

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**
Hypogeal 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.operaiipogea.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.**

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 Ruberti¹, Paolo Maria Guarino², Salvatore Losco¹, Marco Vigliotti¹

Riassunto

L'evoluzione tardo-quadernaria della Piana Campana (Campania, Italia) è stata condizionata dall'attività vulcanica dei Campi Flegrei il cui prodotto più diffuso è il Tufo Grigio Campano (TGC, ~39 ka), depositatosi sull'intera Piana. Viene qui presentata la ricostruzione delle caratteristiche geologiche del TGC tra la porzione settentrionale della Città Metropolitana di Napoli e il bordo meridionale della provincia di Caserta. Le buone caratteristiche meccaniche di questo materiale hanno fatto sì che esso fosse oggetto di escavazioni in sotterraneo sin da tempi antichi. Un fitto network di cavità è stato ereditato dai centri urbani che si sono sviluppati in questo territorio. Viene proposto un primo database degli aspetti geologici del sottosuolo e delle cavità riconosciute relativi alla porzione meridionale della provincia di Caserta e che rappresenta una integrazione ed implementazione di quello realizzato da ISPRA per la Città Metropolitana di Napoli. Sono stati inoltre analizzati, in via preliminare, gli aspetti di rischio per le aree urbane legati all'estrazione di tufo nel sottosuolo ed il possibile legame con lo sviluppo dell'urbanizzazione nel tempo.

Parole chiave: Piana Campana, Tufo Grigio Campano, cavità, database, evoluzione urbana.

Abstract

The Late Quaternary geological evolution of the northern Campania Plain was affected by the volcanic activity of the Phlegrean Field. The geological features of the Campania Grey Tuff (CGT, ~39 Ky), deposited on the whole Campania Plain, were reconstructed across the northern metropolitan area of Naples and the southern part of the Campania Plain in the Caserta metropolitan area. Since the tuff has good mechanical properties, it was involved since historical times in an extensive mining activity, from which a very dense network of quarries and underground cavities was inherited, strongly related to the lithofacies distribution. We provided a first caves and geological underground database of the southern metropolitan area of Caserta, which represents an upgrade of the one designed by ISPRA for the Naples' Metropolitan city. Furthermore, we analyzed the hazard aspects related to the mining activities and urban development through time.

Keywords: Campania Plain, Campania Grey Tuff, cavities, database, urban evolution.

Introduzione

Molti centri urbani della Piana Campana a nord di Napoli (Italia meridionale) sono interessati da un intenso sviluppo di cavità antropiche nel sottosuolo, benché la loro reale estensione sia spesso sconosciuta. L'assetto geologico di quest'area è stata condizionato soprattutto dall'attività vulcanica dei Campi Flegrei

che ha prodotto l'accumulo, nelle prime decine di metri dal piano campagna, di tufo e cineriti. Questi materiali, il tufo, in particolare, per le sue buone proprietà meccaniche, sono stati coinvolti fin dai tempi storici in una vasta attività di estrazione sotterranea per la costruzione di edifici in superficie (Vigliotti & Ruberti, 2018).

