Campania, Italia)* – B. PALMA, M. PAGANO, M. PARISE & A. RUOCCO

12.35 | *Il fattore NSHPE dei pilastri di cave sotterranee e il loro fattore di sicurezza a compressione desunto da analisi di regressione multivariata* – BRUNO G.

12.50 | *Studio numerico parametrico per la definizione di abachi per la valutazione preliminare della stabilità di cavità sotterranee in calcarenite tenera* – PERROTTI M., LOLLINO P., FAZIO N.L., PISANO L., VESSIA G., PARISE M., FIORE A., LUISI M., MICCOLI M.N. & SPALLUTO L.

13.05 | *Analisi sistemica per una valutazione della suscettibilità al dissesto di territori dell'Agro Nolano (provincia di Napoli) con presenza di cavità antropiche in tufo* – CACCAVALE G., CALCATERRA D. & RAMONDINI M.

13.30-14.30 | **Pausa pranzo**

Sala convegni CNR - Piazzale Aldo Moro, 7 - Roma
1° dicembre 2017 ore 9.30-18.30
Programma sessione orale

14.30-16.15 | Sessione C - Tecniche e procedure di monitoraggio e consolidamento
Moderatrice FRANCESCA BOZZANO

- 14.30 | *Sviluppi nelle tecniche e tecnologie di indagine, monitoraggio e consolidamento delle cavità in venti anni di applicazione nel laboratorio naturale dell'Orvieto ipogea* – MARTINI E., SOCCODATO C., SOCCODATO F.M. & ALBANO V.
- 14.50 | *Modello geologico e criteri di monitoraggio dell'evoluzione delle cavità nell'area orientale di Roma* – BOZZANO F., CAMMILLOZZI F., ESPOSITO C., MAZZANTI P. & TOSTI S.
- 15.05 | *Piano per la messa in sicurezza delle cavità sotterranee instabili nei Comuni del Cratere Sismico Aquilano danneggiati dal sisma del 2009* – PIPPONZI G., MATTUCCI F. & FERRINI E.
- 15.20 | *Le tecniche per operare in sicurezza in spazi confinati applicate nel progetto di studio e recupero "Forma aquae maxentii"* – GIRARDO L., SANTUCCI E., ADORNATO S. & BASSO S.
- 15.35 | *Un approccio numerico 3D per valutare l'evoluzione temporale della stabilità di cavità in sottoterraneo interagenti con edifici* – CIANTIA M., CASTELLANZA R.P. & DI PRISCO C.
- 15.50 | *Metodi integrati di caratterizzazione e monitoraggio per la valutazione della pericolosità di ipogei e reti caveali* – ARGENTIERO I., PARISI A., PELLICANI R. & SPILOTRO G.

16.15-18.00 | Sessione D - Valorizzazione e fruizione
Moderatore EUGENIO DI LORETO

- 16.15 | *La rete degli UNESCO Geoparchi Globali e esempi di valorizzazione delle cavità antropiche all'interno del Parco nazionale del Cilento e Vallo di Diano* – ALOIA A.
- 16.35 | *Il sistema ipogeo di "Kolymbethra - Porta V" nel Parco Archeologico della Valle dei Templi di Agrigento: un esempio di fruizione turistica di cavità artificiale* – LOMBARDO G., NOTO G., INTERLANDI M., AGNELLO E. & VECCHIO E.
- 16.50 | *Potenzialità delle cavità ex-estrattive tra recupero ambientale e nuovi usi: applicazioni nel Parco dell'Appia Antica* – DELL'AIRA P., ESPOSITO C. & GUARINI P.
- 17.05 | *Carta delle miniere della Nurra (Sardegna)* – DORE P. & MEZZOLANI S.
- 17.20 | *La gravina di Ginosa dopo i crolli di Via Matrice: una nuova vision ed una nuova strategia per attivare una rigenerazione possibile* – PARISI N.
- 17.35 | *Dalla patrimonializzazione alla valorizzazione dei trappeti ipogei di Terra d'Otranto* – MONTE A.
- 18.00 | **Chiusura lavori a cura di Francesco Peduto, Presidente CNG**

**Dalle ore 8.00 alle 18.30 presso il Foyer della Sala Convegni saranno allestiti spazi espositivi
a cura degli sponsor**

