

Estratto da:

OPERA IPOGEA

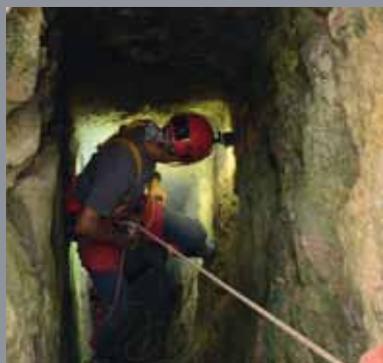
Journal of Speleology in Artificial Cavities

1-2 / 2020



IX Convegno Nazionale di Speleologia in Cavità Artificiali (Palermo) - 20 Marzo 2020

A cura di C. Galeazzi & P. Madonia



Rivista della Società Speleologica Italiana

Commissione Nazionale Cavità Artificiali



ISSN 1970-9692



IX CONVEGNO NAZIONALE SPELEOLOGIA IN CAVITÀ ARTIFICIALI

(Palermo) - 20 Marzo 2020



ISTITUTO NAZIONALE
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA
Sezione di Palermo

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO



Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare



Federazione
Speleologica
Regionale Siciliana

HYPOGEA



IX Convegno Nazionale di Speleologia in Cavità Artificiali

(Palermo) 20 Marzo 2020

SOCIETÀ SPELEOLOGICA ITALIANA (SSI)
COMMISSIONE NAZIONALE CAVITÀ ARTIFICIALI (CNCA)

Comitato organizzatore

Paolo Madonia (Presidente)

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Palermo; CNCA SSI

Carla Galeazzi

Egeria Centro Ricerche Sotterranee, Roma; Hypogea; CNCA SSI

Michele Betti

Commissione Nazionale Cavità Artificiali della Società Speleologica Italiana

Marcello Panzica La Manna

Società Speleologica Italiana

Elena Alma Volpini

Hypogea Ricerca e Valorizzazione Cavità Artificiali

Enti Promotori

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Università degli Studi di Palermo, Dip.di Scienze della Terra e del Mare

Società Italiana di Geologia Ambientale

Hypogea Ricerca e Valorizzazione Cavità Artificiali

Patrocini istituzionali

Federazione Speleologica Regionale Siciliana

Comitato Scientifico

Michele Betti

CNCA SSI

Roberto Bixio

Centro Studi Sotterranei, Genova; CNCA SSI

Vittoria Caloi

Egeria Centro Ricerche Sotterranee, Roma; CNCA SSI

Marianna Cangemi

Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare

Andrea De Pascale

Direttore Editoriale Opera Ipogea; Centro Studi Sotterranei, Genova; CNCA SSI

Sossio Del Prete

CNCA SSI

Carla Galeazzi

Egeria Centro Ricerche Sotterranee, Roma; Hypogea; CNCA SSI

Carlo Germani

Egeria Centro Ricerche Sotterranee, Roma; Hypogea; CNCA SSI

Giuliana Madonia

Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare

Massimo Mancini

Università degli Studi del Molise, Campobasso; CNCA SSI

Mario Parise

Università Aldo Moro, Dipartimento Scienze della Terra e Geoambientali, Bari

Stefano Saj

Direttore Responsabile Opera Ipogea; Centro Studi Sotterranei, Genova; CNCA SSI

Pietro Todaro

Società Italiana di Geologia Ambientale

Marco Vattano

Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare

- pag. 9 **Prefazione**
Carla Galeazzi, Paolo Madonia

OMAGGIO ALLA CITTÀ DI PALERMO E A SANTA ROSALIA SUA PATRONA

- pag. 13 **Le più antiche mappe geografiche del sottosuolo. Le incisioni dei rilievi delle grotte di Santa Rosalia a Palermo e a Santo Stefano Quisquina (Agrigento)**
The oldest underground geographical maps. The engravings of the maps of the caves of Santa Rosalia in Palermo and in Santo Stefano Quisquina (Agrigento province, Sicily, Italy)
Massimo Mancini, Paolo Forti

ANTICHE OPERE IDRAULICHE, SISTEMI DI RACCOLTA DELLE ACQUE METEORICHE

- pag. 29 **Attualità dei sistemi idrici ipogei di raccolta delle acque piovane**
Modernity of rain harvesting underground systems
Paolo Madonia, Marianna Cangemi, Ygor Oliveri
- pag. 35 **La pratica dei sistemi d'acqua sotterranei "ingruttati" nella Piana di Palermo e analisi della terminologia di riferimento**
The practice of the underground water systems *ingruttati* of the Piana di Palermo (Sicily, Italy) and analysis of reference terminology
Pietro Todaro
- pag. 45 **Il qanat di Villa Riso (Palermo, Sicilia)**
The Villa Riso *qanat* (Palermo, Sicily, Italy)
Giuseppe Avellone, Marco Vattano, Giuliana Madonia, Cipriano Di Maggio
- pag. 53 **Indagini preliminari sui sistemi di approvvigionamento idrico nell'area dell'Insula I di Capo Boeo (Marsala, Sicilia occidentale)**
Preliminary investigations on water supply systems in the *Insula I* area of Capo Boeo (Marsala, Western Sicily, Italy)
Laura Schepis, Pietro Valenti, Marco Vattano
- pag. 59 **Paolazzo: un acquedotto a tre strati (Noto - Canicattini Bagni, Siracusa)**
Paolazzo: a three layers aqueduct (Noto - Canicattini Bagni, Siracusa province, Italy)
Paolo Cultrera, Luciano Arena
- pag. 67 **Antiche strutture di trasporto idrico nel sottosuolo etneo (Catania, Sicilia)**
Ancient water pipes in Etna's underground (Catania province, Sicily, Italy)
Gaetano Giudice, Francesco Politano, Alfio Cariola

- pag. 75 **Indagini speleologiche preliminari sui sistemi di approvvigionamento idrico di acque meteoriche nell'area dell'ex ospedale psichiatrico di Agrigento (Sicilia)**
Preliminary speleological investigations on the water supply systems of rainwater in the area of the former psychiatric hospital in Agrigento (Sicily, Italy)
Giuseppe Lombardo, Giovanni Noto, Marco Interlandi, Elisabetta Agnello, Eugenio Vecchio, Giovanni Buscaglia
- pag. 83 **Roma: la valle del Velabro, il Tevere e il canale idraulico dei Tarquini prima della Cloaca Massima**
Rome: the Velabrum valley, the Tiber and the Tarquini's hydraulic canal before the Cloaca Maxima
Elisabetta Bianchi, Piero Bellotti
- pag. 91 **Sedici ponti-acquedotto romani appartenenti ai quattro acquedotti anienesi siti tra Galliciano nel Lazio, San Gregorio da Sassola e San Vittorino di Roma (Roma, Lazio)**
Sixteen Roman aqueduct-bridges belonging to the four Anienesi aqueducts located between Galliciano nel Lazio, San Gregorio da Sassola and San Vittorino di Roma (Roma province, Latium, Italy)
Luigi Casciotti
- pag. 101 **Sistema di drenaggio artificiale dei bacini vulcanici Albano e Turno (Lazio): analisi delle modificazioni nel corso dei secoli**
Artificial drainage system of the volcanic basin of Albano and Turno (Latium, Italy): analysis of the modifications of the hydraulic environment over the centuries
Carlo Germani, Carla Galeazzi, Vittoria Caloi, Sandro Galeazzi
- pag. 109 **Anagni (Frosinone, Lazio): antichi sistemi di captazione delle vene d'acqua sotterranee, loro canalizzazione e immagazzinamento**
Anagni (Frosinone province, Latium, Italy): ancient collection systems of underground water veins, their ducting and storage
Mara Abbate, Carla Galeazzi, Carlo Germani, Andreas Schatzmann, Elena Alma Volpini
- pag. 119 **L'approvvigionamento idrico nelle aree vulcaniche dei Monti Cimini (Viterbo, Lazio) nell'antichità: nuove acquisizioni**
Water supply in volcanic areas of Cimini Mountains (Viterbo province, Latium, Italy) during ancient times: new data
Andrea Sasso, Gabriele Trevi
- pag. 129 **Nuovi ritrovamenti e studio del tracciato dell'Acquedotto Augusteo che costeggia il versante occidentale della collina di Posillipo (Napoli, Campania)**
New discoveries and research of the route of the Augustan aqueduct that follows the western slopes of the Posillipo hill (Naples, Campania, Italy)
Mauro Palumbo, Mario Cristiano, Luigi De Santo, Marco Ruocco
- pag. 137 **Aqua Augusta Campaniae: il doppio speco di via Olivetti (Pozzuoli, Napoli)**
Aqua Augusta Campaniae: the twin channels in Olivetti road (Pozzuoli, Naples province, Italy)
Graziano Ferrari, Raffaella Lamagna, Elena Rognoni
-