Lo sviluppo urbano successivo ha spesso sigillato qual-

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

² Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale - ISPRA, Roma

Autore di riferimento: Daniela Ruberti - daniela.ruberti@unicampania.it

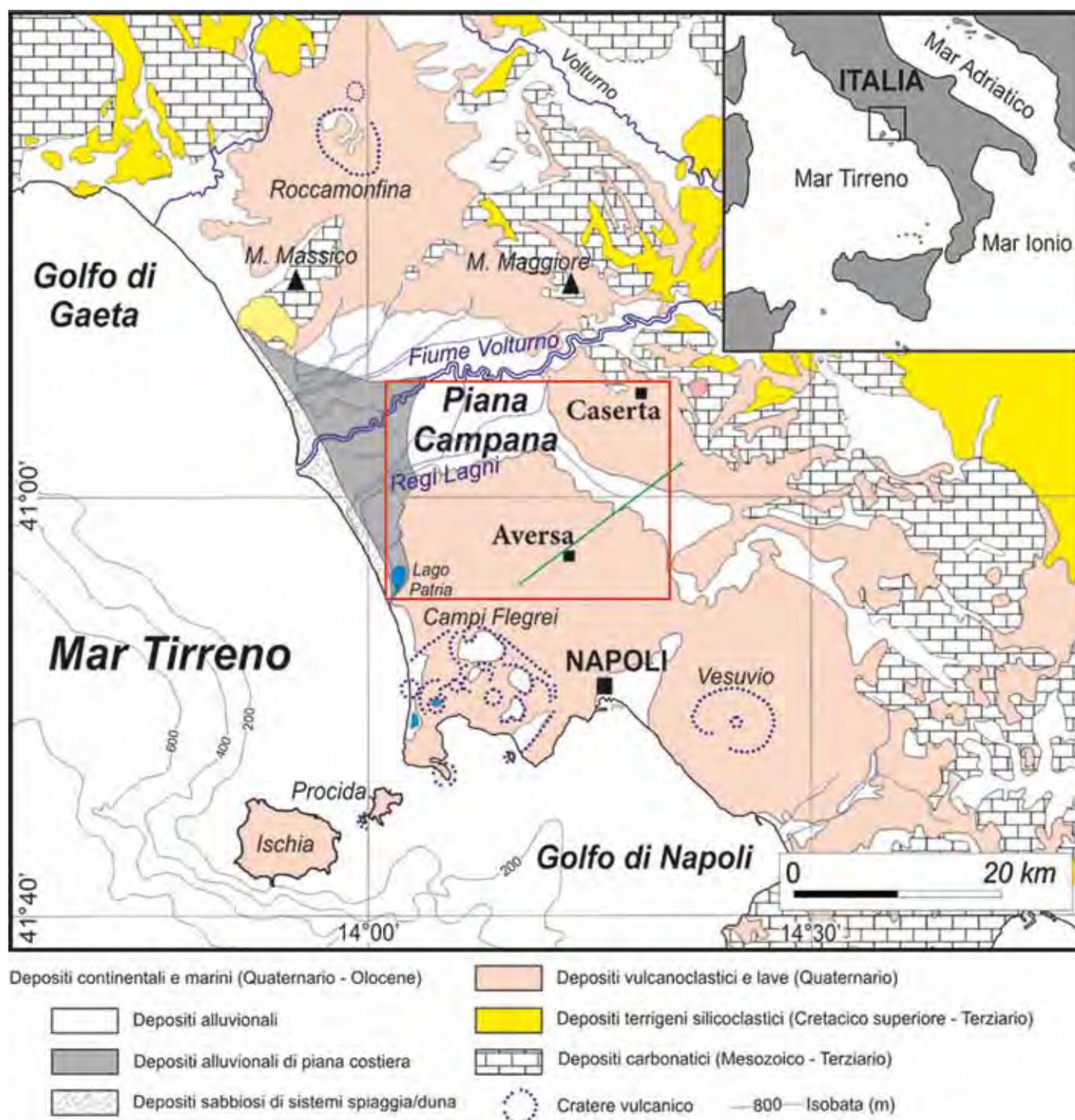


Fig. 1 – Carta geologica schematica della Piana Campana. Nel riquadro rosso è riportata l'area di studio. In verde la traccia della sezione geologica in fig. 3 (da Sacchi *et al.*, 2014, modificato).

Fig. 1 – Schematic geologic map of the Campania Plain. In the red square the study area and the traces of the geological profiles of fig. 3 (green lines) (after Sacchi *et al.*, 2014, slightly modified).

siasi evidenza della presenza di cavità, contribuendo a definire condizioni di suscettibilità geologica dovuto all'instabilità del sottosuolo (Brinkmann *et al.*, 2008; Parise, 2010; Scotto di Santolo *et al.*, 2018). Il collasso di cavità artificiali abbandonate rappresenta, infatti, un fattore di grande insidia per la sicurezza dell'urbanizzato a causa della sua imprevedibilità sia temporale che spaziale.

In una corretta gestione urbana la conoscenza del sot-

tosuolo della città è una priorità proprio per la valutazione dei rischi connessi ai suddetti crolli (p.es., Ciotoli *et al.*, 2015; Guarino *et al.*, 2017). Inoltre le opere antropiche ipogee rappresentano un valore documentale assoluto, ancora indebitamente trascurato e poco utilizzato ai fini di una corretta e sostenibile gestione del territorio, delle risorse naturali e del patrimonio storico e artistico.

La Società Speleologica Italiana ha prodotto una clas-

sificazione delle cavità artificiali basato su una struttura tipologica che tiene conto dell'epoca di realizzazione, della tecnica di costruzione e della destinazione d'uso della cavità stessa (Parise *et al.*, 2013) allo scopo di favorire, in particolare, il corretto inserimento nel Catasto Nazionale delle Cavità Artificiali.

È qui riportato uno studio preliminare condotto sulla porzione settentrionale della Piana Campana, a nord di Napoli. La presente indagine cerca di affrontare la complessa interazione tra assetto geologico e attività antropiche relative al sottosuolo. I dati sono stati gestiti in ambiente GIS tale da fornire un primo database geologico sotterraneo e un'analisi preliminare degli aspetti di pericolo relativi alle attività di estrazione.

Area di studio

L'area di studio corrisponde in larga parte al margine nord-occidentale della Piana Campana (fig. 1), la cui evoluzione geologica tardo quaternaria fu caratterizzata da un'intensa attività vulcanica (Patacca *et al.*, 1990; Scandone *et al.*, 1991; Rolandi *et al.*, 2003). Uno dei maggiori eventi vulcanici verificatisi nell'area campana negli ultimi 300 ka fu quello che diede origine, dall'area flegrea, all'imponente flusso piroclastico responsabile della formazione del Tufo Grigio Campano (TGC), i cui prodotti coprono l'intera pianura e costituiscono il substrato per la successiva sedimentazione. I depositi del TGC, che presentano uno spessore dell'ordine delle decine di metri, sono noti quasi esclusivamente nel sottosuolo (Ortolani & Aprile, 1985); la loro superficie sommitale ha una profondità dal livello del suolo che si riduce verso nord-est, vicino ai contrafforti appenninici (Putignano *et al.*, 2007; Ruberti *et al.*, 2020). Le modalità di messa in posto di questi depositi e la morfologia del substrato al momento della deposizione hanno condizionato le successive fasi

diagenetiche (Rolandi *et al.*, 2020) dando origine ad una vasta gamma di *facies* che va da quella grigiastra incoerente fino a quella gialla litificata e zeolitizzata. Il *top* del TGC è spesso marcato dalla presenza di un paleosuolo ben sviluppato sul quale si riconoscono depositi vulcanoclastici prevalentemente non consolidati, identificati come le *facies* distali da *surge* del Tufo Giallo Napoletano (TGN), una unità vulcanica datata 15 ka BP (Deino *et al.*, 2004) ed esposta principalmente nell'area di Napoli e dei Campi Flegrei (Di Girolamo, 1968). Nella Piana Campana queste *facies* sono rappresentate per lo più da ceneri grigie sciolte contenenti piccole pomice e rari litici, noti localmente come "pozzolana".