Sala Arangioruiz CNR - Piazzale Aldo Moro, 7 - Roma

1° dicembre 2017 ore 10.00-18.00

Esposizione poster

10.00-18.00 | **Digital Gallery**

Proiezione poster in versione digitale e filmati

10.00-11.35 | **Sessione B - Analisi della pericolosità territoriale**

- 1b | *Ricostruzione del modello tridimensionale di una cavità sotterranea nel Complesso Monumentale dei SS. Marcellino e Festo (Napoli) mediante l'utilizzo di laser scanner manuale* – ALLOCCA V., ANGRISANI A.C., CODA S., DANZI M., DE VITA P., DEL VECCHIO U., DI MARTIRE D., MASSA D., MININ G., NOCERINO G. & CALCATERRA D.
- 2b | *Siti minerari dismessi in aree in frana: l'ex miniera di sale di Lungro (Calabria)* – ANTRONICO L. & GULLÀ G.
- 3b | *Studio geologico dell'area che ospita le grotte di San Giorgio Lucano, finalizzato alla geoconservazione* – BENTIVENGA M., CAPECE A., GUGLIELMI P., MARTORANO S. & PALLADINO G.
- 4b | *La presenza di acque nelle cavità sotterranee di Roma* – BERSANI P. & NISIO S.
- 5b | *Lavori di indagine e di rimozione delle macerie del crollo di Via Matrice nella Gravina di Ginosa* – BISIGNANO M., DEBERNARDIS M., LAURIERO N., PEPE P., PERRUCCI A., RISIMINI I. & TANCREDI S.
- 6b | *Nuove metodologie di rilievo di ambienti ipogei tramite laser scanner: l'esempio di una cavità artificiale in provincia di Napoli* – DANZI M., DEL VECCHIO U. & MININ G.
- 7b | *Metodologie di indagini geognostiche dirette ed indirette per l'individuazione e la determinazione delle geometrie di cavità antropiche profonde in ambito urbano. Il caso di studio di Altamura (BA) nell'ambito dei lavori di "Mitigazione del rischio idrogeologico connesso alla presenza di una rete caveale nel Comune di Altamura* – DEBERNARDIS M., MANICONE D., MARTIMUCCI V., PEPE P., SPECCHIO V., TANCREDI S. & VERNI V.
- 8b | *Studio geologico-geotecnico dell'ambiente ipogeo sottostante l'Ospedale Civile di Ragusa (RG)* – DI RAIMONDO S. & ZOCCO M.
- 9b | *Analisi numerica tridimensionale dei fattori di controllo di un processo di sinkhole in area urbana* – FAZIO N.L., PERROTTI M., LOLLINO P., PARISE M., VATTANO M., MADONIA G. & DI MAGGIO C.
- 10b | *I granai sotterranei della Table du Jugurta (Krumira - Tunisia settentrionale)* – FERRINI G. & MORETTI A.
- 11b | *Relazioni tra caratteristiche petrografiche e parametri geotecnici nelle rocce tenere carbonatiche in Puglia* – FESTA V., FIORE A., LUISI M., MICCOLI M. N. & SPALLUTO L.
- 12b | *Studio numerico agli elementi finiti per la determinazione delle condizioni di stabilità per chiese rupestri scavate in rocce tenere nel territorio pugliese* – LUISI M., FIORE A., MICCOLI M. & SPALLUTO L.
- 13b | *L'esperienza di ANAS nell'interferenza delle infrastrutture stradali con cavità naturali o antropiche* – MICHELI A. & MARTINO M.
- 14b | *L'ipogeo di captazione della sorgente Mazzoccolo in Formia (Lazio meridionale): caratteristiche, storia e vulnerabilità di un'opera idraulica di epoca romana ancora funzionante* – MIELE P.
- 15b | *Considerazioni sulla stabilità morfologica della cavità rocciosa che ospita l'eremo (IX sec.) dedicato a S. Michele Arcangelo - Monti Aurunci (Lazio meridionale)* – MIELE P.
- 16b | *Criteri di verifica dei pilastri di cave sotterranee di pozzolana abbandonate* – MIZZONI M., GIANNELLA G., VIRGILI F. & VITTORI E.
- 17b | *La riscoperta delle cave di Monteverde Vecchio, Roma* – MORABITO A., ROSSI D. D., LANZINI M.
- 18b | *Fattori geologico-tecnici nella realizzazione di cavità artificiali* – PARISE M.
- 19b | *Classificazione degli ambienti sotterranei e analisi della fratturazione della "Ricerca Buca del Serpente" (Campiglia Marittima, Toscana)* – POGGETTI E. & TINAGLI L.
- 20b | *Preesistenze di natura antropica in una delle regioni più antiche delle Catacombe dei SS. Marcellino e Pietro a Roma* – RICCIARDI M. & GIULIANI R.
- 21b | *Sinkhole in aree urbane: lo stato delle conoscenze nella provincia di Napoli* – SANTO A., DE FALCO M., FORTE G., GUARINO P.M. & SCOTTO DI SANTOLO A.