- pag. 145 Parco delle terme di Baia (Bacoli, Napoli): le cisterne del settore dell' *Ambulatio***
Baia baths archaeological Park (Bacoli, Naples province, Italy): the water tanks in the *Ambulatio* sector
Graziano Ferrari, Daniele De Simone, Raffaella Lamagna, Elena Rognoni
- pag. 153 Le monumentali neviere del Materano (Basilicata)**
The majestic ice-houses in the Matera area (Basilicata, Italy)
Raffaele Paolicelli, Francesco Foschino, Angelo Fontana
- pag. 159 Il censimento degli antichi acquedotti della provincia di Bologna**
Ancient aqueducts in the Bologna province (Italy): preliminary list
Danilo Demaria
- pag. 169 Il sistema di intercettazione e accumulo delle acque meteoriche nell'abitato rupestre della morgia di Pietravalle a Salcito (Campobasso, Molise)**
The system of interception and accumulation of rainwater in the cave settlement of the morgia of Pietravalle in Salcito (Campobasso province, Molise, Italy)
Carlo Ebanista, Andrea Capozzi, Andrea Rivellino, Fernando Nobile, Massimo Mancini
- pag. 179 Opere idrauliche a scopo di bonifica nel territorio Salentino (Puglia)**
Hydraulic works for land reclamation in Salento (southern Apulia, Italy)
Marcello Lentini, Mario Parise, Francesco De Salve
- pag. 187 Acquedotti romani in Sardegna, sintesi delle conoscenze e prospettive esplorative**
Roman aqueducts in Sardinia (Italy), synthesis of knowledge and exploration perspectives
Pier Paolo Dore, Marco Mattana
- pag. 197 L'antico acquedotto della seicentesca Fonte Cesia in Todi**
The ancient aqueduct of the 1600's Fonte Cesia in Todi (Perugia province, Italy)
Maurizio Todini

MONITORAGGIO E PREVENZIONE, CENSIMENTI E CATALOGAZIONE

- pag. 207 Strumentazione geofisica in cavità artificiali per il monitoraggio sismico e per lo studio di precursori sismici**
Geophysics instrumentation in artificial cavities for seismic monitoring and for the study of seismic precursors
Paolo Casale, Adriano Nardi, Alessandro Pignatelli, Elena Spagnuolo, Gaetano De Luca, Giuseppe Di Carlo, Marco Tallini, Sandro Rao
- pag. 215 Individuazione di cavità attraverso tomografie elettriche e sismiche**
Cavity detection using seismic refraction and electrical resistivity tomographies
Alessandra Carollo, Patrizia Capizzi, Raffaele Martorana, Marco Vattano
- pag. 221 Applicazione di una procedura per la valutazione della suscettibilità a crolli di cavità artificiali**
Implementing a procedure for the assessment of the susceptibility to collapse in artificial cavities
Antonio Gioia, Mario Parise

- pag. 229 Modello geologico tridimensionale del sottosuolo e dello sviluppo delle cavità in un'area fortemente urbanizzata della Campania settentrionale**
3D geological underground model and artificial caves development in a northern Campania highly urbanized area (Italy)
Daniela Ruberti, Paolo Maria Guarino, Salvatore Losco, Marco Vigliotti
- pag. 237 Le cavità nel sottosuolo del territorio di Sant'Arpino (Caserta, Campania): catalogazione in ambiente GIS**
The underground cavities in the territory of Sant'Arpino (Caserta province, Campania, Italy): a GIS-based register
Marco Vigliotti, Luca Dell'Aversana, Daniela Ruberti
- pag. 245 Cavità artificiali nel centro storico di Ginosa (Taranto, Puglia) e relative problematiche di dissesto geo-idrologico**
Artificial cavities in the historical center of Ginosa (Taranto province, Apulia, Italy) and related geo-hazard issues
Mario Parise
- pag. 253 Cavità artificiali nel Parco di Portofino (Genova, Liguria): censimento e classificazione**
Artificial cavities in Portofino Park (Metropolitan City of Genoa, Liguria, Italy): inventory and classification
Francesco Faccini, Lara Fiorentini, Martino Terrone, Luigi Perasso, Stefano Saj
- pag. 263 Le cavità antropiche di Gravina in Puglia (Bari, Puglia): aspetti storici e geotecnici**
Historical and geotechnical aspects of the artificial caves in the urban settlement of Gravina in Puglia (Bari province, Apulia, Italy)
Alessandro Parisi, M. Dolores Fidelibus, Valeria Monno, Michele Parisi, Natale Parisi, Vito Specchio, Giuseppe Spilotro

OPERE INSEDIATIVE CIVILI, ESTRATTIVE, BELLICHE E DI TRANSITO

- pag. 275 Il complesso rupestre della Théotokos Kilise (Göreme, Cappadocia, Turchia)**
The Théotokos Kilise rupestrian complex (Göreme province, Cappadocia, Turkey)
Carmela Crescenzi
- pag. 285 Riscoperta di alcuni ipogei artificiali nel Comune di Sutera (Caltanissetta, Sicilia centrale)**
Re-discovery of some man-made cavities in the Sutera Municipality (Caltanissetta province, central Sicily, Italy)
Marco Vattano, Nino Pardi, Antonio Domante, Pietro Valenti, Giuliana Madonna
- pag. 293 Sistemi ipogei di Massa Martana (Perugia) in Umbria. Indagini preliminari**
Hypogean systems at Massa Martana in Umbria (Perugia province, Italy). Preliminary investigations
Giulio Foschi, Gianluigi Guerriero Monaldi, Virgilio Pendola