Le ultime fasi di colmamento della piana, nell'area centrale e costiera, sono riferibili alla sedimentazione marina e transizionale innescata dalla trasgressione versiliana (Amorosi *et al.*, 2012). Nei settori marginali e orientali, prossimi ai centri eruttivi attivi, si sono depositi sedimenti alluvionali e di versante a spese prevalentemente di piroclastiti vesuviane (Putignano *et al.*, 2007; Ruberti *et al.*, 2020).

Metodologia di studio

La ricerca si è basata sull'integrazione di un *dataset* georeferenziato comprendente circa 1000 log litostratigrafici derivanti da sondaggi geologici spinti ad una profondità compresa tra 10 e 150 m dal piano campagna, e da rilievi di campo. Le stratigrafie sono state interpretate ed omogeneizzate in termini di unità litologiche. Le varie *litofacies* che caratterizzano il TGC sono state a loro volta descritte come distinte unità stratigrafiche. Il *database* contiene inoltre i valori assoluti di *top* e *bottom* di ciascuna unità litologica.

Il *dataset* geologico è stato importato ed analizzato in un sistema informativo geografico appositamente

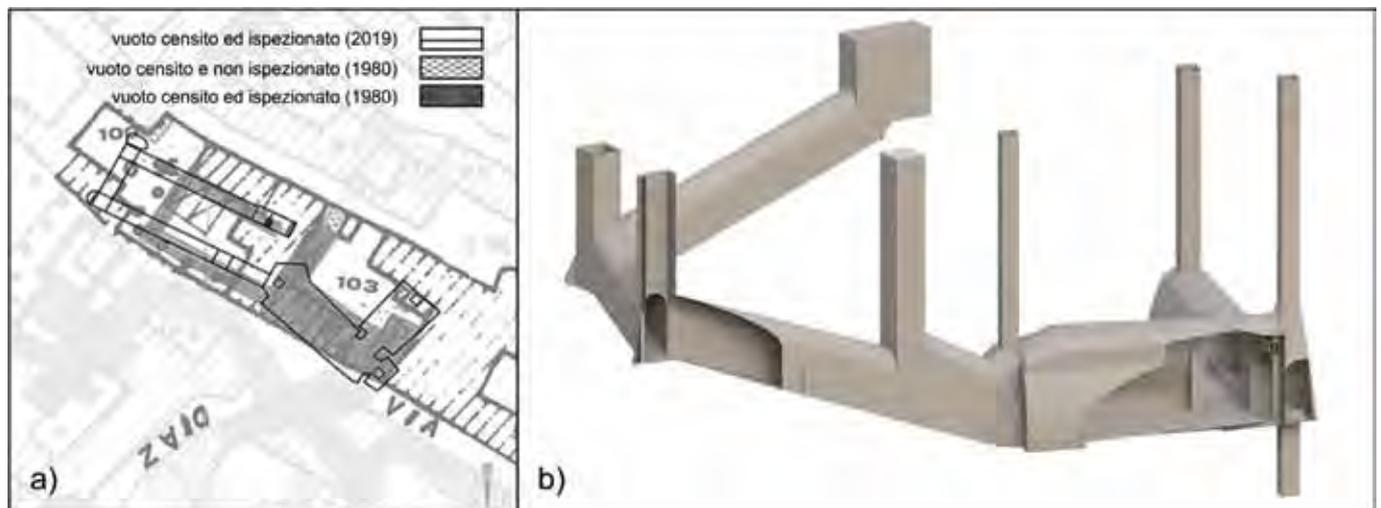


Fig. 2 – Esempio di rappresentazione delle cavità in: a) georeferenziazione delle planimetrie, verifica delle stesse ed aggiornamento del geodatabase; b) attraverso ricostruzioni 3D (elaborazione M. Vigliotti).

Fig. 2 – Example of a) mapping and upgrade of the same in a geodatabase; b) 3D schetch of a cavity (graphic M. Vigliotti).

creato per poter sviluppare un modello geologico 3D georeferenziato che tenesse conto anche delle relazioni tra le differenti litofacies riconosciute.

Successivamente è stato elaborato un *database* per organizzare i dati relativi alle cavità riconosciute nell'area investigata ed accogliere quelli provenienti da nuove, specifiche campagne di acquisizione (Vigliotti & Ruberti, 2018). Laddove presenti, le planimetrie degli ipogei sono state digitalizzate, georiferite ed importate nel sistema informativo precedentemente realizzato. Negli altri casi sono stati riportati solo i punti di accesso alle cavità. In fase di nuova acquisizione dei dati, invece, sono stati realizzati rilievi plano-altimetrici restituiti in formato vettoriale georeferenziato, anche per una restituzione in 3D, in cui sono stati distinti il corpo della cavità, i pozzi di accesso (*canne di pozzo* o *occhi di monte*), le rampe o scale di accesso (fig. 2) Per ogni cavità è stata compilata una scheda di censimento appositamente disegnata per la caratterizzazione dei vari elementi costituenti gli ipogei. In taluni casi sono stati realizzati video che riproducessero lo sviluppo 3D dell'intero sistema caveale, allegati al database unitamente alla documentazione fotografica prodotta. I dati così strutturati sono stati gestiti in un Sistema Informativo Territoriale basato su cartografia numerica in scala 1:5000.

Sono state infine digitalizzate cartografie storiche (Carta Topografica d'Italia SERIE 25V, 1957) per evidenziare lo sviluppo urbanistico dei centri interessati da ipogei e mettere in relazione la distribuzione di questi ultimi con l'area edificata.