11.45-13.20 | **Sessione C - Tecniche e procedure di monitoraggio e consolidamento**

- 1c | *Cavità di origine antropica e sicurezza degli edifici scolastici nella città di Roma: i casi di studio di via Asmara (Municipio II) e via Diana (Municipio V) – ARGENTIERI A., DI NEZZA M., DI FILIPPO M., PIRO M., ROTELLA G., CECCHINI F. & MARGOTTINI S.*
- 2c | *Interventi di bonifica di cavità antropiche in ambito urbano finalizzate alla Mitigazione del rischio idrogeologico connesso alla presenza di una rete caveale ubicata in contesto urbano nel Comune di Altamura – ANTONINO D., BAROZZI D., DE VENUTO G., FIORE A., SPECCHIO V., PEPE P., MARTIMUCCI V., VERNI V., TANCREDI S. & DEBERNARDIS M.*
- 3c | *Nuovi studi sulle necropoli etrusche di Tarquinia (VT) con GPR e Geoelettrica – BRANCALEONI G., CASTELLARO S. & PERRICONE L.*
- 4c | *Il metodo B&B ottimizzato per la definizione dell'area tributaria dei pilastri in cave sotterranee – BRUNO G., BOBBO L. & FIDELIBUS M.D*
- 5c | *Monitoraggio di alcuni Qanat circostanti l'area di Yazd e simulazione delle loro caratteristiche idrogeologiche – BURRI E., DEL BON A., FERRARI A., GHAFORI H., YAZDI A.A.S., KHANEKI L.M., PIERLEONI A. & RAGNI P.*
- 6c | *Miglioramento delle proprietà meccaniche di calcareniti con trattamenti chimici – CASTELLANZA R.P., FRIGERIO G., SEIDLER C. & DI PRISCO C.*
- 7c | *Analisi qualitativa dei fenomeni di instabilità ed interventi per la riqualificazione ambientale delle spiagge di Fontania (Gaeta-Latina) – FALCONI I.*
- 8c | *Le tecniche geofisiche al servizio dell'archeologia preventiva – FILIPPINI P., VERCELLI C., FIGLIOZZI E. & VOLPE N.*
- 9c | *GIS e drone per la gestione emergenziale delle cavità sotterranee – GAGLIANO F. M.*
- 10c | *Collasso di ipogei in un centro storico ad elevata valenza paesaggistica (Castro Marina - LE), tecniche di monitoraggio e modellazione per il recupero strutturale – LAZZARI S.*
- 11c | *Esperienze nell'impiego di aeromobili a pilotaggio remoto nell'esplorazione, documentazione e monitoraggio cavità artificiali – MAZZOLI M., BONFÀ I. & MARSALA F.*
- 12c | *Esplorazione e documentazione di cavità artificiali sommerse – MAZZOLI M., GALEAZZI C. & VITELLI M.*
- 13c | *Rilievo 3D di cavità ipogee per la corretta pianificazione di emergenza – MUSCIO V.*
- 14c | *Consolidamento di cavità e monitoraggio della rupe di Orvieto (Terni) – VENTURA P.*
- 15c | *Analisi di stabilità e progetto esecutivo per il consolidamento di cavità urbane nel centro storico di Ragusa Ibla (RG) – ZOCCO M. & LICITRA C.*

14.30-16.05 | **Sessione D - Valorizzazione e fruizione**

- 1d | *Valorizzazione e tutela delle cavità antropiche identificate quali geositi nel Parco Nazionale del Pollino-UNESCO Geoparco Mondiale – BLOISE L.*
- 2d | *Tutelare e valorizzare il sottosuolo: la ricostruzione 3D della miniera di grotta della "Buca della Faina di Poggio dell'Aione" – BROCCINI D., DERAVIGNONE L. & POGGETTI E.*
- 3d | *La città di Shahrood (Iran) ed il suo approvvigionamento idrico tramite i Qanat – BURRI E., DEL BON A., DOULATI A.F., FERRARI A., KARAMI G.H. & RAGNI P.*
- 4d | *Gli ipogei in Puglia tra conservazione e innovazione – CALDERAZZI A., PAGLIARULO R. & STRAFELLA F.*
- 5d | *Gli ipogei di San Dana (LE). Un sistema rupestre marginale nel Salento meridionale – CALÒ S. & LONGO D.*
- 6d | *Privata Traiani Domus (Roma). Elaborazioni 3D, ricerca e fruizione – CARNABUCI E., CALÒ S. & SANTUCCI E.*
- 7d | *La valorizzazione del patrimonio minerario ipogeo di età preindustriale dell'area sudorientale della Provincia di Livorno – CASCONI G., CASINI A., TINAGLI L. & BORZATTI A.*
- 8d | *Il sentiero dell'acqua di Sinalunga (Siena, Toscana) – CENSINI G., DORE P. & DALLOCCHIO E.*
- 9d | *Il complesso ipogeo in località San Fortunato - Marsciano (PG) – CHIARALUCE V.*
- 10d | *Gli ipogei di Bagnoregio e Civita (Viterbo): una ricchezza (quasi) sconosciuta – DI BUDUO G.M., CHIARALUCE V., COSTANTINI L. & PONZIANI T.*
- 11d | *Monitoraggio delle cavità sotterranee di Roma: aspetti di pericolosità e di conservazione della biodiversità – DI LORETO E., LIPERI L., NISIO S., PIZZOLI I., ROSCIOLI F., SANTINI E. & TOMMASINI A.*