- pag. 303 Insedimenti rupestri dell'Alto Crotonese (Calabria)**
Cave settlements in the "Alto Crotonese" (Crotona province, Calabria, Italy)
Felice Larocca, Francesco Breglia, Katia Rizzo
- pag. 311 Molarice, la miniera dimenticata (Schilpario, Bergamo)**
Molarice, the forgotten mine (Schilpario, Bergamo province, Italy)
Giovanni Belvederi, Maria Luisa Garberi, Guglielmo Sarigu
- pag. 321 Le latomie ipogee del Plemmirio (Siracusa, Sicilia sud-orientale)**
The hypogean Quarries of *Plemmirio*, (Siracusa, South-eastern Sicily, Italy)
Luciano Arena, Corrado Marziano
- pag. 329 Le cave di "ghiara" nella provincia di Catania: aggiornamenti su recenti rinvenimenti (Catania e Pedara, Sicilia)**
"Ghiara" quarries in Catania province: news on recent discoveries (Sicily, Italy)
Gaetano Giudice, Francesco Politano, Alfio Cariola
- pag. 337 Le gallerie della ferrovia dimenticata che collegava Sasso Marconi a Lagaro (Bologna) e il più importante sito strategico italiano della Seconda Guerra Mondiale**
The tunnels of the forgotten railway Sasso Marconi-Lagaro (Bologna province, Italy) and the most important Italian strategic site in the Second World War
Danilo Demaria
- pag. 347 The underground shelters of Kanlısivri Mevkii in Göreme (Cappadocia, Turkey)**
I rifugi sotterranei di Kanlısivri Mevkii in Göreme (Cappadocia, Turchia)
Pierre Lucas, Roberto Bixio
- pag. 357 Ritrovamento di un ricovero antiaereo dell'isola di Malta. Quadro comparativo con i ricoveri antiaerei di Napoli (Campania)**
New discovery and research of an air-raid shelter in Malta island. Comparison with the air-raid shelters of Naples (Campania, Italy)
Mauro Palumbo, Mario Cristiano, Serena Russo, Marco Ruocco
- pag. 365 I rifugi antiaerei di Porto Torres (Sassari, Sardegna)**
The Porto Torres air-raid shelters (Sassari province, Sardinia, Italy)
Pier Paolo Dore, Eleonora Dallochio
- pag. 373 Indice per autori**
-

OPERA IPOGEA

Memorie della Commissione Nazionale Cavità Artificiali
www.operaipogea.it

Semestrale della Società Speleologica Italiana

Anno 22 - Numero 1/2 - Gennaio/Dicembre 2020

Autorizzazione del Tribunale di Bologna n. 7702 dell'11 ottobre 2006

Proprietario:

Società Speleologica Italiana

Direttore Responsabile:

Stefano Saj

Direttore Editoriale:

Andrea De Pascale

Comitato di Redazione:

*Michele Betti, Vittoria Caloi, Sossio Del Prete,
Carla Galeazzi, Carlo Germani, Mario Parise*

Sede della Redazione:

c/o Andrea De Pascale - Corso Magenta, 29/2 - 16125 Genova
andreadepascale@libero.it

Comitato Scientifico:

*Roberto Bixio, Elena Calandra, Franco Dell'Aquila, Carlo Ebanista,
Angelo Ferrari, Nakiş Karamağarali (TR), Aldo Messina, Roberto Nini, Mario Parise,
Mark Pearce (UK), Fabio Redi, Stefano Saj, Jérôme Triôlet (FR), Laurent Triôlet (FR)*

Recensioni:

Roberto Bixio - Via Avio, 6/7 - 16151 Genova
roberto_bixio@yahoo.it

Composizione e impaginazione:

Fausto Bianchi, Enrico Maria Sacchi

Foto di copertina:

Immagini tratte dagli articoli del presente numero doppio della rivista

Foto quarta di copertina:

Immagini tratte dagli articoli del presente numero doppio della rivista

La rivista viene inviata in omaggio ai soci sostenitori e ai gruppi associati alla SSI

Prezzo di copertina:

Euro 40,00

Tipografia:

A.G.E. s.r.l.

Via della Stazione, 41

61029 Urbino (PU)

Tel. 0722 328756

**Il contenuto e la forma degli articoli pubblicati impegnano esclusivamente gli autori.
Nessuna parte della presente pubblicazione può essere riprodotta in alcun modo
senza il consenso scritto degli autori.**

Le cavità nel sottosuolo del territorio di Sant'Arpino (Caserta, Campania): catalogazione in ambiente GIS

The underground cavities in the territory of Sant'Arpino (Caserta province, Campania, Italy): a GIS-based register

Marco Vigliotti¹, Luca Dell'Aversana², Daniela Ruberti¹

Riassunto

Nel sottosuolo del centro storico di Sant'Arpino, nella Piana Campana, è presente un vasto sistema di ipogei legato all'estrazione del tufo vulcanico. Nel 1999 il Comune ha realizzato un primo censimento di alcune cavità raccogliendo dati e planimetrie delle stesse. Si vuole qui presentare la realizzazione di un Sistema Informativo Territoriale che miri ad informatizzare le informazioni preesistenti implementate con nuovi rilievi speditivi 3D georeferenziati, al fine di disporre di uno strumento conoscitivo aggiornato. La necessità deriva dal fatto che negli anni la continuità del sistema caveale è stata spesso interrotta (a) da cedimenti nelle volte, soprattutto in corrispondenza di condotti verticali, per effetto delle mutate condizioni di stabilità che hanno determinato fenomeni di dissesto (*anthropogenic sinkhole*), (b) per occlusione con detriti o (c) da pareti divisorie erette in corrispondenza di cambi di proprietà in superficie. Un siffatto strumento di gestione dei dati oltre a migliorare la conoscenza, la documentazione e il recupero di importanti testimonianze, che, diversamente, rischierebbero di scomparire, rappresenta un sistema efficiente di prevenzione del rischio idrogeologico.

Parole chiave: Sant'Arpino, tufo, cavità sotterranee, sinkhole antropogenici, GIS.

Abstract

In the subsoil of the historic center of Sant'Arpino, in the Campania Plain, there is a wide network of quarries and cavities linked to the extraction of volcanic tuff. In 1999 the Municipality carried out a first register concerning the occurrence of cavities, accompanied by planimetric information of the same. Aim of the present work is to design a GIS project to manage all the existing information by implementing them with georeferenced 3D surveys, in order to have an updated management tool. The need derives from the fact that over the years the continuity of the cavity system has often been interrupted (I) by collapse of the roof, above all in correspondence of vertical access point excavated in poorly lithified or loose deposits (*anthropogenic sinkhole*), (II) by occlusion with debris or (III) by division with walls erected to separate the property. The new dataset allowed the update of the density map of the cavities and represents an important management tool for the evaluation of the hydrogeological risks and the areas prone to the formation of anthropogenic sinkholes.

Keywords: Sant'Arpino, tuff, underground cavities, anthropogenic sinkholes, GIS.

Introduzione

Un vasto settore della Piana Campana, date le peculiari caratteristiche geologiche, è ricco di cavità artificiali realizzate per l'estrazione del tufo vulcanico e delle "pozzolane" che rendono i centri abitati suscettibili a fenomeni di *sinkhole* (Guarino & Nisio, 2012; Scotto di Santolo *et al.*, 2016). Note quelle della città di

Napoli (AA.VV., 1967; Albertini *et al.*, 1988) e del suo hinterland settentrionale (CIRAM, 2000; Provincia di Napoli, 2002), sono meno conosciute, per estensione e caratteristiche, quelle dell'area meridionale della Provincia di Caserta.

