

Primo contributo allo studio delle cavità sotterranee nascoste sotto il Parco di Centocelle nell'area urbana di Roma

Preliminary study of hidden underground cavities under the Centocelle Park in the Rome urban area

NISIO STEFANIA(**), CIOTOLI GIANCARLO(*), FERRI FERNANDO(**),
MORETTI PAOLO(**), PUZZILLI LUCA MARIA(**), RUSCITO VALERIO(**),
CARLUCCI GIORGIA(*)

RIASSUNTO - Il Parco di Centocelle, il cui nome deriva dal latino *Centum Cellae* ovvero cento stanze, è un'area verde di 120 ettari, ubicata alla periferia orientale della città Roma, nel territorio del V Municipio. Il nome potrebbe anche essere stato attribuito alla tenuta per la vastità degli ambienti sotterranei ivi presenti. Infatti la presenza di cavità sotterranee era già nota durante i lavori per la realizzazione dell'aeroporto omonimo; le ricerche archeologiche, inoltre, hanno dimostrato che l'area era sottoposta a coltivazione prima della realizzazione delle Ville romane ivi ubicate, dunque in età antichissima. Molti ambienti sotterranei sono venuti alla luce, anche recentemente, in seguito ad eventi di sprofondamento. Il primo evento del 2016 ha messo in evidenza una galleria che da Via di Centocelle lambisce il parco arriva ad un ipogeo pagano; a gennaio una seconda voragine ha messo in evidenza un pianto caveale che da Tor de Schiavi arriva sino a sotto la Casilina. Le cavità sotterranee non sono ancora del tutto note, è ipotizzabile che l'area della Casilina sia interessata da altri cunicoli e gallerie che vengono confermati dagli avvallamenti al suolo nell'area parco nonché dai sinkholes registrati nel tempo nelle strade limitrofe. Vengono presentati in questa nota i primi risultati conseguiti dal Progetto Moscas (MOdelli e Strumenti per la caratterizzazione delle CAvità Sotterranee), Unità 3, finanziato dal MATTM.

PAROLE CHIAVE: Cavità sotterranee, Sinkhole, Parco di Centocelle, Roma

ABSTRACT - The park of Centocelle, whose name originates from the Latin *Centum Cellae* otherwise one hundred rooms, is a green area of 120 hectares located in the territory of the V municipality on the eastern suburbs of Rome. The name could also derive from the high presence of underground environments in that area which were already known since the construction of the Centocelle military airport in the early 1900s. Furthermore, archaeological researches discovered that the area was subject to cultivation before the construction of the Roman villas in very old age. Many underground cavities were discovered, even recently, as a result of sinkhole collapses. In 2016, the first collapse highlighted a tunnel that from Via di Centocelle borders the park and reaches a pagan hypogeum. Last January a second collapse highlighted a network of cavities that extends from Tor de Schiavi and Casilina roads. However, the underground cavities in the area are not yet fully known, it is conceivable that in the area crossed by the Casilina road other tunnels occur as confirmed by the numerous morphological depressions in the park area, as well as by the sinkhole collapses recorded over time in the neighbouring roads. This work presents the first results achieved in the framework of the Moscas Project (Models and Instruments for the Characterization of Underground Cavities) funded by Ministry of the Environment (MATTM).

KEY WORDS: Sinkholes, underground cavities, Centocelle Park, Rome

(*) CNR IGAG, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria, Area della Ricerca di Roma1, Monterotondo, Roma.

(**) ISPRA- Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia, V. Vitaliano Brancati 48, 00144 Roma.

1. - IL PARCO DI CENTOCELLE A ROMA

Il *Parco archeologico di Centocelle* è un'area verde di 120 ettari ubicata alla periferia orientale della città Roma, entro il GRA; nel territorio del V Municipio, a sud dell'omonimo quartiere.

È delimitato da alcune strade a grande scorrimento di traffico: a ovest da via di Centocelle, a nord da via Casilina, a est da viale Togliatti, a sud da via Papiria e dal sedime militare del Comando della Squadra Aerea dell'Aeronautica Militare e del Comando operativo di vertice interforze del Ministero della Difesa (Fig. 1).



Fig. 1 - Immagine dall'alto dell'area parco di Centocelle nel V Municipio di Roma.
- Picture from above of the park area of Centocelle in the V district of Rome.

Esso sorge su un pianoro a sommità tabulare che contiene numerosi resti archeologici, a testimoniare una frequentazione dell'area fin dal VI secolo a.C. (Fig. 2). L'intera area circostante il parco è testimonianza di altri importanti resti romani quali l'acquedotto (Fig. 2b), il mausoleo di Elena (Fig. 2a), le catacombe di Marcellino e Pietro.



Fig. 2 - a) Il mausoleo di Elena; b) Resti dell'Acquedotto Felice a lato orientale del Parco di Centocelle.
- a) The mausoleum of Elena; b) Remains of the Felice Aqueduct on the eastern side of the Centocelle Park.

Oltre a due depositi, uno repubblicano e uno culturale, sono state riscoperte negli scavi di fine XX secolo tre ville (di cui si tratterà in seguito): rispettivamente della Piscina, delle Terme e *ad Duas Lauros*. Quest'ultima è particolarmente rilevante in quanto compresa in una grande proprietà imperiale, identificata nell'abitazione dei Secondi Flavi, quale residenza dell'imperatrice Elena, e che per le sue dimensioni venne chiamata *Centum Cellae*, da cui deriva l'attuale toponimo.

Dopo la donazione della proprietà alla Chiesa, fu istituita qui la diocesi suburbicaria Subaugusta; alla fine del XIX secolo fu realizzato nell'area parco il forte militare Casilino (Fig. 3), e all'inizio del XX secolo l'area rimanente fu utilizzata come primo aeroporto italiano, entrato ufficialmente in funzione il 15 aprile 1909 e intitolato all'aviatore italiano Francesco Baracca.

Una volta cessato l'uso aeronautico, l'area fu oggetto di grandi progetti urbanistici fin dalla redazione del Piano Regolatore del 1962, che ne prevedeva l'edificazione di imponenti edifici moderni ad uso ufficio nell'ambito del Sistema Direzionale Orientale (Fig. 4), e per questo venne ceduta dal Demanio dello Stato al Comune di Roma.

In seguito, la mancata realizzazione dello SDO e l'apposizione sull'intera area del vincolo storico-archeologico da parte del Ministero per i Beni Culturali, hanno indotto il Comune a trasformare l'area in parco archeologico, anche al fine di sopperire alla carenza di aree verdi per i popolosi quartieri contermini. Tuttavia, l'apertura al pubblico si è rivelata problematica per la presenza di una serie di occupazioni abusive, da parte di autodemolitori (in parte an-



Fig.3 - Ingresso del Forte Casilino.
- Entrance to Forte Casilino.

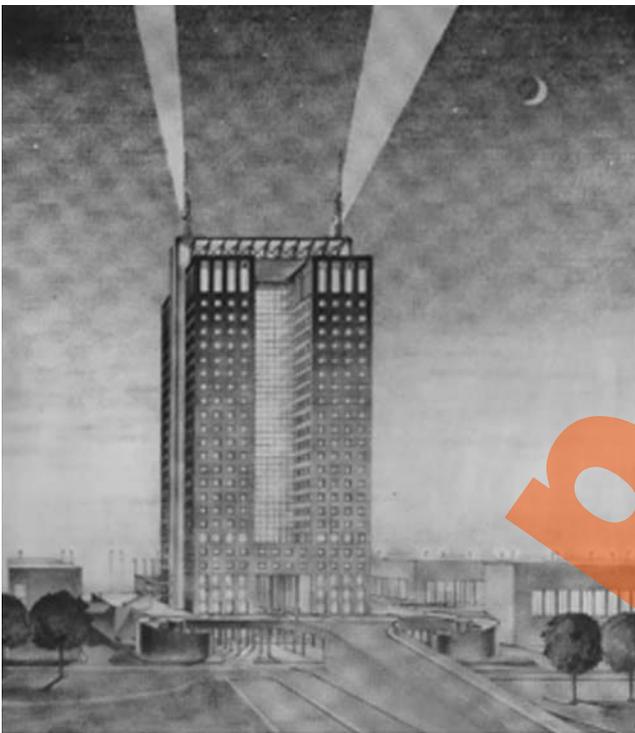


Fig.4 - Immagine della struttura prevista dal Piano regolatore che prevedeva la realizzazione di edifici per uffici nell'ambito del Sistema Direzionale Orientale.
- Image of the structure envisaged by the Town Development Plan that provided for the construction of office buildings within the Eastern Management System.



Fig.5 - Panoramiche della pista dell'ex aeroporto all'interno del parco.
- View of the airport runway inside the park.

cora esistenti), impianti sportivi e dei due grandi campi nomadi di Casilino 700 e 900.

Il parco è stato aperto infine al pubblico nel 2006, e chiuso dopo due anni per motivi di sicurezza dal settembre 2008 al gennaio 2010; attualmente è visitabile per un'estensione di circa 33 ettari, fatta eccezione per alcune aree archeologiche che restano recintate. All'interno del parco è ancora presente la pista dell'ex aeroporto attualmente in disuso (Fig. 5).

2. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Dal punto di vista geologico l'area è caratterizzata dall'affioramento esteso delle Pozzolanelle facenti parte della Formazione di Villa Senni (Fig. 6a), costi-

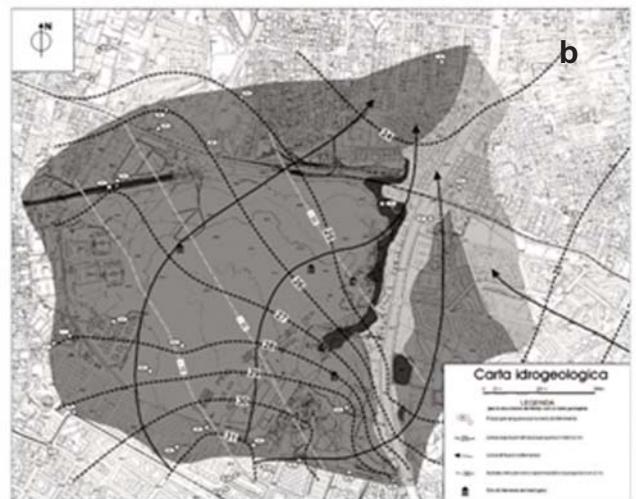


Fig. 6 - a) Schema geologico dell'area parco; b) schema idrogeologico.
- a) Geological sketch of the park area; b) Hydrogeological sketch of the park area.

tuite da depositi piroclastici scoriacei rossastri, grigi e nerastri con uno spessore variabile da alcuni metri a circa 15, che poggiano al di sopra del Tufo Lionato, sempre facente parte della formazione di Villa Senni, in affioramento nel settore Est in corrispondenza del fosso di Centocelle (via P. Togliatti). Sempre in corrispondenza di quest'ultimo, sono presenti depositi alluvionali, probabilmente di esiguo spessore.

Dal punto di vista idrogeologico (Fig. 6b), i terreni sopra riportati sono classificabili da molto permeabili a mediamente permeabili e quindi suscettibili di ospitare una falda, così come gli altri depositi piroclastici presenti sotto i terreni in affioramento sopra descritti.

Dalle isolinee della quota piezometrica della falda presente nell'area, si osserva un andamento generale dei flussi da sud verso nord, perturbato dall'effetto del drenaggio verso il Fosso di Centocelle (ora viale P. Togliatti). Tenendo conto dei valori riportati dalla Carta e della quota dell'area del Parco, che risulta essere di circa 47 m s.l.m., si può ipotizzare una soggiacenza della falda di circa 20 m.

3. - RESTI ARCHEOLOGICI ALL'INTERNO DEL PARCO DI CENTOCELLE

Negli anni '90 l'area del Parco di Centocelle è stata sede di importanti scavi archeologici che hanno portato alla luce un patrimonio di enorme impor-

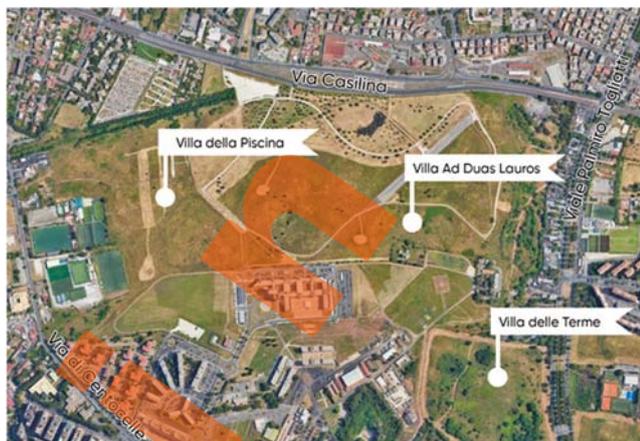


Fig. 7 - Le ville romane nel Parco di Centocelle rinvenute negli anni '90 dagli scavi della Soprintendenza Archeologia, BB.CC. di Roma.
- The Roman villas in the Park of Centocelle found in the 90s by the excavations of the Soprintendenza Archeologia, BB.CC. of Rome.

tanza scientifica, archeologica, storica e culturale, con il rinvenimento di vestigia risalenti all'età arcaica pre-romana e romana quali la Villa della Piscina, la Villa delle Terme, ma soprattutto della *Villa "Ad Duas Lauros"* (Figg. 7, 8).



Fig.8 - Resti archeologici delle ville Romane all'interno del Parco.
- Remains of the Roman villas in the Park of Centocelle.

3.1. - LA VILLA DELLA PISCINA

La villa della Piscina (Fig. 9a) era già stata rilevata planimetricamente nel 1930 e descritta in un giornale di scavo, redatto durante le demolizioni effettuate per la costruzione dell'aeroporto, ma se ne ignorava l'esatta ubicazione. I dati allora registrati descrivono un edificio di dimensioni grandiose, con un vasto cortile delimitato da corridoi, intorno al quale erano disposti una serie di ambienti, riconducibili a differenti fasi edilizie e articolati in nuclei con diverse destinazioni d'uso (ambienti di rappresentanza, residenziali, termali, di servizio). Le indagini svolte negli ultimi anni hanno permesso di verificare che la villa non si estendeva molto oltre i limiti già individuati, e che esistevano comunque tracce di edifici di epoca precedente; infatti la frequentazione dell'area si può far risalire alla fine del VII - VI secolo a.C.; alla media età repubblicana si deve attribuire la costruzione di un primo edificio con murature in blocchi di tufo, non viste dagli scavi del 1930; a questo impianto va collegata una serie di trincee scavate nel tufo attribuibili a filari di un vigneto, situato sui lati Est e Nord del complesso, ed una serie di tracce rinvenute sul lato Sud, che fanno ritenere che qui fosse l'area destinata a seminativo. Questo complesso raggiunse alla fine del II secolo a.C. un'estensione di oltre 1000 mq, e contemporaneamente venne di molto ampliata anche la superficie destinata a vigneto. L'assetto definitivo si data alla fine del I - ini-

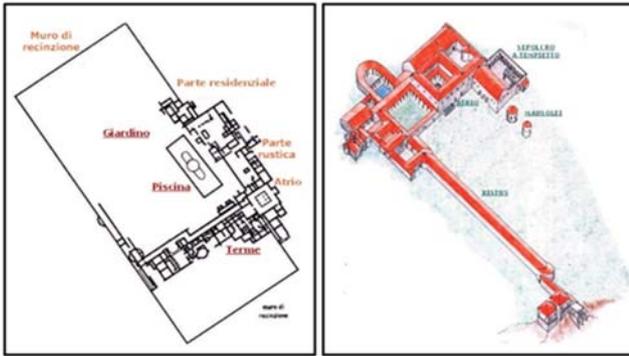


Fig. 9- a) Planimetria della Villa della Piscina; b) ricostruzione della Villa Ad Duas Lauros.

- a) Planimetry of the Villa della Piscina; b) reconstruction of the Villa Ad Duas Lauros.

zio del II sec. d.C. In basso è visibile uno schema planimetrico dell'insieme del complesso attraverso il quale si può accedere ad ulteriori informazioni.

3.2. - LA VILLA “AD DUAS LAUROS”

Lo scavo, effettuato nella parte settentrionale del complesso, a Nord della recinzione dell'area militare, ha permesso di chiarire le diverse fasi costruttive del complesso, che dall'età repubblicana si sviluppava fino ad epoca tardo-antica (V-VI d.C. Fig. 9b). I resti più antichi sono riferibili ad un edificio, di età medio-repubblicana, con muri in opera quadrata e pavi-

menti in tufo, diversamente orientato rispetto al grande impianto di epoca successiva. Annesso a questo edificio doveva essere un impianto agricolo le cui tracce testimoniano la coltivazione della vite in filari.

L'impianto successivo subisce nel tempo modifiche ed ampliamenti. In basso vi è una ricostruzione ipotetica, elaborata in base alle planimetrie generali, note attraverso una storica foto aerea del 1953 ed in base ai recenti scavi, che mostra come dovesse essere questa monumentale villa nel periodo della sua massima espansione. Essa occupava un'area di oltre un ettaro (Fig. 10) ed ha vissuto nel complesso per più 1000 anni.

Nel corso del III sec. d.C. l'antico atrio, situato nell'area centrale della villa, viene coperto da una volta a crociera; viene quindi eseguita una nuova pavimentazione in *opus sectile*, al centro della quale è una vasca rettangolare rivestita di marmo; nello stesso periodo lavori di ristrutturazione vengono realizzati negli ambienti vicini.

La struttura visibile sul lato Nord della villa si è rivelata un sepolcro del tipo “a tempietto”, costruito agli inizi del III secolo d.C. e destinato evidentemente al proprietario della villa, del quale purtroppo si ignora il nome; costituito da una camera sepolcrale al piano seminterrato, e da un piano rialzato, cui si



Fig. 10 - Planimetrie e immagini della Villa Ad Duas Lauros presso il Parco di Centocelle.

- Planimetries and images of the Villa Ad Duas Lauros at the Centocelle Park.

accedeva mediante una scalinata dal lato opposto. Il sepolcro venne circondato, in epoca costantiniana, da un recinto con nicchie, riutilizzato nel V secolo per una serie di sepolture. In questo stesso periodo si colloca la costruzione di alcuni ambienti adiacenti l'area del sepolcro a tempietto, di grandi dimensioni e con pavimenti in mosaico o in lastre di *opus sectile*, elementi di lusso che insieme alle ampie dimensioni degli ambienti porterebbero ad identificarli come sale di rappresentanza.

3.3. - LA VILLA DELLE TERME

Nella parte sud-orientale del pianoro di Centocelle, era già nota la presenza di un'altra villa individuata e parzialmente scavata dalla Soprintendenza Archeologica di Roma negli anni '80. Questa, distrutta quasi interamente da una grande cava, conserva invece un impianto termale in ottimo stato di conservazione (Fig. 11).

Infatti i muri raggiungono un'altezza di m 1 circa dalla quota dei piani pavimentali degli ambienti, cosa che fa pensare ad una distruzione collegata ad attività di livellamento del piano di campagna. L'impianto fu costruito in un'area già destinata alla coltivazione, come si desume dalla presenza, nelle immediate adiacenze, di trincee di coltivazione e/o canali di drenaggio tra loro paralleli scavati nel banco di tufo. Le indagini hanno riguardato circa due terzi dell'edificio: sono stati tralasciati il settore meridionale, parzialmente esplorato in profondità nel corso delle prece-



Fig. 11 - Planimetria e reperti di pregio rinvenuti nella villa delle Terme.
- Planimetry and valuable remains found in the villa of the Terme.

denti indagini, e il settore nord.

Queste hanno permesso di individuare numerosi ambienti: uno interamente occupato da una vasca di acqua fredda (*frigidarium*) mentre tutti gli altri sono caratterizzati dalla presenza di ipocausti, sono stati inoltre scavati ambienti di servizio collegati ai forni di riscaldamento ed un corridoio, anch'esso di servizio, scavato nel banco di tufo.