- 12d | *Siracusa ipogea* – DI MAIO A.M., BORDONE G., GIOMPAPA M., MIRAGLIA C. & ARENA L.
13d | *Conservazione alimentare in ambiente ipogeo: l'esempio delle cave in sotterraneo della Val di Non* – GALGARO A., CULTRERA M., DE CARLI M., DE LULLO A., FAURI M., DAZ S., DALLA SANTA G., COSA S., SCOTTON P., CONFORTI F. & FUGANTI A.
14d | *Opere belliche: l'esperienza del bunker e dei rifugi antiaereo di Villa Torlonia (Roma)* – GRASSI L. & PLACIDI M.
15d | *Un'antica fortificazione sul mare: il forte di Baia* – LANDI V. & SANTANASTASIO R.
16d | *Il recupero e la valorizzazione del rifugio antiaereo dei Savoia a Villa Ada (Roma)* – MORABITO A. & TESSARI R.
17d | *Soluzioni insediative ipogee e rupestri casi studio in Sicilia* – MUSOTTO L.
18d | *Gli ipogei di Agrigento* – NOTO G.
19d | *Aspetti geomorfologici e cavità d'origine antropica del territorio dell'Ecomuseo della Tuscia Rupestre* – SASSO A.
20d | *Progetto Norchia '16-'18. Scavi nella necropoli di Guado di Sferracavallo - Norchia (VT)* – STERPA S.
21d | *Caratteristiche geoarcheologiche dei pozzi d'acqua del centro urbano storico e della piana di Palermo* – TODARO P.
22d | *Le gallerie delle sorgenti termali di Porretta. Rilievi, monitoraggi, azioni di valorizzazione* – VANNINI S.