Anche nel sottosuolo del centro storico del Comune di Sant'Arpino (CE) nell'agro-aversano è presente un vasto sistema di ipogei legato alle attività estrattive. Ne-

¹ Dipartimento di Ingegneria, Università della Campania L. Vanvitelli, Via Roma 29, 81031 Aversa

² Ministero della Pubblica Istruzione

Autore di riferimento: Marco Vigliotti - marco.vigliotti@unicampania.it

gli ultimi decenni numerosi episodi di sprofondamento si sono verificati in corrispondenza dei vuoti nell' hinterland settentrionale della città di Napoli, per cui la Regione Campania emanò due Leggi (n. 30/1975 e n. 38/1975) che prevedevano interventi per fronteggiare le immediate esigenze di sistemazione del sottosuolo di alcuni centri interessati da ricorrenti fenomeni di dissesto, a cui fece seguito la L.R. 9/83, per rispondere alla quale e a seguito di ulteriori sprofondamenti nel 1999, l'Amministrazione Comunale di Sant'Arpino realizzò un primo censimento di alcune cavità raccogliendo dati sintetici e planimetrie (Sibilio *et al.*, 1999). Il susseguirsi degli eventi di *sinkhole* negli anni, anche in corrispondenza di punti in cui non era stata segnata la presenza di cavità nel sottosuolo, ha indotto l'Amministrazione ad aggiornare il censimento ed implementarlo sulla base delle nuove conoscenze avviando una collaborazione con i ricercatori del Dipartimento di Ingegneria dell'Università "L. Vanvitelli".

Con il presente lavoro si intende contribuire a tale censimento attraverso: (i) la catalogazione in accordo con il Catasto Nazionale delle Cavità Artificiali proposto dalla Società Speleologica Italiana dal 1989 (Cappa, 1999; Di Labio, 2004, 2006; Meneghini, 2008; Petrone *et al.*, 2009; Guglia e Meneghini, 2013), (ii) la caratterizzazione di tutti gli elementi che costituiscono complessivamente un sistema caveale da un punto di vista architettonico secondo uno schema realizzato *ad hoc*, (iii) la realizzazione di un Sistema Informativo Territoriale integrato con dati geologici di sottosuolo che permetta di conoscere l'esatta distribuzione spaziale degli ipogei e il loro sviluppo all'interno delle varie unità geologiche.

Area di studio

Sant'Arpino è nella Piana Campana (long. 14°15'10" Est, lat. 40°57'28" Nord; ~ 40 m slm; fig. 1) a pari distanza (ca. 22 km) dai distretti vulcanici dei Campi Flegrei e del Somma-Vesuvio, i cui depositi eruttivi caratterizzano il sottosuolo dell'area. Alcuni eventi eruttivi di particolare importanza per i meccanismi di messa in posto e gli enormi volumi di materiali eruttati hanno dato origine a potenti ed estesi depositi come il Tufo Grigio Campano *Auct.* (TGC; ~39 ky B.P.; De Vivo *et al.*, 2001) e il Tufo Giallo Napoletano (TGN; 15 ky B.P.; Deino *et al.*, 2004) che costituiscono l'ossatura della Piana. In particolare, le varie facies del TGC (Di Girolamo, 1968a), diversamente spazialmente distribuite (Vigliotti & Ruberti, 2018; Ruberti *et al.*, 2019), sono sovrastate da piroclastiti non litificate (*pozzolane*) legate alla messa in posto delle facies distali del TGN e di altre eruzioni flegree e vesuviane minori, talora intercalate da paleosuoli (Di Girolamo, 1968b; Ortolani & Aprile, 1985; Isaia *et al.*, 2017).

L'ampia distribuzione delle facies litoidi del TGC ha determinato lo sviluppo di un'intensa attività estrattiva nel sottosuolo della Piana dal momento che esse sono rappresentate da rocce lapidee tenere con caratteristiche litotecniche peculiari (Papa *et al.*, 2010; Langella *et al.*, 2013) utilizzate come materiale da co-

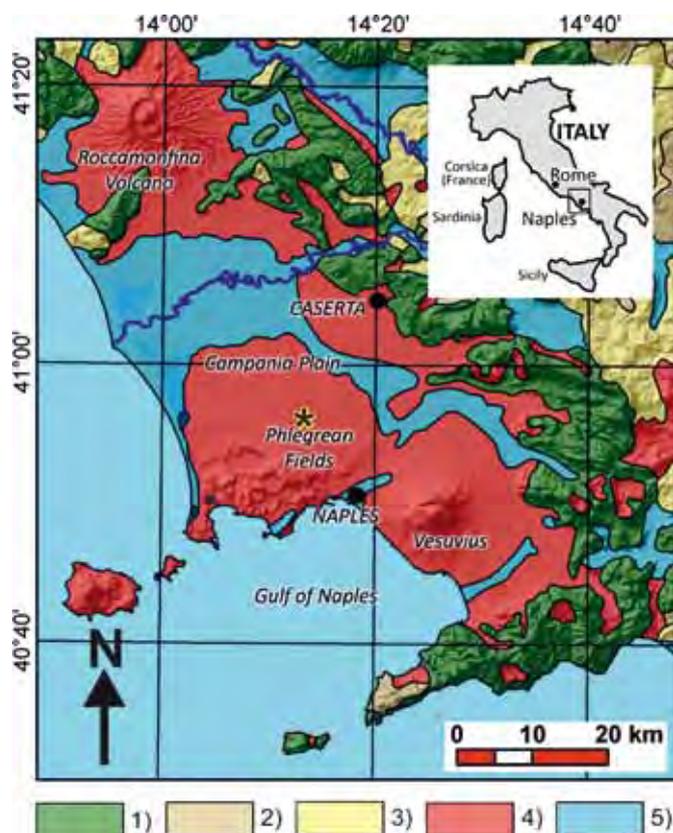


Fig. 1 – Carta geologica schematica e localizzazione dell'area di studio: 1) rocce carbonatiche Meso-Cenozoiche, 2) depositi Meso-Cenozoico terrigeni, 3) depositi terrigeni terziari, 4) depositi vulcanici Pleistocenici-Olocenici, 5) depositi continentali quaternari, (*) Sant'Arpino (da Vigliotti & Ruberti, 2018, modificata).

Fig. 1 – Schematic geological map and location of the study area: 1) Meso-Cenozoic limestone, 2) Meso-Cenozoic terrigenous deposits, 3) Tertiary terrigenous deposits, 4) Pleistocene-Holocene volcanic rocks, 5) Quaternary continental deposits, (*) Sant'Arpino (after Vigliotti & Ruberti, 2018, modified).

struzione, delle *pozzolane* (*pulvis puteolanus*) usate per la produzione di malte, e del lapillo, in particolare, utilizzato per la realizzazione di solai (De Cesare, 1827; 1855).

Nel centro storico di Sant'Arpino, come in tutto il comprensorio aversano (Cantile, 1991), cave realizzate già a partire dal XVIII secolo sono presenti in genere nel sottosuolo dei cortili e/o dei giardini dei palazzi gentilizi più antichi e di alcune chiese, talora sviluppandosi arealmente anche al disotto degli stessi edifici. Sono costituite in generale da una o più camere interconnesse con volta ad arco comunicanti con l'esterno attraverso pozzi verticali (*canne di pozzo*, *occhi di grotta*, *occhi di monte*) e rampe piane o scale (discenderie) lungo le quali spesso si possono osservare piccoli cunicoli (*tane di lapillo*) scavati nei livelli sciolti di ceneri, pomice e lapilli, sovrastanti il tufo. Al termine dell'attività estrattiva le cave venivano utilizzate come (a) cisterne per la raccolta delle acque piovane, (b) cantine per la conservazione delle derrate alimentari ed anche come (b) ricoveri durante l'ultimo periodo bellico. Attualmente numerose *grotte* risultano abbandonate, a

volta riempite con rifiuti, oppure sono inaccessibili o di alcune se ne è addirittura persa memoria.