Modello geologico

L'analisi dei dati geologici ha rivelato caratteristiche abbastanza comuni per tutta l'area considerata (fig. 3):

i) la presenza di tufo giallo zeolitizzato è stato il principale fattore che ha determinato lo sviluppo delle cavità, principalmente a scopo di estrazione; lo spessore

medio di questa facies è di 8 m, con spessori crescenti verso NE, in direzione di Caserta;

ii) sotto il tufo giallo zeolitico si trovano solitamente depositi piroclastici leggermente saldati; i livelli cineritici assumono caratteristiche differenti in funzione del grado di compattazione al variare della profondità e della zona;

iii) nella parte superiore la cinerite è leggermente litificata, spesso caratterizzata da abbondanti ciottoli di tufo vulcanico (cappellaccio);

iv) un paleosuolo di spessore metrico sottolinea il limite superiore del TGC. I depositi sovrastanti sono principalmente composti da cinerite bianco-giallastra e grigiasta in cui si intercalano strati di pomice biancastri; essi sono legati a eruzioni più recenti dei Campi Flegrei.

L'assetto topografico attuale risulta complessivamente ereditato dall'organizzazione dei depositi nel sottosuolo ed in particolare la superficie topografica segue l'andamento del tetto del tufo (Ruberti *et al.*, 2020).

Distribuzione e tipologia delle cavità

In generale lo sviluppo delle cavità è fortemente condizionato dalla litologia del TGC e dai relativi spessori. Nel settore considerato, gli ipogei si sviluppano prevalentemente all'interno dell'ammasso tufaceo rappresentato dalla facies gialla zeolitizzata del TGC (fig. 4), la cui continuità orizzontale è spesso interrotta in corrispondenza di *pipes* da degassazione i quali determinano nel tufo, privato della componente più fine, scadenti caratteristiche litotecniche.

La realizzazione di un sistema caveale prevedeva uno scavo verticale realizzato a "bottiglia" oppure a "campagna" dal piano campagna fino a raggiungere e superare il tetto del banco di tufo per una profondità funzione della sua potenza (fig. 5a). Nello scavo, i punti di accesso, a sezione quadrata o pseudo-circolare, attraversavano inizialmente i depositi scarsamente litifica-

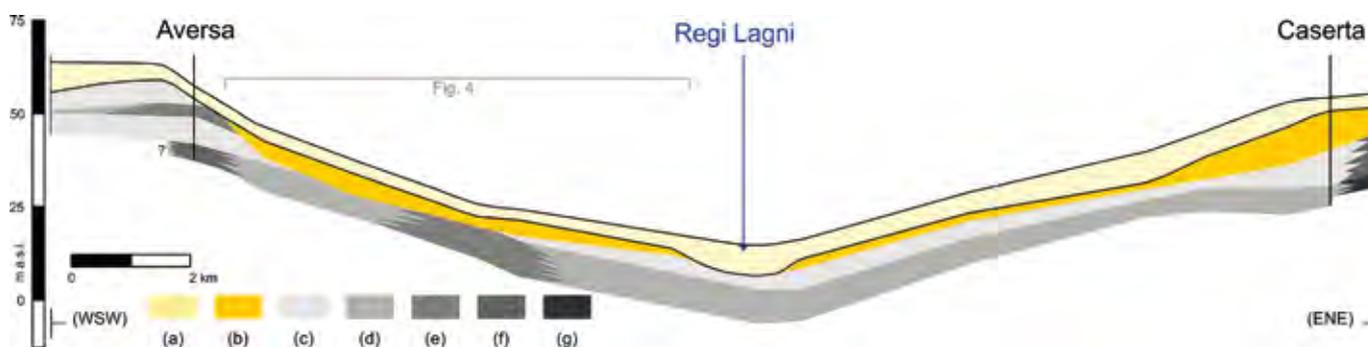


Fig. 3 - Sezione geolitologica schematica in cui sono evidenziate le litofacies del TGC. (a) depositi post-TGC, b-g: litofacies del TGC: (b) tufo giallo zeolitizzato, (c) tufo grigio, (d) cinerite, (e) cinerazzo, (f) tufo pipernoide, (g) tufo piperno. Per l'ubicazione delle sezioni si veda fig. 1 (ridisegnato da Ruberti *et al.*, 2020).

Fig. 3 - Geological section in which the lithofacies distribution in the TGC deposits is shown. (a) post-TGC deposits, b-g: TGC lithofacies: (b) zeolitic yellow tuff, (c) grey tuff, (d) cinerite, (e) cinerazzo, (f) pipernoide tuff, (g) piperno tuff. For location see Fig. 1 (based on Ruberti *et al.*, 2020).