E' stato accertato inoltre che gli ambienti hanno subito spoliazioni sistematiche dei rivestimenti parietali, e di tutta la decorazione architettonica ingenerale; negli ambienti riscaldati è stato asportato (in tutto o in parte) anche il pavimento e la sua preparazione, raggiungendo il fondo dell'ipocausto. In alcuni casi la pavimentazione a mosaico si è fortunatamente ben conservata.

I dati forniti dallo scavo consentono di affermare che l'edificio termale ha subito nel tempo numerose ristrutturazioni, che hanno determinato un ampliamento dell'estensione originaria e la modificazione dell'assetto di quasi tutti gli ambienti. Le principali fasi costruttive dell'edificio sono inquadrabili tra il II e gli inizi del III sec. d.C. Non lontano dall'edificio termale, sono state messe in luce una serie di sepolture. Queste, per la loro disposizione, e per la loro tipologia, caratterizzata dall'utilizzo di materiali di riutilizzo, fanno ipotizzare una cronologia compresa tra l'età tardoantica (termine ipotetico l'abbandono del vicino edificio termale, da cui verosimilmente provengono i materiali dispoglio) e l'alto medioevo. Le quattro tombe indagate sembrerebbero essere incluse in un più ampio gruppo di sepolture, dalle dimensioni non valutabili.

4. - LE CAVITÀ SOTTERRANEE E I SINKHOLES NELL'AREA DEL PARCO DI CENTOCELLE

Il nome del Parco, "Centocelle" potrebbe derivare come è stato detto anche dalla vastità delle cavità sotterranee presenti al di sotto delle ville romane, di almeno cento ambienti sotterranei che giacciono al di sotto dell'area parco (Fig. 12). Infatti la presenza di cavità sotterranee era già nota durante



Fig. 12 - Panoramica dell'area parco durante il sopralluogo del febbraio 2020.
- Overview of the park area during the field trip of February 2020.



Fig. 13 - Ubicazione, planimetrie delle cavità sotterranee al di sotto dell'area parco e fenomeni di sprofondamento (sinkholes).
- Location, floor plans of the underground cavities below the park area and sinking phenomena (sinkholes).

i lavori per la realizzazione dell'aeroporto; le ricerche archeologiche hanno dimostrato che l'area era sottoposta a coltivazione prima della realizzazione delle Ville romane, dunque in età antichissima.

Molti ambienti sotterranei sono venuti alla luce nel tempo, anche recentemente, in seguito ad eventi di sprofondamento. Tuttavia gli ambienti sotterranei non sono ancora del tutto noti e lo confermano gli avvallamenti presenti al suolo nell'area parco nonché le voragini che si sono formate negli ultimi anni nelle strade limitrofe.

4.1. - LA GALLERIA DI MUSSOLINI

Nel corso del tempo al di sotto del Parco di Centocelle sono state individuate numerose cavità sotterranee. Nel sottosuolo del parco in particolare, è

presente una galleria artificiale di circa un chilometro, in abbandono (Fig. 14), che faceva parte di una sorta di ferrovia metropolitana iniziata durante il fascismo; il progetto rimase incompiuto con lo scoppio della seconda guerra mondiale.

Tale progetto per una rete metropolitana romana fu pensato nel 1941 dalla Stefer, e la suddetta galleria avrebbe dovuto collegare il quartiere di Centocelle al centro della città.

La galleria prende il nome di "metro di Mussolini", rimasta opera incompiuta, fu poi abbandonata e dimenticata dagli stessi romani: in pochi conoscono infatti la sua esistenza.

Il percorso di questa linea metropolitana iniziava su Via Casilina all'altezza di viale Palmiro Togliatti, passava sotto l'aeroporto di Centocelle e la Banca d'Italia, incrociava la rete ferroviaria nei pressi della stazione Tuscolana per terminare a Porta Maggiore.



Fig. 14 - Imbocco della galleria di Mussolini (a sinistra) che poi fu utilizzata abusivamente dalla popolazione come discarica o fungaia (a destra).
- Entrance to the Mussolini tunnel (left) which was then used illegally by the population as a landfill or for mushroom cultivation (right).

4.2. - LE CAVE DI TUFO E POZZOLANA

Presso l'ingresso della galleria si ha accesso ad una cava di tufo litoide, che presenta ampie stanze, in cui sono evidenti i fenomeni di crollo e una discarica di mobili ed elettrodomestici (Fig. 15). Ampie gallerie sotterranee, che costituiscono una rete intricata che si estende per alcuni chilometri quadrati, a scopo di cava di pozzolana vennero individuate nell'area settentrionale del Parco. L'ingresso a tali cave è presso il fosso della metro di Mussolini ubicato nel settore nord occidentale dell'area parco.

L'impianto di cave più vasto è ubicato ad est del parcheggio del Parco. È difficile stabilire l'età di tale complesso caveale che si estende su due livelli. L'area

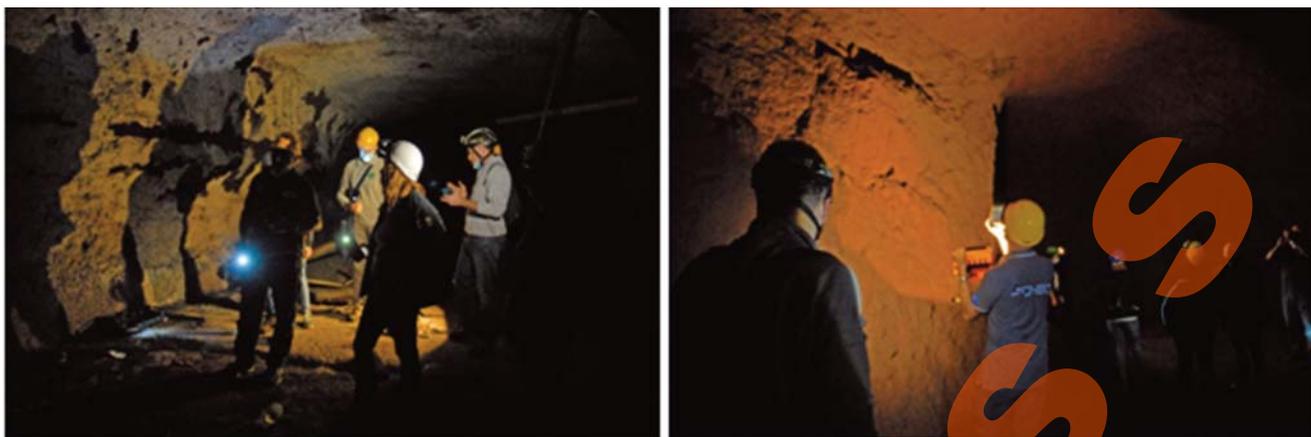


Fig. 15 - Sopralluoghi diretti in sotterraneo nell'area parco di Centocelle.
- *Underground surveys in the park area of Centocelle.*

è stata attiva almeno fino agli anni '40 in relazione alle strutture di contenimento rinvenute, e successivamente adibita abusivamente a fungaia. Tale impianto caveale, sottoposto a episodi di crollo che impediscono l'accesso in tutti i cunicoli (Fig. 16) è molto più esteso del conosciuto e riportato nella carta delle Cavità sotterranee di Roma a cura di NISIO *et alii* (2017).



Fig. 16 - Fenomeni di crollo recenti all'interno degli ipogei.
- *Recent collapse phenomena inside the hypogea.*

4.3. - IPOGEO DI VILLA CELLERE

L'ipogeo di Via Cellere (Fig. 17) è ubicato all'incrocio tra Casilina e Via della Primavera, dove una volta era presente un vivaio, successivamente un concessionario di automobili e attualmente un supermercato (Via Cellere non esiste più oggi ed ha preso il nome di via Alceste Trionfi). Si tratta di un

ipogeo privato forse legato a un latifondo, con estensione limitata e senza segni di cristianità, costituito da una larga galleria non rettilinea alle cui estremità sono presenti due piani inclinati che terminano in due scale; all'esterno di quella nord si conservano i resti del vestibolo d'accesso, a pianta quadrata e pavimentato in mosaico, datato alla prima metà del IV secolo. Nella galleria si aprono sei cubicoli e quattro gallerie cimiteriali, simmetricamente disposti. Sia la galleria principale che i cubicoli sono pavimentati a mosaico con quattro emblemi posti in corrispondenza di altrettanti incroci; l'ipogeo risulta a tutti gli effetti pagano infatti la raffigurazione di un uccello con un ramo tra le zampe non può essere conside-

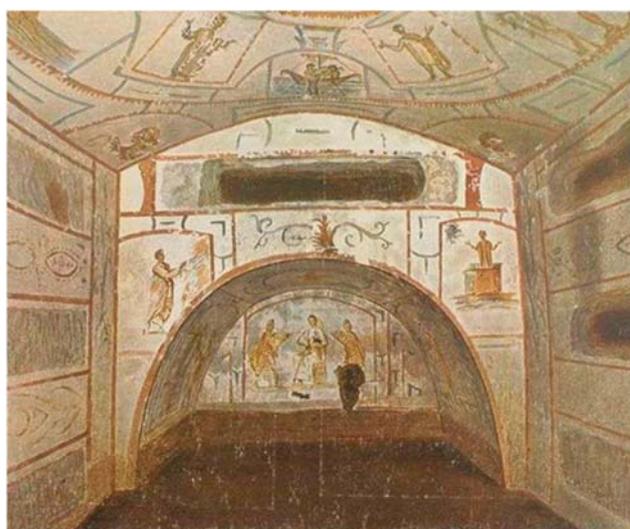


Fig. 17 - Ipogeo di Villa Cellere.
- *Hypogeum of Villa Cellere.*

rata cristiana. L'organizzazione degli ambienti ha fatto pensare alla presenza di più nuclei familiari; i loculi della galleria principale, di quelle minori e delle scale erano forse destinati a schiavi o dipendenti dei proprietari. Oltre alla data proposta dalla decorazione del vestibolo di accesso, mancano elementi utili per la cronologia del complesso.