A partire dagli anni '50 del XX secolo voragini, sprofondamenti e crolli si sono verificati con sempre maggiore frequenza in corrispondenza edifici e tratti di strade sovrastanti sistemi caveali (Sibilio *et al.*, 1999).

Materiali e metodi

Le attività finalizzate allo studio delle cavità presenti nel sottosuolo di Sant'Arpino non possono prescindere dalla conoscenza dell'assetto geologico in cui esse sono state scavate; pertanto esse sono state precedute dalla ricerca, raccolta e organizzazione di dati stratigrafici. Sono stati acquisiti 25 log stratigrafici dedotti da sondaggi a carotaggio continuo, spinti a ca. 20 m (19), ca. 30 m (4) e oltre i 40 m (2) di profondità dal piano campagna, realizzati a supporto della pianificazione territoriale, nell'area comunale e nelle immediate vicinanze. I dati acquisiti sono stati interpretati ed omogeneizzati, data la diversità descrittiva delle unità stratigrafiche, delle litologie, dei riferimenti cartografici adottati, ed inseriti in un geodatabase relazionale. Sono stati recuperati dati di alcuni ipogei (60), censiti e mappati nel 1999 (Sibilio *et al.*, 1999), riportati in schede cartacee con allegate planimetrie (20). Le planimetrie degli ipogei in formato cartaceo sono state (i) scannerizzate e (ii) georeferenziate, individuando GCP (*Ground Control Point*) sull'immagine da georiferire e sulla cartografia di riferimento ed infine (iii) vettorializzate.

Questi dati sono stati verificati ed integrati con una campagna di indagine condotta nel 2019 con le classiche tecniche di acquisizione plano-altimetriche, georeferenziate e restituiti in ambiente CAD, arricchiti da una corposa documentazione fotografica.

La gestione dei dati è affidata ad un geodatabase relazionale (fig. 2) che rappresenta un adattamento del Catasto nazionale delle Cavità Artificiali proposto dalla Società Speleologica Italiana dal 1989 (Cappa, 1999; Di Labio, 2004; 2006; Meneghini, 2008; Petrone *et al.*, 2009; Guglia e Meneghini, 2013) alle tipologie di ipogei tipici della Piana Campana e del Censimento delle Cavità Sotterranee della Città Metropolitana di Napoli realizzato in collaborazione con l'ISPRA. Completano la banca dati un report fotografico, planimetrie e sviluppo 3D degli ipogei, laddove disponibili. Tutti i dati raccolti sono stati inseriti in un Sistema Informativo Territoriale; come basi cartografiche di riferimento dell'area di studio sono state utilizzate la Carta Topografica IGMI in scala 1:25.000 (184 I N.O. *Aversa*), la Carta Tecnica Regionale in scala 1:5000 (447084 *Frattamaggiore*; 447071 *Sant'Antimo*; 447043 *Frattaminore*; 447032 *Cesa*).

L'assetto del sottosuolo

Sulla base dell'interpretazione dei dati stratigrafici acquisiti, dell'osservazione di carote e di scavi superficiali, la sequenza stratigrafica ricostruita è costituita

nella parte più profonda da prodotti attribuiti alla formazione del TGC *Auct.*, costituita da una piroclastite sabbiosa grigio scura con litici eterometrici e scorie nerastre (*cinerazzo*) sormontata da un deposito cineritico sabbioso molto addensato (*cinerite*), a granulometria medio grossolana, con litici rossastri, di ca. 4 m di potenza. Si sovrappone un livello di tufo francamente litoide, con spessore variabile tra i 4 e 10 m, che rappresenta la facies gialla zeolitizzata costituita da pomici e lapilli arrotondati in una matrice cineritica contenente anche grosse scorie. La parte alta del tufo risulta incoerente o semicoerente (*cappellaccio*) con spessore medio di ca. 1,20 m. Seguono piroclastiti da caduta rappresentate da alternanze di cineriti con pomici e litici, con spessore medio di 7 m. Esse sono attribuibili alle facies distali del TGN, e alle Pomici Principali limitate superiormente da un paleosuolo (Paleosuolo B di Di Vito *et al.*, 1999), con spessore medio di 60 cm, ed ulteriori livelli di pomici e cineriti riferibili alle eruzioni flegree, di Paleoastroni e Agnano-Monte Spina (cfr. Scotto di Santolo *et al.*, 2018), e vesuviana di Avellino (Mastrolorenzo *et al.*, 2006; Sulpizio *et al.*, 2010) sulla base di quanto osservato anche in aree limitrofe (Guarino *et al.*, 2017). La sequenza è chiusa da un suolo di chiara origine vulcanica.

Nel sottosuolo, il banco di tufo litoide e la superficie al top, pur riflettendo il medesimo trend morfologico superficiale dell'area (superficie debolmente degradante in direzione nord-est) risulta a profondità maggiore nel settore meridionale (-18 m dal p.c.) rispetto al settore settentrionale, dove si rinviene a ca. 9 m dal p.c.

Le cavità

Conoscenze pregresse e nuovi rilievi evidenziano che nel sottosuolo di Sant'Arpino sono numerosi i sistemi caveali (ca. 70) costituiti da una o più camere, accessibili attraverso discenderie (scale o scivoli) e dotati di pozzi di aerazione (*canne di pozzo*). La realizzazione dei sistemi caveali ha seguito il classico modello di escavazione tipico dell'agro-aversano (Cantile, 1991; Del Prete & Bocchino, 1999) che prevedeva inizialmente uno scavo realizzato *a bottiglia*, oppure *a campana*, a partire dal piano campagna fino a raggiungere e superare il tetto del banco del tufo litoide. Dalla coalescenza di più scavi poteva derivare un sistema costituito camere interconnesse più o meno complesso. Le singole camere, con sviluppo planimetrico rettangolare (fig. 3), presentano la forma della volta *a botte a tutto sesto* o *a sesto ribassato*, raramente trapezoidale o rampante con altezze medie di ca. 6,0 m. Più camere possono essere interconnesse tra loro attraverso ampi varchi o corridoi (fig. 3a), o separate da pareti divisorie in conci di tufo erette in corrispondenza di cambi di proprietà in superficie che ne interrompono la continuità (fig. 3b).

Le *canne di pozzo*, corrispondenti a punti di aerea-zione e di trasferimento del materiale cavato verso la superficie, sono a pianta quadrata (1×1m) o circolare (□=1,2 m) talora proseguono in profondità, oltre il piano di calpestio della camera, fino a raggiungere la