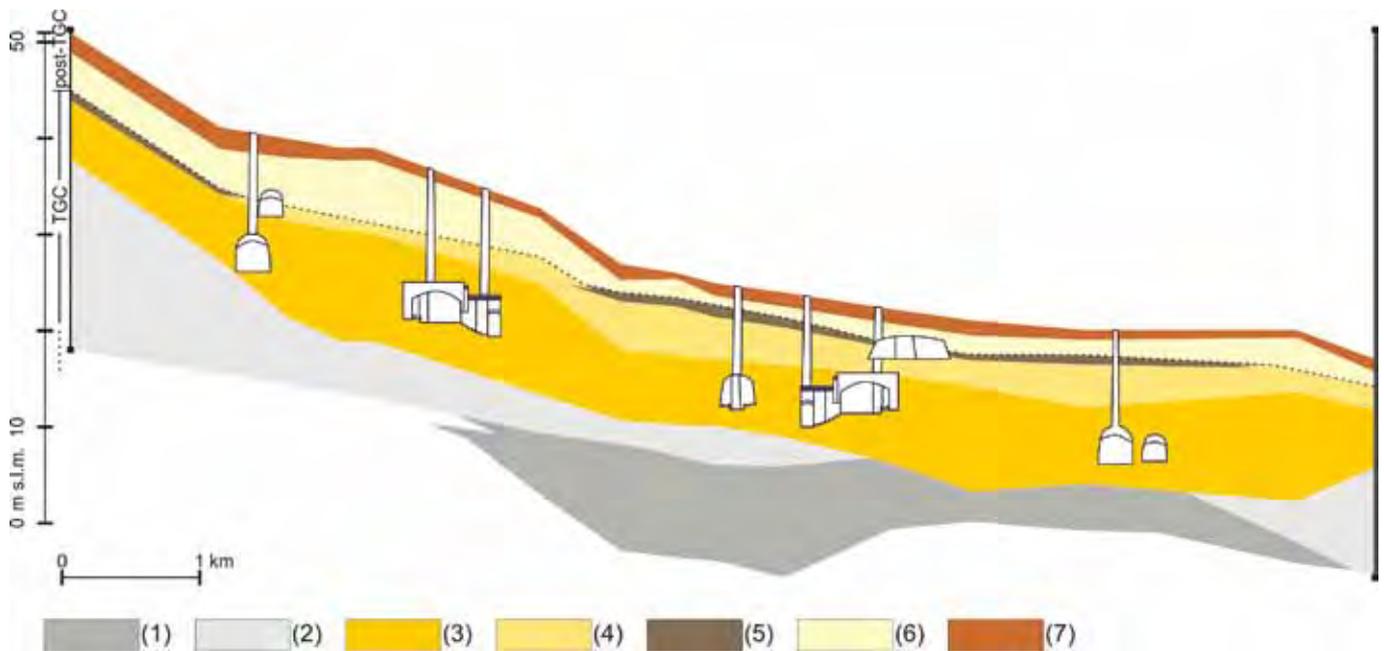


Fig. 4 - Schema di distribuzione delle cavità all'interno dei vari orizzonti geologici (per l'ubicazione si veda fig. 3). Le cavità non sono in scala. La linea nera tratteggiata rappresenta il limite superiore del TGC. (1) cinerite, (2) tufo grigio, (3) tufo giallo zeolitizzato, (4) facies incoerente del TGC, (5) paleosuolo, (6) depositi piroclastici post-TGC, (7) suolo attuale (ridisegnato da Vigliotti & Ruberti, 2018).

Fig. 4 – Geological cross-sections showing the relationship between caves and CGT lithofacies (tracks in Fig. 3). Caves not to scale. Dotted line indicates the upper limit of the CGT deposits. (1) cinerite, (2) grey tuff, (3) zeolitic yellow tuff, (4) incoherent facies of CGT, (5) paleosoil, (6) pyroclastic deposits post-CGT, (7) soil (based on Vigliotti & Ruberti, 2018).

ti o sciolti, talora sostenuti da muri di contenimento costituiti da conci di tufo poggianti sul banco tufaceo francamente litoide. Ad un singolo scavo verticale se ne potevano affiancare altri ad una certa distanza, in modo tale da determinare in profondità la coalescenza di più camere (fig. 5b), anche attraverso la realizzazione di cunicoli stretti (fig. 5c) o ampi passaggi ad arco ribassato. Generalmente una singola camera ha una pianta subrettangolare con la forma della volta del tipo ad arco trapezio oppure ad arco ribassato. La base della cavità è interamente nel banco di tufo, spesso coincidente con un livello ricco di scorie segnalato nei sondaggi alla base del tufo giallo con spessore metrico. La profondità della volta è funzione dello spessore del deposito posto al di sopra del tufo (fig. 5e). Al termine dell'estrazione veniva realizzato un più comodo accesso alle cavità costituito da discenderie rappresentate da un sistema di scale con una o più rampe, con gradini direttamente intagliati nel tufo, nelle parti più profonde, oppure realizzati con mattoni dello stesso materiale, nelle parti sommitali (fig. 5d); la volta presenta una forma ad arco a tutto sesto. Talora le discenderie sono più ampie in larghezza, con tipica forma della volta ad arco ribassato, in quanto fiancheggiate da piani variamente inclinati. Nell'area a nord di Napoli si osserva frequentemente lo sviluppo di due livelli di ipogei: un primo sistema realizzato nelle piroclastiti sciolte al di sopra del TGC e posizionato immediatamente sotto il piano campagna. Le cavità, interamente rivestite, sono di limitata altezza (non più di 2 m) ed estensione.

Da questi corpi si accede, attraverso una o più rampe di scale, alle grotte scavate nel tufo, di ben più ampie dimensioni. Sulla base della classificazione del Catasto Nazionale delle Cavità proposto dalla SSI (Parise *et al.*, 2013) la maggior parte delle cavità prese in esame possono essere catalogate, secondo la prevalenza tipologica, come segue:

- *E1 – Opere Estrattive - cave di inerti*: cave per l'estrazione del tufo utilizzato come materiale da costruzione; 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. Nei depositi sovrastanti il banco di tufo, in corrispondenza di livelli di pomice trovano sviluppo stretti cunicoli suborizzontali definiti "tane di lapillo": essi costituiscono un sistema caveale minore scarsamente conosciuto.

- *D7 – Opere Belliche - rifugi per civili*: in seguito alla cessata attività estrattiva alcune cavità sono state utilizzate come rifugi antiaerei durante l'ultimo conflitto mondiale.