L'ipogeo fu scoperto nel 1830 dalla famiglia Del Grande invaso dal fango e già devastato in antico; lo si ritenne allora probabilmente connesso alla catacomba dei Ss. Pietro e Marcellino (VISCONTI, 1942; MARCHI, 1844-47). Durante la seconda guerra mondiale fu utilizzato come rifugio antiaereo con conseguenti ulteriori danni. Esso fu ripristinato tra il 1974 e il 1977 e fu restaurato nel 1995, dalla Pontificia Commissione. L'ipogeo era al di sotto di una importante villa, Villa Cellere (Fig. 18), che fu distrutta dopo la seconda guerra mondiale.



Fig. 18 - Immagini di Villa Cellere dalla raccolta di Roma Sparita.
- Images of Villa Cellere from the collection of "Disappeared Rome".

Nell'ipogeo sono state riconosciute più fasi cronologiche: la più antica attribuita al II secolo d.C.; la seconda di tardo III secolo d.C.; restauri di età medievale (forse VIII sec); altri restauri di epoca più recente. La struttura ipogea è lunga quasi 30 metri (Fig. 19), presenta un orientamento nord-sud e ad essa è annessa una importante struttura della prima metà del IV sec. d.C. collegate fra loro da una rampa. Su ogni lato della galleria si aprono tre camere e altre due gallerie a quota inferiore da quella della galleria principale. Le pareti della galleria principale, non del tutto scavata, appaiono intonacate e dipinte, le gradinate sono di marmo e il pavimento con tessere a mosaico nere su bianco.

In questo sono conservati anche tre riquadri musivi policromi e altri due con riquadri geometrici. Tra le camere si trovano arcosoli, in origine decorati con intonaco dipinto, mentre nelle pareti di camere e gallerie si trovano i loculi. La struttura sepolcrale si in-

serisce nella tipologia degli "ipogei chiusi" destinati cioè ad un ristretto gruppo familiare. Non è stato possibile determinare il proprietario del complesso, date le antiche spoliazioni ma è certa la sua funzione funeraria.

4.4. - IPOGEO DEL CIVICO 768



Fig.19 - Planimetria dell'ipogeo di Villa Cellere.
- Planimetry of the hypogeum of Villa Cellere.

Al IV miglio della antica Labicana, ingresso da un precedente civico n. 768 della Casilina (che non risulta essere il civico 768 attuale), a circa 400 m dalla Catacomba dei Ss. Pietro e Marcellino è presente un altro ipogeo noto come Ipogeo di Via Casilina 768.

Questo ha un'ampiezza di circa 100 mq, ed è un sepolcro familiare di epoca costantiniana. Fu scoperto nel 1838.

Una scala conduce ad una vasta galleria riccamente decorata. Il pavimento è in marmi policromi e anche le pareti sono rivestite di marmo. Ai lati di queste si aprono 14 arcosoli, 2 gallerie e 6 cripte. Alcuni studiosi pensarono che fosse una parte di quella di Pietro e Marcellino, altri la tomba dei Ss. Coronati ed altri ancora il sepolcro di membri della famiglia imperiale. Con molta probabilità l'ipogeo non era cristiano, infatti nessun segno di cristianesimo è stato notato: solo una colomba raffigurata in un mosaico potrebbe avere un qualche significato, mentre la sepoltura nei loculi laterali delle gallerie era spesso usata, nel III e nel IV secolo, anche dai pagani.

5. - I SINKHOLES NELL'AREA PARCO

Nel 2016 ad occidente del Parco si è aperta una voragine di tre metri, esattamente in via di Centocelle 3 (Fig. 20). In seguito a tale evento 14 famiglie furono evacuate. La causa del crollo è stata attribuita alla disfunzione della rete idraulica che ha facilmente rimosso il riempimento di un pozzo di areazione del sottostante reticolo caveale. La rottura della tubazione è avvenuta in corrispondenza di uno dei pozzi verticali di areazione con profondità di circa dieci metri e diametro di un metro e cinquanta; tale pozzo, negli anni passati era stato chiuso alla base da un muro costituito da tavelloni in forati e, successivamente, colmato di terra fino in superficie. Lo sversamento di



Fig. 20 - Ubicazione del sinkhole originatosi nel 2016, presso via Centocelle 3.
- Location of the sinkhole collapse occurred at via Centocelle 3 in 2016.



Fig. 21 - Area del sinkhole - Con tratteggio le superfici in cui sono state riscontrate gallerie di cava da ROMA SOTTERRANEA (2016).
- Sinkhole prone area - Hatched areas indicate the presence of quarry tunnels from the speleological association "Roma Sotterranea" (2016).

acqua all'interno del riempimento del pozzo, ha provocato l'appesantimento del terreno di riempimento e lo sfondamento della copertura inferiore del pozzo, con il conseguente svuotamento del pozzo stesso e l'apertura della voragine.

Il condominio oggetto del sinkhole si trova su un'area al di sotto della quale è presente una vasta rete di gallerie ipogee (Fig. 21). Le attività di esplorazione in questa porzione di sottosuolo, hanno mostrato la presenza di gallerie di cava (NISIO *et alii* 2017) che si estendono senza interruzioni dal parco di Centocelle sino ad oltre i confini nord del parco di Villa de Sanctis (NISIO, 2019).

Il materiale di riempimento è caduto in basso all'interno dell'impianto caveale, determinando la voragine in superficie.

Il sinkhole aveva tre metri di diametro circa (Fig. 22) e venti di profondità si è aperta nel vialetto che collega due palazzine popolari Ater. Al di sotto delle abitazioni le gallerie hanno un'ampiezza media compresa tra i 4 e i 5 metri ed un'altezza variabile compresa tra i 3 e 4 metri. Le aree al di sotto del condominio di cui è stata realizzata una mappatura (Fig. 23), sono state quasi completamente riutilizzate come fungaie (Fig. 24) in tempi recenti e non presentano fenomeni di crollo evidente.

Gli speleologi ispezionando la cavità sotterranea si sono riconnessi all'impianto caveale conosciuto, un percorso di gallerie che conducono anche ad un ipogeo pagano (Fig. 25).

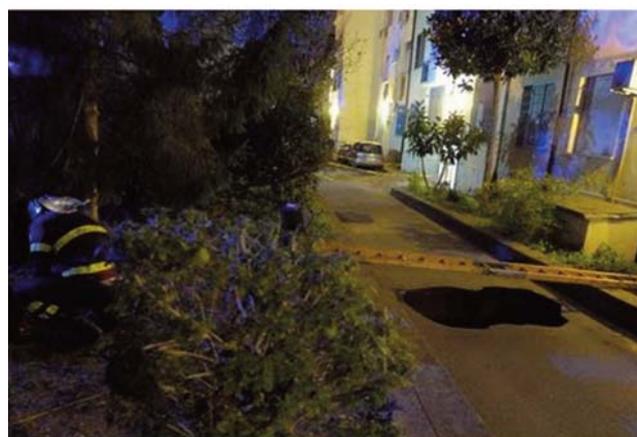


Fig. 22 - Sinkhole apertosi nel 2016 presso il vialetto condominiale di via Centocelle 3.

Fig. 22 - Sinkhole formed in 2016 at the driveway of via Centocelle 3.



Fig. 23 - Ricostruzione dell'impianto caveale al di sotto del condominio interessato dal sinkhole da ROMA SOTTERRANEA 2016.
- Reconstruction of the caveal plant below the condominium affected by the sinkhole from the speleological association ROMA SOTTERRANEA 2016.



Fig. 24 - Gallerie di cava adibite a fungaie.
- Quarry tunnels used for mushrooms cultivation.



Fig.25 - Ipogeo pagano collegato alla galleria sotto via di Centocelle.
- Pagan hypogeum connected to the tunnel below via Centocelle.

6. - LE INDAGINI GEOFISICHE NELL'AREA PARCO

La stratigrafia locale dell'area di studio comprende piroclastiti della serie vulcanica dei Colli Albani, in particolare due livelli di pozzolane di cui il superiore, comprendente il tufo di Villa Senni, mostra una consistenza variabile. Esso è separato tramite lo strato litoide ignimbrítico del Tufo lionato dal livello delle pozzolane inferiori. Sono infine pure presenti livelli di paleosuolo a bassa consistenza.

L'esplorazione speleologica, condotta nell'area prospiciente la trincea ferroviaria e quindi vicina alle aree di indagine, ha mostrato che le gallerie di cava, utilizzate per materiale di costruzione, sono state scavate nel livello delle pozzolane inferiori a buona consistenza e con spessore stimato di 10 m. Le volte delle cavità spesso interessano la base del Tufo litoide. L'indagine diretta ha anche riscontrato come la rete caveale principale si sia sviluppata su due livelli ed ha inoltre individuato tracce di cunicoli idraulici posti a profondità minori, nelle pozzolane superiori (MECCHIA & PIRO 2000). Si ritiene che le gallerie di cava siano poste mediamente a circa 13-15 m dal piano campagna (ROMA SOTTERRANEA, 2016).

Le unità litostratigrafiche presenti, le relative caratteristiche fisiche e le conoscenze pregresse circa l'estensione e la profondità media delle cavità presenti nel sottosuolo hanno suggerito di applicare come metodi di indagine geofisica quello della tomografia elettrica (ERT), integrato dove necessario dalla tomografia sismica a rifrazione (SRT). Precedenti esperienze in contesti geologicamente simili hanno infatti mostrato come tali metodologie siano risultate efficaci nella individuazione di cavità di origine antropica e/o naturale permettendo una discreta risoluzione delle anomalie e quindi una caratterizzazione più accurata (CALDARELLI *et alii*, 2010; BIANCHI FASANI *et alii*, 2011).