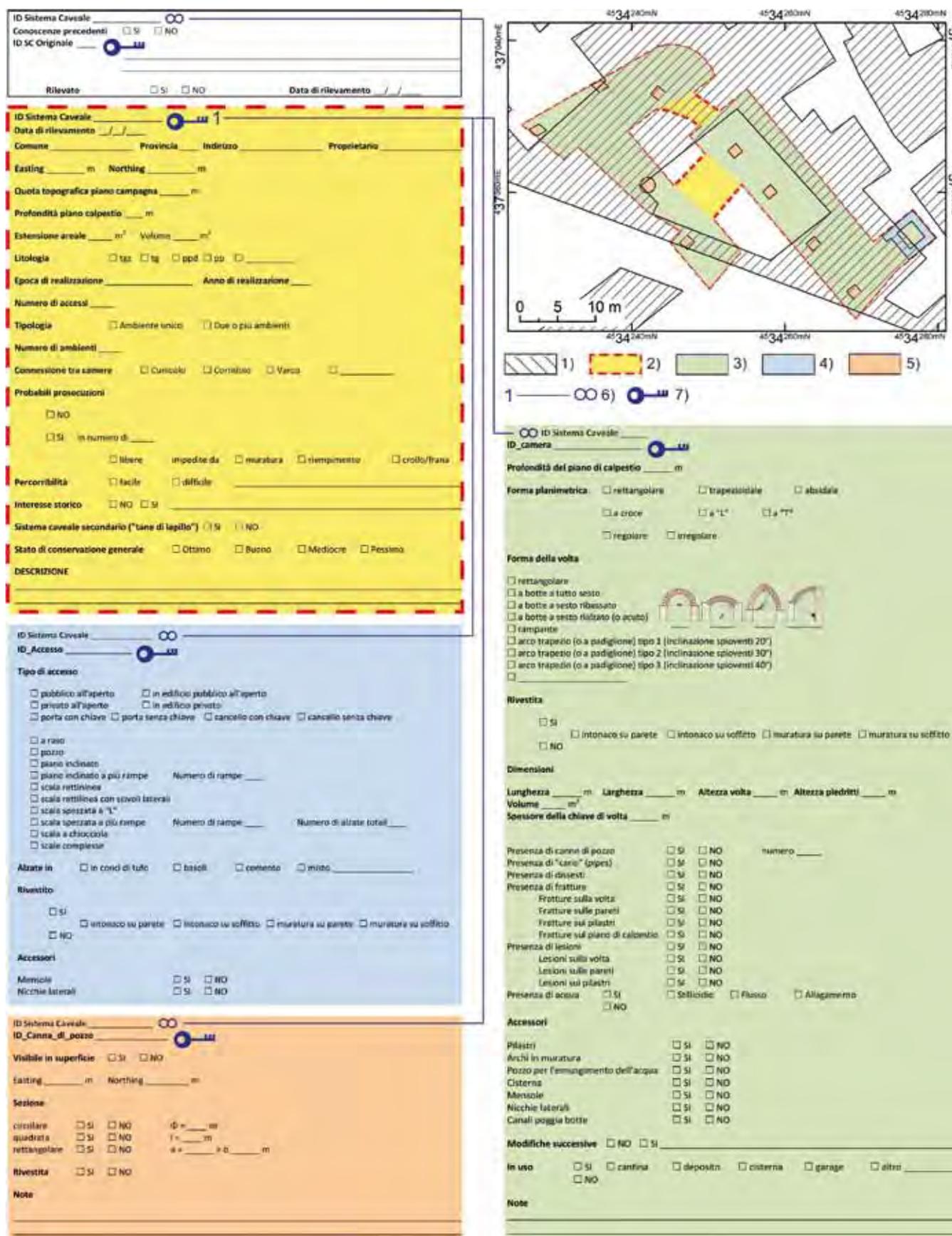


Fig. 2 – Gestione di dati che caratterizzano gli elementi architettonici di un sistema caveale: 1) edificio, 2) sistema caveale, 3) camera, 4) discenderia, 5) canna di pozzo. Sono mostrate le relazioni tra le tabelle ed il contenuto informativo: 6) tipi di relazione: uno a molti, 7) chiave primaria.

Fig. 2 – Management of data that characterize the architectural elements of a cavity system: 1) building, 2) cavity system, 3) room, 4) descender, 5) vertical access point. The relationships between the tables and the information content are shown: 6) type of relationship: one to many, 7) primary key.

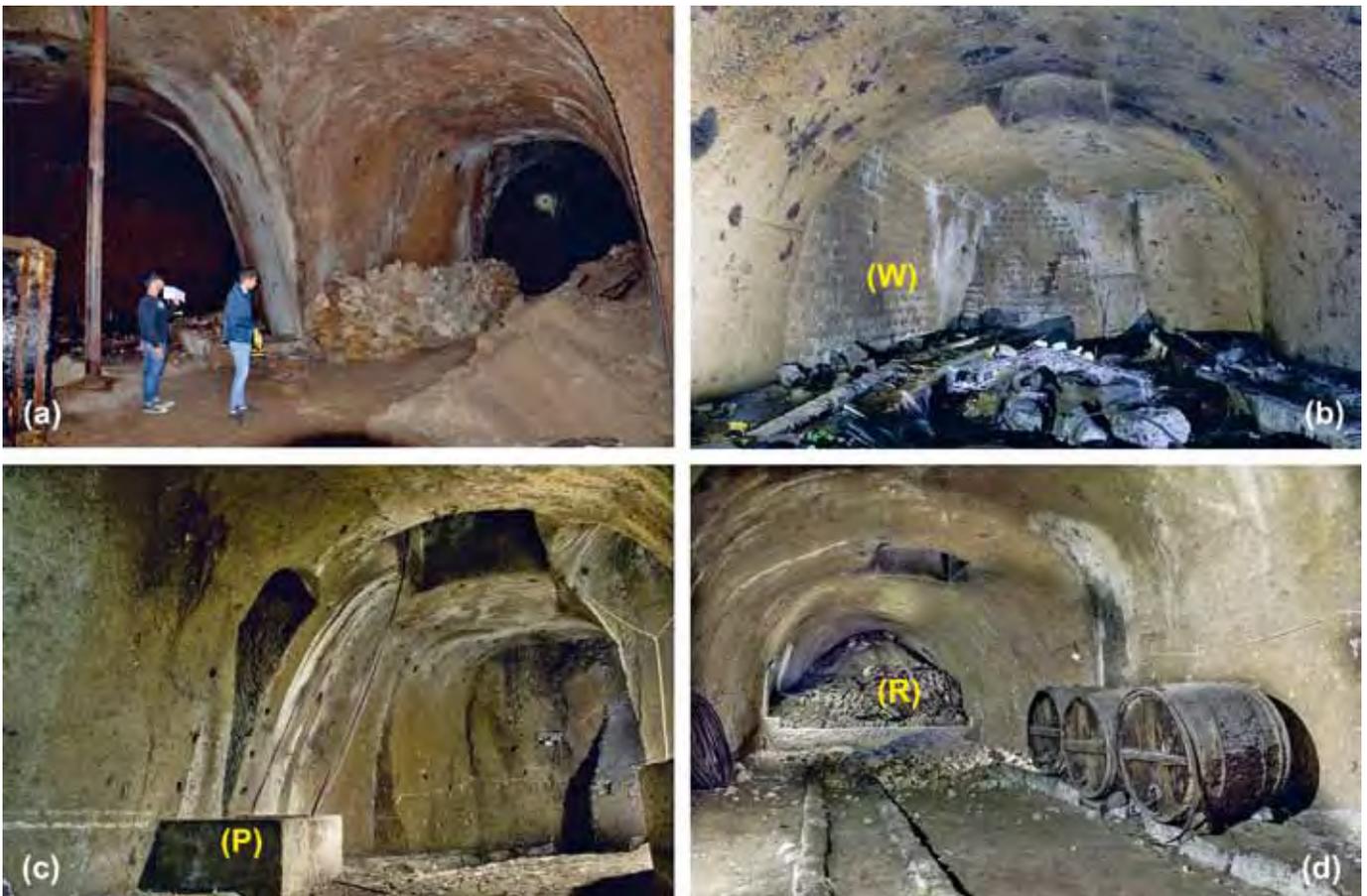


Fig. 3 – Esempi di camere: (a) la connessione tra camere; (b) talora la continuità è interrotta da muri (W), oppure (d) da rifiuti (R); (c) in alcune cave sono presenti pozzi d’acqua (P) (foto M. Vigliotti).