- *B3-B4 – Opere insediative civili - opifici, magazzini*: molte cavità, soprattutto nell'agro aversano, sono state trasformate in luoghi per la conservazione di derrate alimentari o, più comunemente, in cantine da vino. Questo ultimo utilizzo è legato alle ottime caratteristiche di termoregolazione del tufo che mantengono temperature ed umidità costanti nel corso dell'anno permettendo la produzione di vini da vitigni anche più delicati.

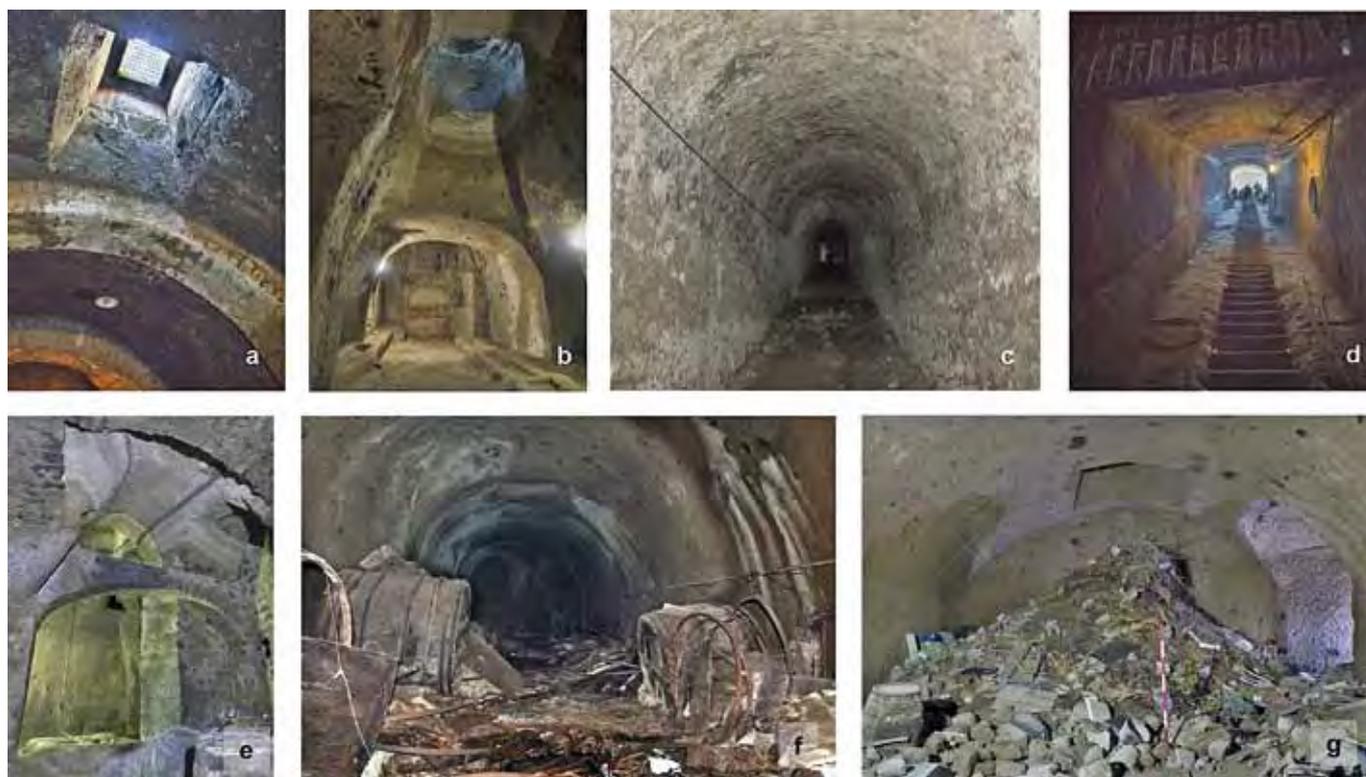


Fig. 5 – (a) veduta dal basso di un occhio di monte a sezione quadrata chiuso, in superficie, da una griglia. Si notano archi di mattoni di tufo a separazione di più camere coalescenti; (b) cavità adibita alla produzione del vino. La continuità orizzontale è interrotta dalla costruzione secondaria di un muro; (c) cunicolo di collegamento tra due diversi ipogei; (d) discenderia costituita da scale scavate nel tufo e successivamente rivestite di mattoni; (e) cavità costituita da più camere comunicanti attraverso archi rivestiti da mattoni di tufo. Si riconosce la base di un occhio di monte e il contatto tra il tufo e le piroclastiti sciolte stratificate; (f) cavità originariamente adibita a produzione del vino ed abbandonata; (g) scarico abusivo di materiali di risulta attraverso l'occhio di monte in una cavità abbandonata (foto M. Vigliotti).

Fig. 5 – (a) bottom view of a squared access point closed on the surface by a grid. Note the arcs made of tuff bricks that separate different cave chambers; (b) cave used for the production of wine. Horizontal continuity is interrupted by the secondary construction of a wall; (c) connection tunnel between two different caves; (d) access consisting of stairs dug into the tuff and subsequently covered with bricks; (e) cavity consisting of several chambers communicating through arches covered with tuff bricks. Note the base of an access point and the contact between the tuff and the bedded loose pyroclastites; (f) cavity originally used for wine production and then abandoned; (g) illegal dumping of waste materials through the access point into an abandoned cavity (photos M. Vigliotti).

- C2 - Opere di culto – sepolture: al di sotto dei principali complessi monastici gli ipogei sono stati spesso destinati a sepolcri.