La scelta di associare alle tomografie elettriche quelle sismiche a rifrazione è motivata dalla necessità, ove siano presenti anomalie chiuse con alti valori di resistività, di discriminare tra anomalie elettriche dovute a corpi geologici più consistenti del contesto ed anomalie legate invece ai vuoti (CALDARELLI *et alii*,

2010). Infatti le velocità delle onde P nel primo caso saranno più elevate di quelle del terreno circostante mentre nel caso di vuoti saranno minori dato lo stato di detensionamento che in genere si viene a creare sulle pareti della cavità e che provoca spesso con il tempo crolli di varia entità.

Per poter tarare al meglio le indagini è stato deciso di effettuare un primo rilievo su un'area dove era nota l'esistenza di cavità (area 1 in Fig. 26), mentre in una seconda fase su un'area inesplorata (area 2 in Fig. 25). La scelta dei siti specifici è stata basata sulle mappe delle cavità esistenti (NISIO *et alii*, 2017) e sulla logistica. Quest'ultimo aspetto si è rivelato decisivo nella scelta delle aree di investigazione, in particolare per la presenza diffusa di accumuli di rifiuti di varia natura e dimensioni e vegetazione arbustiva che non è stato possibile rimuovere se non in minima parte con piccole operazioni di pulizia durante i rilievi.



Fig. 26 - Ubicazione indagini. In azzurro: rete caveale da Nisio et al. 2017; 1: indagine geofisica ERT su area con cavità note; 2: indagine ERT 3D su area inesplorata; in rosso le linee ERT acquisite.

- Location of investigations. In blue: caveal network from Nisio et al. 2017; 1: ERT geophysical survey (ERT) on area with known cavities; 2: 3D ERT survey on unexplored area; in red the acquired ERT lines.

I profili 2D orientati OSO-ENE (profilo L1, L2 e L3) sono stati materializzati utilizzando 72 elettrodi con passo 3 metri per complessivi 213 ml di lunghezza ciascuno. Due ulteriori profili, ortogonali ai precedenti (TR1 e TR2 orientati NNO-SSE) sono stati invece materializzati utilizzando 48 elettrodi distanziati di 2 metri (94 ml ciascuno). Le misure quadripolari sono state acquisite in configurazione Polo-Dipolo lungo tutti i profili, inoltre per i profili

L1 e L2 si sono utilizzate configurazioni Dipolo-Dipolo e Wenner-Schlumberger. I modelli di resistività finali adottati per la caratterizzazione del sottosuolo sono stati ottenuti a seguito di processamento con software ProsysII e successiva predisposizione dei dati alla inversione 2D in ambiente Res2DInv. I modelli tomografici ottenuti sono risultati tutti di buona qualità, corredati da un basso valore di errore associato (RMS sempre inferiore a 4.5% dopo 4 iterazioni) e tra loro congruenti. Le poche informazioni geologiche riguardanti il sottosuolo sono state utilizzate durante la fase di interpretazione dei modelli 2D, caratterizzati tutti in prevalenza da passaggi di resistività ad andamento sub-orizzontale che ricalcano l'assetto stratigrafico della sequenza piroclastica locale.

Due allineamenti di anomalie sono stati identificati sulle immagini tomografiche dei profili L1, L2 e L3. Essendo connotate da resistività medio-alta (da oltre 200 Wm fino a circa 600 Wm) e da sezione pseudo-circolare, sono state investigate mediante due profili trasversali TR1 e TR2 anche se poste a profondità molto inferiori a quelle della rete caveale conosciuta. In figura 26 viene riportato un esempio dei modelli tomografici ottenuti lungo le linee 2D con riferimento alla linea L1 (i risultati ottenuti lungo le altre linee sono assolutamente analoghi, Fig. 27).

Si rimarca peraltro la totale assenza di anomalie certe dovute a cavità entro i primi 20 metri dal piano

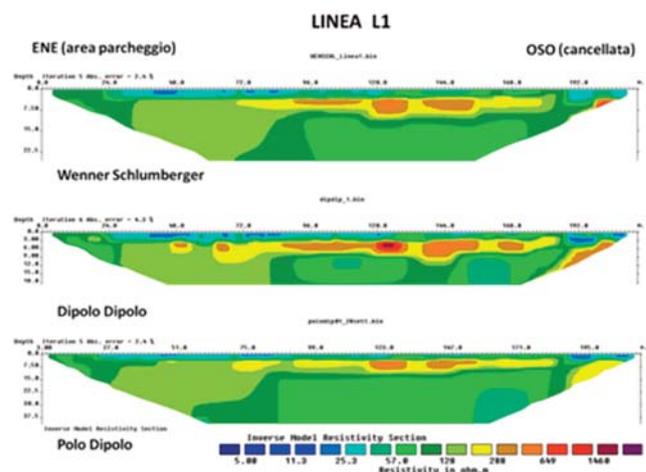


Fig. 27 - Indagini ERT 2D al di sopra di rete caveale nota (Area 1 di figura 25). Esempio dei risultati ottenuti per la linea L1 con i tre dispositivi di misura utilizzati.

- 2D ERT surveys above known caveal network (Area 1 of figure 25). Example of the results obtained for the L1 line with the three measuring devices used.

campagna, anche a quote corrispondenti alla rete caveale nota e georiferita.

Il rilievo geoelettrico 3D è stato realizzato all'interno di un'area al di sotto della quale la rete caveale non è stata cartografata, ma la diffusa presenza di ramificazioni poste lungo il perimetro dell'area stessa ne fanno presupporre la presenza. Per la copertura 3D di questo settore sono stati utilizzati complessivamente 144 elettrodi disposti lungo una griglia a maglia rettangolare $X=3m$, $Y=6$ metri. Sono state realizzate circa 9400 misure in configurazione quadripolare Polo-Dipolo, tale scelta ha consentito di ottenere una profondità di investigazione sufficiente a caratterizzare il sottosuolo fino a profondità corrispondenti a quelle della rete caveale conosciuta (8-10m circa). Il processamento (check di qualità delle misure, rimozione outliers, modellazione mesh 3D, stima del noise associato alle misure, inversione dati) è avvenuto in ambiente ERTLab3D. Il dato da rimarcare è sicuramente la presenza di una anomalia 3D caratterizzata da valori di resistività apparente entro il range $200\div 600$ Wm (lettera B nelle Figg.28 e 29) del tutto analoghi a quanto segnalato in Car-

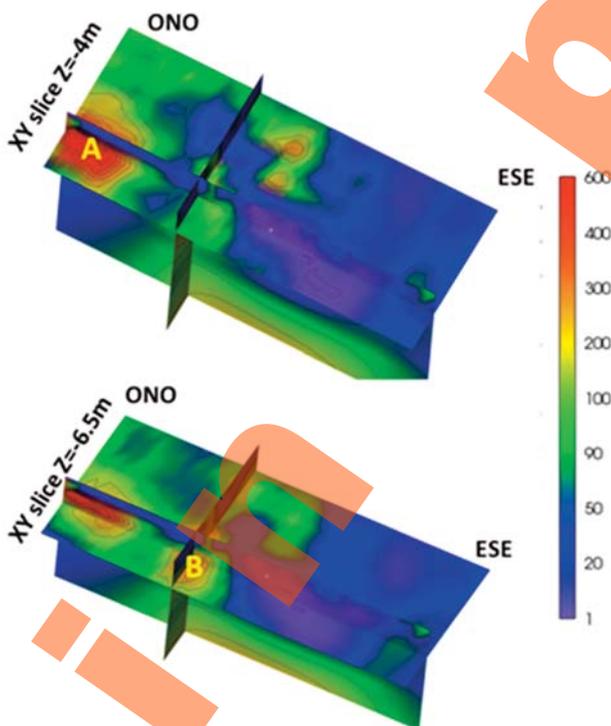


Fig. 28 - Area 2 investigata in modalità 3D. Le lettere A e B indicano le due aree di anomalia resistiva descritte nel testo.

- Area 2 investigated in 3D mode. The letters A and B indicate the two areas of resistive anomaly described in the text.

darelli et al. 2010 per cavità di analoghe dimensioni entro terreni piroclastici a breve distanza dall'area di studio. Il massimo dell'anomalia è stato individuato a circa -6.5 m dal piano campagna attuale, la forma 3D dell'anomalia suggerisce che ci si trovi in presenza di un tratto di cunicolo orientato pressappoco NS. Un'ulteriore anomalia sulla quale è stata concentrata l'attenzione è quella individuata con la lettera A nelle figure 28 e 29: essa presenta valori di resistività del tutto analoghi alla precedente e con una porzione di reticolo già rilevato lungo il perimetro ovest dell'Area 2 di figura 26.

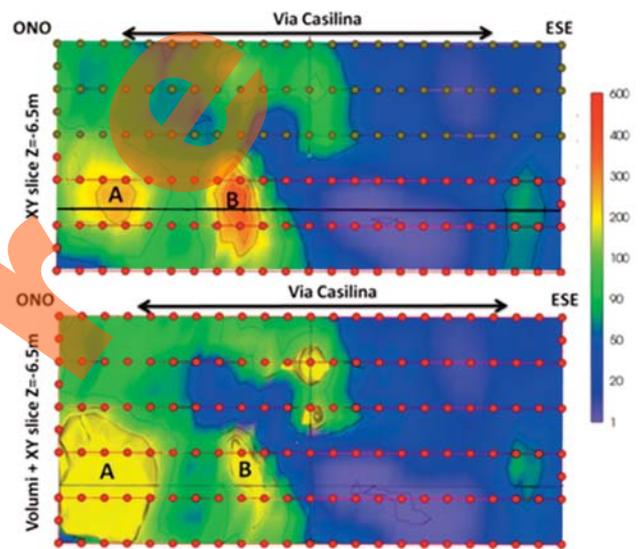


Fig. 29 - Area 2 investigata in modalità 3D. L'immagine in alto rappresenta la XY slice da modello 3D alla profondità di -6.5 metri dal p.c., nell'immagine in basso è stata associata alla stessa XY slice la rappresentazione dei volumi con resistività apparente $> 200\Omega m$.