Fig. 3 – Examples of chambers: (a) connection between rooms; (b) sometimes continuity is interrupted by walls (W) or (d) by waste (R); (c) in some quarries there are water wells (P) (photos M. Vigliotti).

falda idrica (fig. 3c). Non tutte sono visibili in superficie in quanto alcune risultano occluse da materiale eterometrico di diversa natura oppure semplicemente tombate.

Il fondo delle camere è nel deposito di cinerite addensato, per pochi decimetri, mentre nella facies gialla del tufo, quella che realmente veniva cavata per la produzione di conci, è impostato l’intero ipogeo e la volta. Lo spessore in chiave di volta del tufo è stato valutato in almeno un metro, ma talora si osserva che la volta è stata ricostruita archi sorretti da pilastri in mattoni di tufo (fig. 4), probabilmente a seguito di crolli della stessa avvenuti durante la fase di escavazione o nel periodo di utilizzo degli ambienti. Anche le pareti delle *canne di pozzo* e delle discenderie sono rivestite al fine di contenere possibili franamenti in corrispondenza delle piroclastiti sciolte sovrastanti il banco di tufo. Lo sviluppo nelle camere dei dissesti era strettamente legato alla presenza a strutture di raffreddamento, quali i reticoli di fratture capaci di isolare interi blocchi tufacei che, liberi, potevano crollare e di strutture di degassamento, quali i pipes.

Talvolta lungo le discenderie si aprono accessi laterali a sistemi caveali minori, rappresentati da stretti tunnel a limitato sviluppo planimetrico noti come *tane*

di lapillo. Sono scavati interamente nelle piroclastiti post-TGC, in particolare in corrispondenza dei livelli ricchi in lapilli e pomici per l’estrazione degli stessi, che non presentano alcuna struttura di contenimento delle pareti e/o della volta. Essi costituiscono un sistema caveale secondario scarsamente conosciuto.

In accordo con la classificazione proposta da Parise *et al.* (2013) i singoli vuoti hanno avuto nel tempo successive destinazioni d’uso che si elencano secondo la prevalenza: per l’estrazione del tufo utilizzato come materiale da costruzione (E.1 - cave); tracce di escavazione condotta manualmente sono evidenti sulle pareti delle camere come stretti solchi realizzati con scalpelli e cunei per isolare grossi blocchi di roccia; in seguito alla cessata attività estrattiva le cavità sono state utilizzate per la conservazione di derrate alimentari (B.4 - magazzini) e durante l’ultimo conflitto mondiale come rifugi antiaerei (D.7 - rifugi per civili). Attualmente ancora poche cavità sono utilizzate come cantine, molte sono abbandonate, data la presenza di elementi di dissesti recenti o in atto rappresentati da crolli, soprattutto in corrispondenza della volta oppure alla base delle canne di pozzo (sgrottamenti), stillicidi e parziali allagamenti. Talora le cavità sono parzialmente colmate da rifiuti di diversa natura che costituiscono



Fig. 4 – Esempi di: (a) volta ricostruita; (b) volta ricostruita ed in seguito crollata: 1) tufo, 2) depositi piroclastici da caduta, 3) contatto stratigrafico (foto M. Vigliotti).

Fig. 4 – Examples of: (a) arch entirely rebuilt; (b) arch rebuilt and later collapsed: 1) tuff, 2) ash fall deposits, 3) stratigraphic contact (photos M. Vigliotti).

grossi conoidi (fig. 3d), che si sviluppano soprattutto in corrispondenza della verticale delle *canne di pozzo*, più raramente nei tratti terminali delle discenderie, che interrompono la continuità delle camere impedendone l'attraversamento. I singoli punti di criticità (sgottamenti, crolli, stillicidi) sono stati cartografati.

L'utilizzo di differenti basi topografiche e di ortofoto a scala di grande dettaglio evidenzia che la distribuzione spaziale si sovrappone alla parte più antica della città il cui limite può essere riconosciuto nella Carta Topografica d'Italia 184 I-NO (*Aversa*) SERIE 25V (1957).

Considerazioni conclusive

Il censimento delle cavità ha evidenziato la presenza di un gran numero di vuoti nel centro storico del Comune di Sant'Arpino. Solo per alcuni di essi si dispone di precisi rilievi plano-altimetrici in cui siano chiari i rapporti con elementi del soprasuolo (edifici, strade, ecc.). Il gran numero di canne di pozzo (visibili e/o obliterate) e, soprattutto, delle meno note *tane di lapillo* rappresentano i maggiori elementi di pericolosità che in un ambito densamente urbanizzato come quello di Sant'Arpino rendono l'area ad elevato rischio di *anthropogenic sinkhole*, come già avvenuti nel passato.

Il presente lavoro vuole rappresentare un contributo alla conoscenza del sistema caveale di Sant'Arpino attraverso la documentazione e il recupero di importanti testimonianze che diversamente rischierebbero di scomparire e avere un sistema efficiente che abbia i dati aggiornati e che sia anche mirato alla prevenzione del rischio idrogeologico. Infatti, la visualizzazione in ambiente GIS dei dati planimetrici dei singoli sistemi caveali e dei dissesti in atto osservati consente di mettere spazialmente in relazione questi tematismi con elementi del soprasuolo (edifici, strade, ecc.) e dei sottoservizi (rete idrica e fognaria) e quindi di individuare le aree suscettibili a dissesti improvvisi. Pertanto, in questo contesto, il presente contributo potrebbe essere di supporto alla pianificazione territoriale in chiave di mitigazione del rischio da *sinkhole* e nell'ottica dello sviluppo e della valorizzazione di un patrimonio scarsamente noto dalla comunità.