Attualmente ancora poche cavità sono utilizzate come cantine da vino; molte sono abbandonate (fig. 5f) o adibite a sversatoi di rifiuti (fig. 5g), di altre se ne è persa la memoria.

Gli occhi di monte, soprattutto quelli ormai nascosti, sono spesso sede di fenomeni di collasso quando le piroclastiti sciolte in cui sono scavati vengono dilavate a seguito di perdite del sistema fognario ed acquedottistico sotterraneo (Parise, 2015; Guarino *et al.*, 2017).

Sviluppo urbano vs. distribuzione delle cavità

La distribuzione spaziale degli ipogei è stata messa in relazione con l'espansione dei centri urbani, dedotta dall'analisi della cartografia storica. Appare evidente nella maggior parte dei centri urbani considerati che le cavità sono presenti solo al di sotto dell'abitato edificato fino agli anni 70 circa del XX secolo (fig. 6). Da quel momento in poi la completa sostituzione del cemento come materiale da costruzione ha determinato il conseguente abbandono dell'estrazione del tufo in sotterraneo.

Considerazioni conclusive

Il presente studio fornisce un primo database del sottosuolo della Piana Campana a nord di Napoli comprensivo sia di dati geologici che di documentazione di ipogei presenti nelle aree urbane. Il database è progettato per essere gestito in un ambiente GIS al fine di fornire una ricostruzione geologica 3D dettagliata che permette di

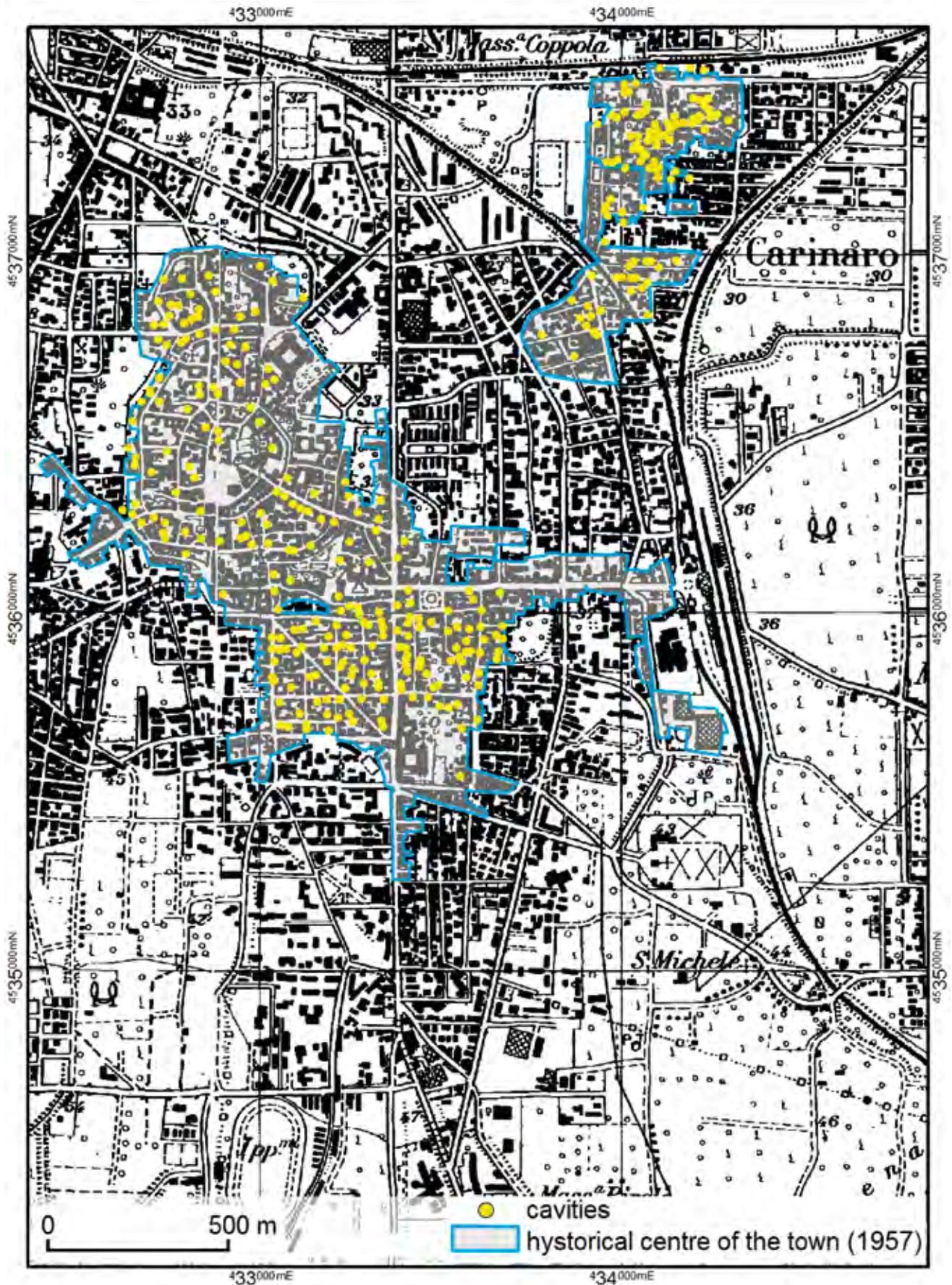


Fig. 6 – Censimento delle cavità artificiali ad Aversa. In azzurro è riportato il perimetro dell'urbanizzato al 1957 (corrispondente al centro storico). La cartografia rappresenta l'espansione della città al 1987 (elaborazione grafica M. Vigliotti).