- Area 2 investigated in 3D mode. The image at the top represents the XY slice from 3D model to the depth of -6.5 meters from p.c., in the image at the bottom was associated with the same XY slice the representation of volumes with apparent resistivity $> 200\Omega m$.

6.1. - INDAGINE SRT

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione della tomografia sismica a rifrazione (SRT) è composta da due sismografi Geometrics Geode a 24 canali, (A/D 24bit), e da geofoni verticali a 4,5 e/o 10 Hz, l'energizzazione è stata effettuata tramite martello strumentato da 8 kg. Il software di elaborazione utilizzato è stato Rayfract della Intelligent Resources Inc.

L'indagine SRT è consistita nella esecuzione di 2 profili: il primo è stato posizionato in coincidenza con la parte del profilo ERT 1 che ha mostrato la presenza

nel sottosuolo di anomalie resistive di interesse. Il secondo è stato acquisito sull'area di esecuzione delle misure ERT 3D in modo da intercettare le anomalie resistive individuate (A e B descritte nel paragrafo precedente). La acquisizione ha risentito della relativa vicinanza dell'intenso traffico stradale presente lungo la via Casilina per cui è stato necessario effettuare un filtraggio dei segnali in fase di elaborazione al fine di permettere un buon picking dei primi arrivi.

Il profilo SRT1 è composto da 48 sensori con distanza intergeofonica di 2m per una lunghezza totale

di 94 m. L'acquisizione tomografica è stata ottenuta tramite 32 punti di energizzazione. La sezione di V_p ottenuta con l'inversione tomografica è mostrata in figura 30 mentre in figura 31 viene illustrata la densità di copertura dei raggi sismici per lo stesso profilo.

L'elemento di maggiore interesse della sezione sismica è posizionato a profondità comprese tra i 4 ed 8 m dal p.c. dove è individuata una zona a minore V_p (tra i 500 ed i 700 m/s) con decremento più significativo tra le progressive 30 ed 80 m. Questa zona a bassa V_p coincide bene con la zona di ano-

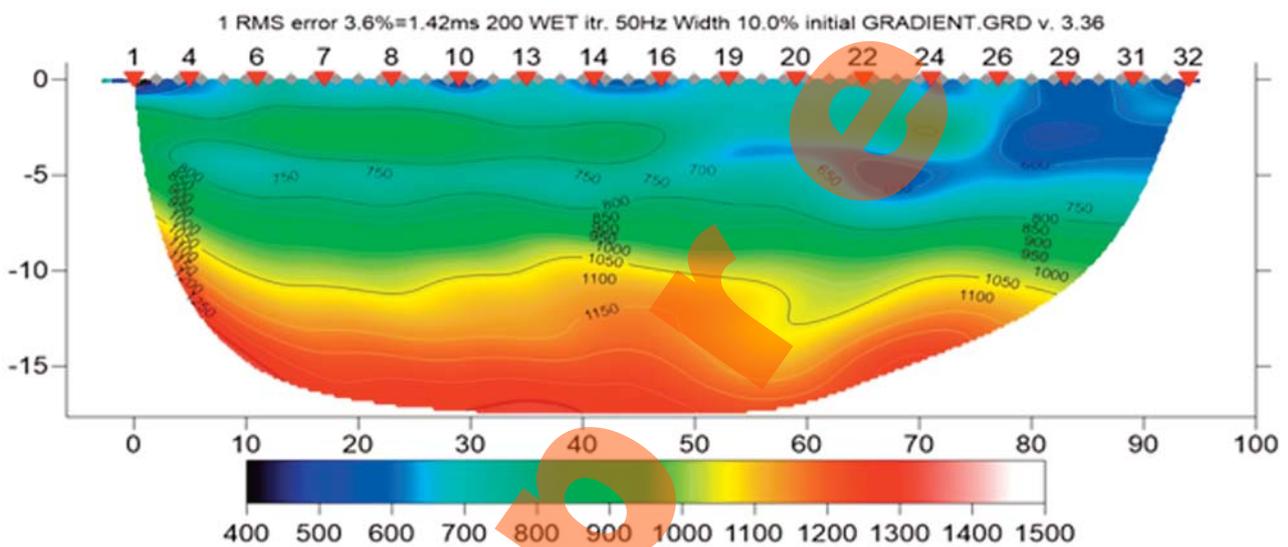


Fig. 30 - Sezione di velocità lungo il profilo SRT1.
- Speed section along the SRT1 profile.

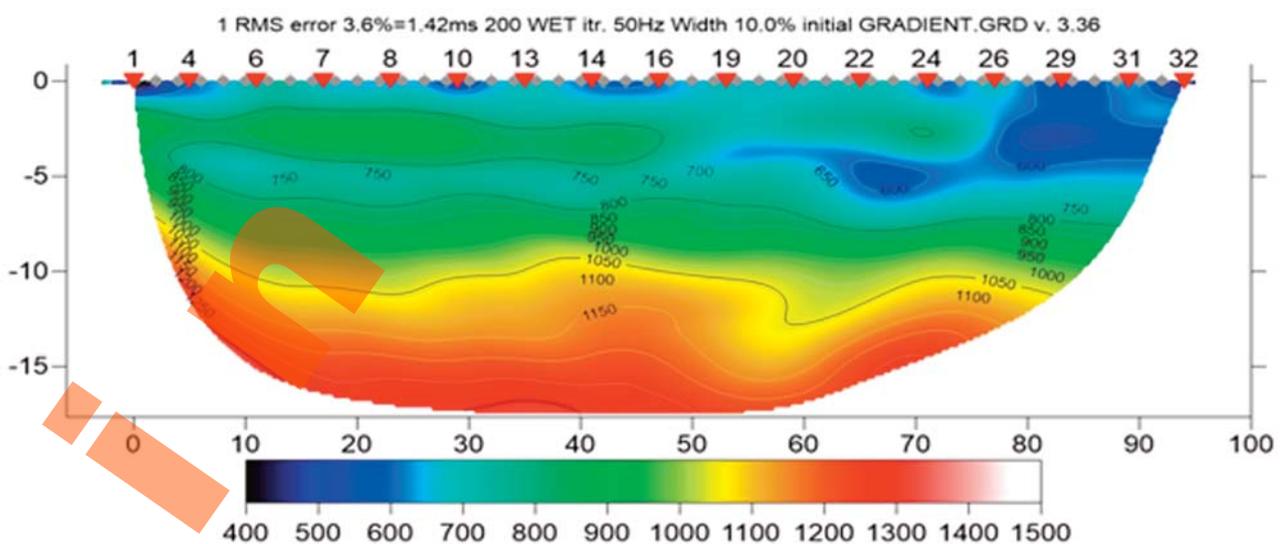


Fig. 31- sezione della copertura dei raggi sismici del profilo SRT1.
- Seismic ray-path density section for the SRT1 profile.

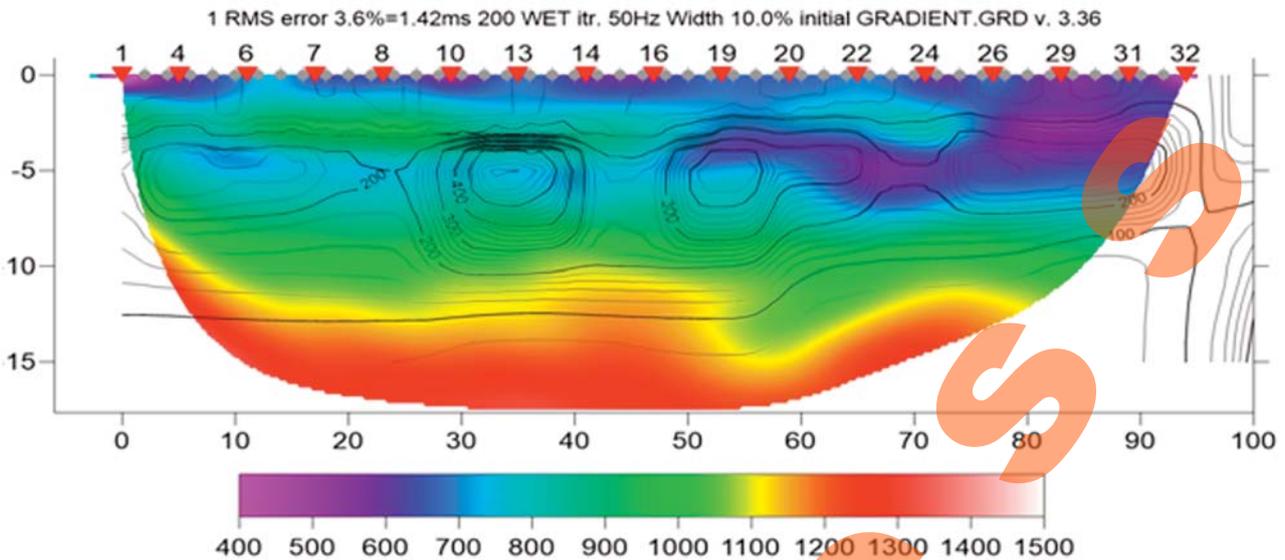


Fig. 32 - confronto tra la sezione di V_p (aree in colore, valori in m/s) e le iso-resistive da modello 2D da misure Polo-Dipolo (curve di livello in nero, valori in ohm/m).
- Comparison of V_p section (colour areas, m/s values) and 2D resistivity model derived from Polo-Dipole measurements (thin black curves, values in ohm/m).

malie resistive individuate dalla ERT L1 (Fig. 32). Tali anomalie come già sottolineato sono poste a profondità minori di quelle attese per la rete caveale. Una interpretazione possibile di queste anomalie a medio-bassa velocità e medio-alta resistività potrebbe essere la presenza di accumuli di materiale inerte incoerente di origine antropica. Non è però

da escludere la presenza di una zona discontinua di vuoti forse legata a tratti crollati di cavità più recenti, ipotesi suggerita dalla forma squadrata delle iso-resistive, oppure dovuta alla migrazione verso l'alto del reticolo caveale per progressivo crollo della volta, fenomeno già riscontrato in aree della città di Roma con simile colonna stratigrafica. L'unico debole in-