Bibliografia

- AA. VV., 1967, *Il sottosuolo di Napoli*. In: Proceedings of the VIII congress of soil mechanics. ESI, Napoli.
- Albertini V., Baldi A., Bartoli L., Collini F., Esposito C., Guerra V., Miraglino P., Schiattarella F., Vallario A., 1988, *Le cavità sotterranee del napoletano: pericolosità e possibili utilizzazioni*. Geol Technol, 3, pp. 54-63.
- Cantile A., 1991, *Le cave nascoste del comprensorio aversano*. L'Universo, 71, pp. 476-487, ISSN: 0042-0409.
- Cappa G., 1999, *La struttura organizzativa in seno alla S.S.I.: Commissione Cavità Artificiali e Catasto; cenni all'attività in Italia e nel mondo*. Quaderni didattici della Società Speleologica Italiana, Genova, vol. 4, Ricerche speleologiche in cavità artificiali, pp. 19-20.
- CIRAM, 2000, *Progetto preliminare per la costituzione di una banca dati delle cavità presenti nel sottosuolo dei comuni a nord di Napoli*. Final report. <http://sit.cittametropolitana.na.it/documenti/cavita/relazione.pdf>.
- De Cesare F., 1827, *Trattato elementare di Architettura civile*. Dalla stamperia della vedova di Reale e figli, Napoli.
- De Cesare F. 1855, *La Scienza dell'Architettura Applicata alla costruzione alla distribuzione alla decorazione degli edifici civili*. Dalla stamperia della vedova di Reale e figli, Napoli.
- Del Prete S., Bocchino B., 1999, *Sul rinvenimento di una cavità di tufo nel comune di Lusciano*. Opera Ipogea, 3, pp. 51-59.
- De Vivo B., Rolandi G., Gans P.B., Calvert A., Bohrsen W.A., Spera F.J., Belkin H.E., 2001, *New constraints on the pyroclastic eruptive history of the Campanian volcanic Plain (Italy)*. Mineralogy and Petrology, 73, pp. 47-65.
- Deino A.L., Orsi G., de Vita S., Piochi M., 2004, *The age of the Neapolitan Yellow Tuff caldera-forming eruption (Campi Flegrei caldera, Italy) assessed by Ar-40/Ar-39 dating method*. J. Volcanol. Geotherm. Res., 133, pp. 157-170.
- Di Girolamo P., 1968a, *Petrografia dei tufi campani: il processo di pipernizzazione (tufo > tufo pipernoide > piperno)*. Rendiconti Accademia di Scienze Fisiche e Matematiche, serie IV, 35, pp. 5-70, Giannini Editore, Napoli.
- Di Girolamo P., 1968b, *Piroclastiti stratificate riferibili al 2° periodo flegreo nella Pianura Campana, tra il Volturno e Napoli*. Per. Min., 37, pp. 341-371.
- Di Labio E., 2004, *Catasto Nazionale Cavità Artificiali: I dati sintetici; L'albero delle tipologie; Dati catastali*. Opera Ipogea anno VI, n. 2-3, Erga Ed., Genova, pp. 9-79.
- Di Labio E., 2006, *Catasto Nazionale delle Cavità Artificiali. Aggiornamenti: Abruzzo, Lazio, Piemonte, Toscana, Trentino Alto Adige*. Opera Ipogea, anno VIII, n. 1-2, Erga Ed., Genova, pp. 89-94.
- Di Vito M.A., Isaia R., Orsi G., Southon J., de Vita S., D'Antonio M., Pappalardo L., Piochi M., 1999, *Volcanism and deformation since 12,000 years at the Campi Flegrei caldera Italy*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 91, pp. 221-246.
- Guarino P., Nisio S., 2012, *Anthropogenic sinkholes in the territory of the city of Naples (southern Italy)*. J. Phys. Chem. Earth, 49, pp. 92-102.
- Guarino P., Santo A., Forte G., De Falco M., Niceforo M., 2017, *Analysis of a database for anthropogenic sinkhole triggering and zonation in the Naples hinterland (southern Italy)*. Natural Hazards, 91, pp. 173-192, <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3054-5>.
- Guglia P., Meneghini M., 2013, *Catasto Nazionale delle Cavità Artificiali: moderni strumenti di raccolta, catalogazione e condivi-*

- sione delle informazioni. Atti del XXI Congresso Nazionale di Speleologia "Diffusione delle conoscenze", Trieste, 2-5 giugno 2011, EUT Edizioni Università di Trieste, pp. 98-102.
- Isaia R., Iannuzzi E., Sbrana A., Marianelli P., 2017, *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia scala 1:50000 Foglio 446-447 "Napoli" per le aree emerse progetto Ca.R.G. ISPRA – Regione Campania* http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/447_NAPOLI/Foglio.html
- Langella A., Bish D. L., Calcaterra D., Cappelletti P., Cerri G., Colella A., Graziano S. F., Papa L., Perrotta A., Scarpati C., de Gennaro M., 2013, *L'Ignimbrite Campana (IC)*. In: de Gennaro M., Calcaterra D., Langella A., 2013, *Le pietre storiche della Campania*. Luciano Editore. Napoli.
- Mastrolorenzo G., Petrone P., Pappalardo L., Sheridan M.F., 2006, *The Avellino 3780-yr-B.P. catastrophe as a worst-case scenario for a future eruption at Vesuvius*. PNAS, 103(12), pp. 4366-4370.
- Meneghini M., 2008, *Situazione aggiornata del Catasto Nazionale delle Cavità Artificiali della Società Speleologica Italiana*. Atti VI Convegno Nazionale di Speleologia in Cavità Artificiali, 30 maggio - 2 giugno 2008, Napoli, Opera Ipogea, anno X, n. 1-2/2008, pp. 235-260.
- Ortolani F., Aprile F., 1985, *Principali caratteristiche stratigrafiche e strutturali dei depositi superficiali della Piana Campana*. Boll. Soc. Geol. It., 104, pp. 195-206.
- Papa L., Colella A., de Gennaro M., Vázquez M.A., Galán E. Langella A., Ortiz P., 2010, *Stone conservation in the marine environment. The case of the ignimbrites used in Campania (Italy)*. 8th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, pp. 203-204.
- Parise M., Galeazzi C., Bixio R., Dixon R., 2013, *Classification of artificial cavities: a first contribution by the UIS Commission*. In: Filippi M. & Bosak P. (Eds.), Proc. 16th Int. Congr. Speleol., 21-28 July 2013, 2, pp. 230-235.
- Petrone M., Mancini M., Zarrelli R., Pasquariello E., D'Amico M., Meneghini M., 2009, *Un Web Information System per la geografia del sottosuolo d'Italia quale strumento di conoscenza, salvaguardia e prevenzione dei rischi*. Atti 13a Conferenza Nazionale ASITA, 1 - 4 dicembre 2009, Bari, pp. 1583-1588.
- Provincia di Napoli, 2002, *Censimento delle cavità sotterranee dei comuni della Provincia di Napoli*. Direzione PTCP – SIT Piani di Settore, Napoli.
- Ruberti D., Vigliotti M., Rolandi R., Di Lascio M., 2019, *Effect of palaeomorphology on facies distribution of the Campania Ignimbrite in the northern Campania Plain, southern Italy*. In: De Vivo B., Belkin H.E., Rolandi G. (Eds.), *Vesuvius, Campi Flegrei and Campanian Volcanism, 207-229*, Elsevier. ISBN: 9780128164549 DOI: 10.1016/B978-0-12-816454-9.00009-2.
- Scotto di Santolo A., Forte G., De Falco M., Santo A., 2016, *Sinkhole risk assessment in the metropolitan area of Napoli, Italy*. VI Italian Conference of Researchers in Geotechnical Engineering - Geotechnical Engineering in Multidisciplinary Research: from Microscale to Regional Scale, CNRIG2016, 22-23 Sept. 2016, Procedia Engineering, 158, pp. 458-463.
- Scotto di Santolo A., Forte G., Santo A., 2018, *Analysis of sinkhole triggering mechanisms in the hinterland of Naples (southern Italy)*. Engineering Geology, 237, pp. 42-52.
- Sibilio D., D'Errico N., Perrotta D., 1999, *Progetto di indagini geognostiche e rilevazioni delle cavità sotterranee del centro urbano del Comune di Sant'Arpino*. Relazione Generale.
- Sulpizio R., Bonasia R., Dellino P., Mele D., Di Vito M. A., La Volpe L., 2010, *The Pomice di Avellino eruption of Somma-Vesuvius (3.9 ka BP)*. Part II: sedimentology and physical volcanology of pyroclastic density current deposits. Bulletin of Volcanology, 72, pp. 559-577, DOI:10.1007/s00445-009-0340-4.
- Vigliotti M., Ruberti D., 2018, *Campania Grey Tuff and anthropogenic tuff cavities in the Southern metropolitan area of Caserta (Southern Italy)*. Alpine and Mediterranean Quaternary, 31), pp. 247-251. (Quaternary: Past, Present, Future - AIQUA Conference, Florence, 13-14/06/2018, ISSN (print): 2279-7327, ISSN (online): 2279-7335.