Fig. 6 – Cave distribution in the city of Aversa. In light blu is represented the perimeter of the historical centre (up to the 1957). The base map is dated 1987 (graphic processing M. Vigliotti).

identificare gli orizzonti in cui le cavità si sono maggiormente sviluppate, ipotizzandone la presenza nei settori in cui esse non sono segnalate.

L'estrazione di materiali da costruzione è stata la principale causa di sviluppo di cavità nel centro storico delle città. L'analisi dell'espansione urbana fino alla metà del XIX secolo ha infatti rivelato una stretta relazione tra la presenza di cavità nel sottosuolo e l'espansione della città fino agli anni '70, quando l'uso del cemento sostituì completamente l'estrazione del tufo.

La conoscenza di un tale sistema ipogeo potrebbe essere un utile contributo alla valutazione dei pericoli in aree densamente urbanizzate. Inoltre la valorizzazione ed il riuso consapevole e sostenibile degli ipogei contribuisce a migliorare la promozione culturale e turistica di un territorio, oltre ad essere utile spunto e fonte di conoscenza per studiosi e appassionati della materia.

Bibliografia

- Amorosi A., Pacifico A., Rossi V., Ruberti D., 2012, *Late Quaternary incision and deposition in an active volcanic setting: the Volturno valley fill, southern Italy*. *Sedimentary Geology* 282, pp. 307-320.
- Brinkmann R., Parise M., Dye D., 2008, *Sinkhole distribution in a rapidly developing urban environment: Hillsborough County, Tampa Bay area, Florida*. *Eng. Geol.* 99 (3-4), pp. 169-184.
- Ciotoli G., Ferri G., Nisio S., Succhiarelli C., 2015, *The underground cavities in the territory of Rome: typologies, distribution and sinkhole susceptibility*. *Hypogea 2015, Proceedings of International Congress of Speleology and Artificial Cavities – Rome, March 11/17 2015*; pp. 433-439.
- 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 ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating method*. *J Volcanol Geotherm Res* 133, pp. 157-170.
- Di Girolamo P., 1968, *Piroclastiti stratificate riferibili al 2° periodo flegreo nella Pianura Campana, tra il Volturno e Napoli*. *Per. Min.*, Anno XXXVII, Roma.
- 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, doi.org/10.1007/s11069-017-3054-5
- Ortolani F., Aprile F., 1985, *Principali caratteristiche stratigrafiche e strutturali dei depositi superficiali della Piana Campana*. *Boll. Soc. Geol. It.*, 104, pp. 195-206.
- Parise M., 2015, *A procedure for evaluating the susceptibility to natural and anthropogenic sinkholes*, *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 9:4, pp. 272-285, DOI: 10.1080/17499518.2015.1045002
- Parise M., 2010, *Hazards in Karst*. In: *Sustain. Karst Environ. Dinaric Karst Other Karst Reg. Series on Groundwater*. IHP-UNESCO, Plitvice Lakes, Croatia, pp. 155-162.
- Parise M., Galeazzi C., Bixio R., Dixon R., 2013, *Classification of artificial cavities: a first contribution by the UIS Commission*. In: *Filippi, M. and Bosak, P. (Eds.), Proc. 16th Int. Congr. Speleol.*, 21-28, July 2013, 2, pp. 230-235.
- Patacca E., Sartori R., Scandone P., 1990, *Tyrrhenian basin and Apenninic arcs: kinematic relations since late Tortonian times*. *Mem. Soc. Geol. Ital.* 45, pp. 425-451.
- Putignano M.L., Ruberti D., Tescione M., Vigliotti M., 2007, *Evoluzione tardo quaternaria del margine casertano della Piana Campana (Italia meridionale)*. *Boll. Soc. Geol. Ital.*, 126, 1, pp. 11-24.
- Rolandi G., De Natale G., Kilburn C.R.J., Troise C., Somma R., Di Lascio M., Fedele A., Rolandi R., 2020, *The 39ka Campanian Ignimbrite eruption: new data on source area in the Campania Plain*. In: *De Vivo B., Belkin H.E., Rolandi G. (Eds.): Vesuvius, Campi Flegrei and Campanian Volcanism*. Elsevier, ISBN:9780128164549. Chapter 8, pp. 175-205, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816454-9.00008-0
- Rolandi, G., Bellucci, F., Heizler, M.T., Belkin, H.E., De Vivo, B., 2003, *Tectonic controls on the genesis of ignimbrites from the Campanian Volcanic Zone, southern Italy*. *Mineral Petrol* 79, pp. 3-31.
- Ruberti D., Vigliotti M., Rolandi R., Di Lascio M., 2020, *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*. Elsevier, ISBN:9780128164549. Chapter 9, pp. 207-229, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816454-9.00009-2
- Sacchi, M., Molisso, F., Pacifico, A., Vigliotti, M., Sabbarese, C., Ruberti, D., 2014, *Late-Holocene to recent evolution of Lake Patria, South Italy: an example of a coastal lagoon within a Mediterranean delta system*. *Glob. Planet. Chang.* 117, pp. 9-27.
- Scandone, R., Bellucci, F., Lirer, L., Rolandi, G., 1991, *The structure of the Campanian Plain and the activity of the Neapolitan volcanoes (Italy)*. *J Volcanol Geoth Res* 48, pp. 1-31.
- 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, doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.02.014
- Vigliotti, M., Ruberti, D., 2018, *Grey Tuff and anthropogenic tuff cavities in the Southern metropolitan area of Caserta (Southern Italy)*. *Alpine and Mediterranean Quaternary (v. 31): Past, Present, Future - AIQUA Conference*, pp. 247-251.