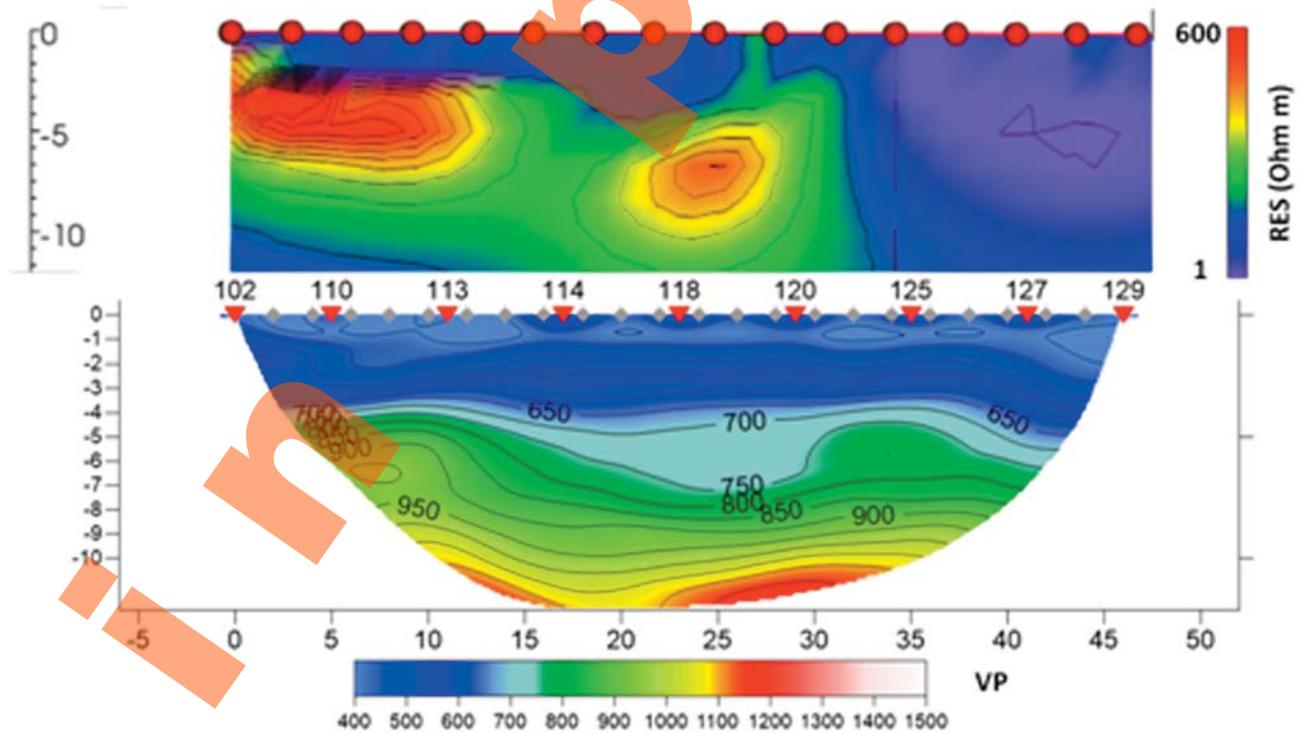


Fig. 33 - Confronto tra sezione elettrica e sismica nell'area del rilievo ERT 3D.
- Comparison of electrical and seismic section in the ERT 3D survey area.

dizio di possibile cavità alle profondità attese (circa 12 m dal p.c.) potrebbe essere la leggera diminuzione di V_p presente tra le progressive 50 e 70 m che potrebbe indicare una zona di allentamento legata alla volta di una cavità.

Il profilo SRT2 è stato acquisito nell'area del rilievo ERT 3D il giorno 23/10/2020 ed è composto da 24 sensori con distanza intergeofonica di 2m per una lunghezza totale di 46 m. L'acquisizione tomografica è stata ottenuta tramite 9 punti di energizzazione.

In figura 33 viene confrontato il risultato della inversione tomografica delle V_p (in basso) con la corrispondente slice verticale di resistività (in alto).

In questo caso la SRT non mostra alcun decremento di V_p in corrispondenza della anomalia resistiva A, al contrario le velocità aumentano in modo repentino suggerendo per l'anomalia A una origine geologica (es. orizzonte piroclastico pseudo-cementato) mentre si nota una diminuzione laterale di V_p in una posizione e profondità comparabili con la anomalia resistiva B, che quindi potrebbe essere interpretata come una possibile cavità. In figura 34 viene presentata la sezione con la densità di copertura dei raggi sismici per questo profilo.

Nell'area 2 con cavità non cartografate (Fig. 26) le tecniche adottate (rilievo ERT 3D e sismica) sono risultate efficaci nel delineare la presenza di almeno un segmento di possibile rete caveale sebbene anche qui la profondità dello stesso risulti ampiamente inferiore a quanto noto.

L'applicazione congiunta dei due metodi ha co-

munque permesso di discriminare quale delle due anomalie resistive individuate possa rappresentare effettivamente una cavità.

7. - ANALISI GAS DEL SUOLO

A seguito del sopralluogo del 9 giugno 2020 nelle cavità sotterranee presenti nel Parco di Centocelle, è stato elaborato un piano di indagini geochimiche di superficie (prospezione dei gas nel suolo) al fine di valutare l'influenza della presenza di cavità sotterranee sulle concentrazioni nel suolo di alcune specie gassose quali il radon (^{222}Rn), il thoron (^{220}Rn) e l'anidride carbonica (CO_2).

Il prelievo dei campioni di gas nel suolo è effettuato utilizzando una tecnica proposta negli anni '70 dall'U.S. Geological Survey del Colorado (ROBERTS, 1981; BRADY & RICE, 1977) e ampiamente riportata nella letteratura nazionale e internazionale (CIOTOLI *et alii*, 2016, 2014, 2007; LOMBARDI *et alii*, 2006, 1990; GIUSTINI *et alii*, 2019). Il campionamento dei gas nel suolo è stato effettuato in corrispondenza dell'area di indagine geofisica 1 dove i dati disponibili riportano presenza di cavità nel sottosuolo (Fig. 35). Sono stati prelevati 55 campioni di gas dal suolo in un'area di circa 6000 mq (distanza media circa 10m) secondo lo schema riportato in figura 34. I dati rilevati hanno riguardato la misura delle concentrazioni di ^{222}Rn e ^{220}Rn , e di CO_2 , O_2 , CH_4 , H_2S e H_2 . La tabella 1 riporta i principali parametri statistici relativi alle misure di ^{222}Rn , ^{220}Rn , CO_2 ,

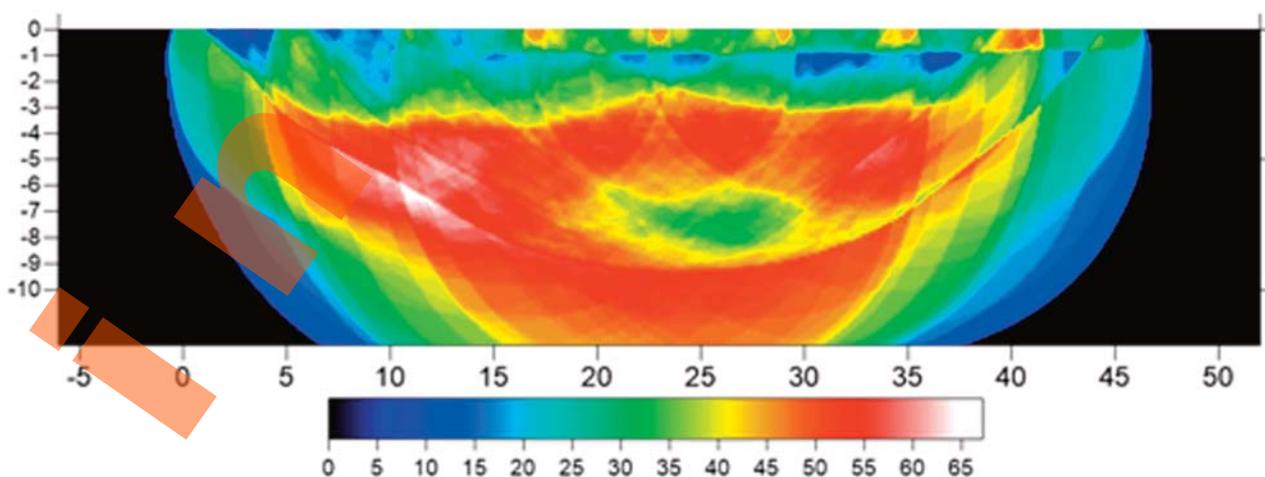


Fig. 34 - sezione della copertura dei raggi sismici del profilo SRT2.

- Section of seismic radiation cover of the SRT2 profile.



Fig. 35 - Ubicazione dei punti di misura dei gas nel suolo nell'area del Parco di Centocelle (Roma sud-est).

- Location of the gas measurement points in the soil in the area of Centocelle Park (south-east Rome).

O₂ e H₂. Non è stata rilevata la presenza di CH₄ e H₂S.

I dati evidenziano valori medi di radon (²²²Rn) e thoron (²²⁰Rn) molto elevati. Tali valori sono tipici delle pozzolane che presentano un contenuto in radionuclidi tra i più alti nell'ambito dei materiali vulcanici da costruzione, insieme anche ad un elevato

tasso di esalazione di toron (Tab. 2).

Ossigeno (O₂) e anidride carbonica (CO₂) mostrano concentrazioni tipiche della normale attività biologica del suolo, con i valori più elevati (>2%) localizzati nella parte orientale del transetto. Ulteriori analisi sono necessarie per spiegare i valori elevati di idrogeno (H₂), visto che la concentrazione media di questo gas nell'aria che permea i pori del suolo è pari a 0.5 ppmv.