16.15-18.00 | **Sessione A - Censimento e catalogazione cavità**

- 1a | *Leggere le grotte: da Sant'Ilario sullo Ionio (RC) nuovi spunti per il culto delle acque* – AGOSTINO R. & PIZZI F.
2a | *Note preliminari sulle indagini speleologiche e geologiche dell'Acquedotto "Fontana" di Velletri (Roma)* – BERSANI P., GERMANI C., GALEAZZI C., BOTTIGLIA R. & GALEAZZI S.
3a | *Altamura memoria del paesaggio: le cave per l'estrazione del materiale lapideo. Dal censimento alla valorizzazione dei percorsi dell'industria estrattiva* – CAPURSO E. & NINIVAGGI T.
4a | *Censimento di cavità antropiche nell'arcipelago Pontino attraverso l'applicazione di metodi di rilievo speditivi e fotogrammetrici avanzati* – CARLOMAGNO A., FANTINI A., GAZZETTI C., LOY A., MARINO L., SARANDREA P. & VERBENA G.
5a | *Il c.d. cunicolo superiore del Muro Etrusco a Todi (PG)* – CHIARALUCE V.
6a | *Cavità sotterranee nell'area Portuense a Roma* – CIANFRIGLIA L., MATTEUCCI R., ROSA C. & SEBASTIANI R.
7a | *Roma, vaste aree di cavità sotterranee scomparse. Il caso della catacomba di San Felice sulla via Portuense* – CIOTOLI G. & NISIO S.
8a | *Analisi contestuale di cavità di origine antropica nel Parco Archeologico delle Terme di Baia (Campania, Italia)* – CORVI M., DAMIANO N., GUARINO P. M. & GUIDONE I.
9a | *Censimento e catalogazione delle cavità di origine antropica mediante prospezioni geofisiche integrate nell'area de "Il Piano" (Isola d'Elba, Italia)* – DI FILIPPO M., DI NEZZA M., CECCHINI F., MARGOTTINI S., DE MARTINO C., PAZZI V., CARLÀ T., BARDI F., MARINI F., FONTANELLI K., INTIERI E. & FANTI R.
10a | *Censimento e interesse storico e speleologico delle fortificazioni militari della Nurra (Sardegna)* – DORE P. & DALLOCCCHIO E.
11a | *Censimento e mappatura della rete di cavità che sottende il paese di Castelnuovo, San Pio delle Camere (AQ)* – DURANTE F., PIPPONZI G., DEL MONTE E., GHINELLI A., ILIC V., NOCENTINI M. & TALLINI M.
12a | *Cavità sotterranee di origine antropica in Francia* – FELICI M. L.
13a | *La carta archeologica delle cavità antropiche antiche nel settore nord-est del Suburbio di Roma* – FILIPPINI P., CLEMENTINI M., BORZETTI M.R., VERCELLI C., DE CATERINA S. & FIGLIOZZI E.
14a | *Le cavità di origine antropica in Liguria: stato dell'arte, prospettive di ricerca e proposte per la valorizzazione* – BIXIO R., FACCINI F., MAIFREDI A., PERASSO L., SAJ S. & TRAVERSO M.
15a | *Cavità carsiche e accumuli di frana in area urbana* – PASCALE S. & LORENZO P.
16a | *Documentazione archeologica attraverso la mappatura dell'habitat rupestre medievale nel comparto costiero adriatico a sud-est di Bari* – ROTONDO R.
17a | *Gli ipogei di origine antropica nell'area costiera di Rocavecchia (prov. di Lecce)* – SAMMARCO M., CALÒ S. & PARISE M.
18a | *I rifugi antiaerei realizzati durante il Secondo conflitto Mondiale in Puglia* – SANTO A.R., FIORE A., PARISE M. & SELLERI G.
19a | *Censimento delle cavità naturali e artificiali della Riserva Naturale Regionale Lago di Vico* – SASSO A.
20a | *Le cave di pozzolana a Roma e nel territorio nel Settecento nelle fonti documentarie* – VERDI O. & GIANNELLA G.

Comitato Scientifico

Gioacchino Francesco Andriani (Università di Bari)
Mario Bentivenga (Università della Basilicata – Sigea)
Claudio Berardi (Regione Basilicata)
Michele Betti (Comm. Nazionale Cavità Artificiali – Società Speleologica Italiana)
Francesca Bozzano (Università di Roma La Sapienza)
Giovanni Bruno (Politecnico di Bari – Sigea)
Gennaro Capasso (Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale)
Raffaele Carbone (Sigea)
Nicola Casagli (Cattedra UNESCO, Università di Firenze)
Riccardo Pietro Castellanza (Università degli Studi di Milano Bicocca)
Angelo Corazza (Dipartimento Protezione Civile – Sigea)
Giancarlo Ciotoli (CNR – IGAG)
Vera Corbelli (Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale)
Eugenio Di Loreto (Regione Lazio – Sigea)
Claudio Di Prisco (Politecnico di Milano)
Francesco Faccini (Università di Genova – Sigea)
Gianluca Ferri (Ufficio Dissesti Idrogeologici e Sottosuolo Comune di Roma)
Antonello Fiore (Autorità di Bacino della Puglia – Sigea)
Alessandro Flora (Università di Napoli)
Carla Galeazzi (EGERIA Centro Ricerche Sotterranee – Hypogea – Sigea)
Daniele Giordan (CNR – IRPI)
Giuseppe Gisotti (Sigea)
Maurizio Lanzini (Sigea)
Gioacchino Lena (Sigea)
Lorenzo Liperi (Regione Lazio)
Piernicola Lollino (CNR-IRPI)
Endro Martini (Alta Scuola – Sigea)
Luciano Masciocco (Università di Torino – Sigea)
Roberto Mazza (Università Roma Tre)
Mario Mazzoli (ASSO – Hypogea)
Antonio Monte (CNR – IBAM)
Adriano Morabito (Roma Sotterranea – Hypogea)
Stefania Nisio (Ispra)
Mario Parise (Università di Bari – Sigea)
Gabriele Ponzoni (CNG)
Alessandro Reina (CNG – Politecnico di BA)
Gabriele Scarascia Mugnozza (Università di Roma La Sapienza)
Giuseppe Spilotro (Università della Basilicata – Sigea)
Arcangelo Francesco Violo (CNG – Consiglio Nazionale dei Geologi)

Segreteria organizzativa

Eugenio Di Loreto
Ilenia Falconi
Antonello Fiore
Carla Galeazzi
Giuseppe Gisotti
Maurizio Lanzini
Arcangelo Francesco Violo