La figura 36 a-d mostra gli istogrammi di frequenza di ²²²Rn, ²²⁰Rn, CO₂ e H₂. Nonostante, in generale, i due isotopi hanno una distribuzione statistica di tipo log-normale, in questo caso, il valore di p del test di normalità conferma una distribuzione Gaussiana (o quasi) per entrambe le specie gassose, normalità probabilmente legata alla omogeneità dell'area dal punto di vista litologico. Questa caratteristica è confermata da valori della deviazione standard molto più bassi della media. Al contrario, gli istogrammi di CO₂ (c) e H₂ (d) mostrano entrambi una distribuzione asimmetrica positiva approssimabile con una

Tab. 1 - Principali parametri statistici delle concentrazioni dei gas rilevati
- Main statistical parameters of the measured gas concentrations.

	N	Mean	Mean CI -95%	Mean CI +95%	GM	Min	Max	LQ	UQ	Std.Dev.
²²² Rn	55	231.6	212.0	251.2	216.5	39.0	371.0	177.0	292.0	72.5
²²⁰ Rn	55	247.4	228.0	266.8	237.7	121.0	471.0	202.0	283.0	71.8
CO ₂ (vol.)	55	1.5	1.4	1.7	1.4	0.8	4.2	1.1	1.8	0.7
O ₂ (vol.)	55	18.2	17.8	18.6	18.1	11.8	20.1	17.8	19.2	1.5
H ₂	33	90.5	61.1	119.8	55.2	10.0	300.0	20.0	110.0	82.8
Umidità	54	8.6	7.4	9.9	7.8	4.0	21.0	5.0	10.0	4.4

Tab. 2 - Contenuto in radionuclidi (Ra, Th e K) e tasso di esalazione di radon e thoron dei materiali vulcanici presenti nell'area del Parco di Centocelle. In corsivo è riportato il valore medio e tra parentesi il range di variabilità.

- Radionuclide content (Ra, Th and K) and radon and thoron exhalation rate of volcanic materials present in the Centocelle Park area. In italics the mean value is reported and in brackets the range of variability.

	N	Mean	Mean CI -95%	Mean CI +95%	GM
²²² Rn (kBq m ⁻³)	55	231.6	212.0	251.2	216.5
²²⁰ Rn (kBq m ⁻³)	55	247.4	228.0	266.8	237.7

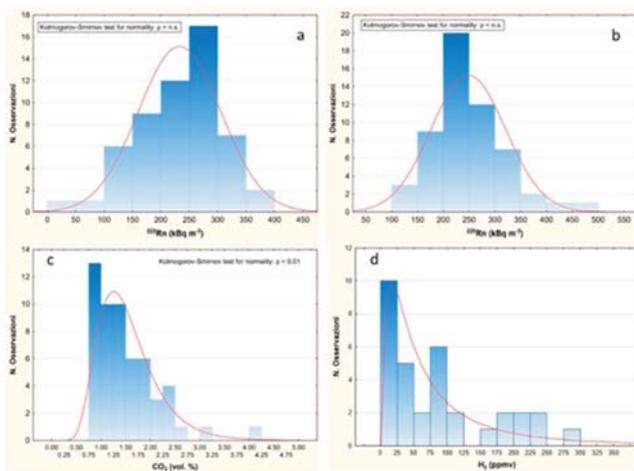


Fig. 36 - Istogrammi di frequenza delle concentrazioni di ^{222}Rn , ^{220}Rn , CO_2 e H_2 .
- Frequency histograms of ^{222}Rn , ^{220}Rn , CO_2 e H_2 concentrations.

funzione di probabilità di tipo log-normale.

La figura 37 a-d mostra i grafici di probabilità cumulata elaborati sia per confermare il tipo di distribuzione statistica sia per evidenziare la soglia di anomalia statistica, dato utile la rappresentazione delle concentrazioni nelle mappe a classi di colore (SINCLAIR, 1991).

La figura 38 a-d mostra le mappe a classi di colori delle concentrazioni di ^{222}Rn , ^{220}Rn , H_2 e CO_2 . Per le mappe di H_2 e CO_2 , le classi sono state distinte utilizzando i valori soglia identificati nei grafici di pro-

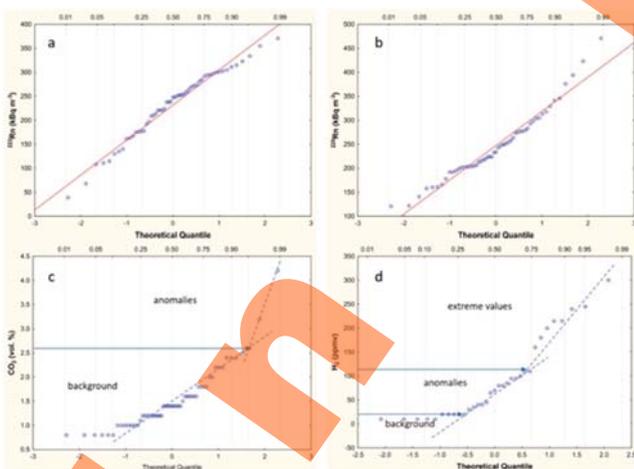


Fig. 37 - Normal Probability Plots delle concentrazioni di ^{222}Rn (a), ^{220}Rn (b), CO_2 (c) e H_2 (d). I grafici di CO_2 e H_2 mostrano la presenza di più popolazioni statistiche (separate da valori di soglia) evidenziate dal cambiamento di pendenza nella distribuzione delle osservazioni.

- Normal Probability Plots of concentrations of ^{222}Rn (a), ^{220}Rn (b), CO_2 (c) e H_2 (d). CO_2 and H_2 graphs show the presence of more statistical populations (separated by threshold values) evidenced by the change in the distribution of observations.

babilità cumulata. Poiché gli NPP elaborati per il ^{222}Rn , ^{220}Rn non mostrano deviazioni nella distribuzione dei punti sul grafico, in questo caso si è optato di dividere le osservazioni in due classi i cui limiti sono stati ottenuti applicando la suddivisione in intervalli secondo i natural breaks (Jenks Algorithm, Jenks, 1967). Questa tecnica identifica le interruzioni naturali della distribuzione statistica dei valori in modo da raggruppare valori simili e massimizzare le differenze fra classi.

Le mappe del radon e del toron (Fig. 37) mostrano entrambe una distribuzione dei valori più elevati in corrispondenza delle gallerie della rete caveale rinvenuta nel sottosuolo. In particolare, i valori di radon elevati sono localizzati per la maggior parte in corrispondenza delle gallerie trasversali (quelle più corte e di raccordo), mentre il thoron è soprattutto distribuito lungo la galleria longitudinale al bordo settentrionale del transetto. Al fine confermare la relazione tra radon e thoron con la presenza di una rete di gallerie nel sottosuolo, è stato pianificato di estendere il campionamento in direzione E-W, fino a coprire tutta l'area interessata dalla rete caveale, e verso sud per valutare il comportamento di queste specie gassose laddove non si conosce la presenza di cavità. Inoltre, i dati di radon e thoron saranno confrontati con i dati della morfologia delle cavità, in particolare con gli spessori e la presenza di zone fratturate della volta, come riportato in Lucchetti, 2014. Una volta completato il campionamento, si procederà a confrontare i dati geochimici con quelli geofisici per valutare l'eventuale sinergia tra le due tecniche.



Fig. 38 - Mappe a classi di colori delle concentrazioni di ^{222}Rn (a), ^{220}Rn (b), CO_2 (c) e H_2 (d).

- Colour class maps of ^{222}Rn (a), ^{220}Rn (b), CO_2 (c) e H_2 (d) concentrations.

8. - CONCLUSIONI

Il Parco di Centocelle, il cui nome deriva dal latino *Centum Cellae* ovvero *Cento stanze*, ubicato nel territorio del V Municipio, è caratterizzato dalla presenza di importanti resti archeologici (tre ville di epoca romana) e da imponenti sistemi di cavità sotterranee (NISIO, 2010, 2017, 2019; CIOTOLI *et alii*, 2013, 2015, 2016 a, b; COMERCI *et alii* 2015; BISCANTI *et alii*, 2018). Il nome, infatti, potrebbe anche essere stato attribuito al territorio per la vastità di tali ipogei. Per tali motivazioni l'area Parco è stata scelta quale area di studio per il Progetto Moscas (finanziato dal MATTM), ancora in corso, di cui tale nota ha riportato i primi risultati.

Gli ambienti ipogei ivi presenti sono connessi all'attività estrattiva delle piroclastiti che si è protratta nell'area dall'epoca romana sino al novecento, probabilmente sino al raggiungimento della falda (BERSANI *et alii*, 2018). Ulteriori ambienti ipogei vennero realizzati a scopo di culto, e tra questi l'ipogeo di Villa Cellere e l'ipogeo di Via Casilina 768, quest'ultimo non ancora rinvenuto. Ulteriori cimiteri cristiani (Catacombe di Pietro e Marcellino) e necropoli sotterranee erano presenti nell'area. Nel novecento fu realizzata una galleria (*Galleria di Mussolini*) che doveva collegare il parco con Porta Maggiore ma rimase incompiuta.

La presenza di cavità sotterranee nascoste al di sotto del territorio era già nota durante i lavori per la realizzazione dell'aeroporto omonimo, le ricerche archeologiche, inoltre, hanno dimostrato che l'area era sottoposta a coltivazione prima della realizzazione delle ville romane ivi ubicate, dunque in età antichissima.

Alcuni ambienti sotterranei sono venuti alla luce, anche recentemente, in seguito ad eventi di sprofondamento. Il primo evento del 2016 ha messo in evidenza una galleria che da Via di Centocelle lambisce il parco arriva ad un ipogeo pagano; a gennaio una seconda voragine ha messo in evidenza un impianto caveale che da Tor de Sciavi arriva sino a sotto la Casilina.

Al fine di accertare la presenza di ulteriori cavità sotterranee sono state applicate due metodologie geofisiche, la tomografia elettrica e la tomografia sismica a rifrazione su due aree di indagine. Le indagini

eseguite hanno rilevato valori di resistività elettrica e di velocità sismica delle onde P del tutto analoghi a quanto riportato in letteratura per tali terreni.

Le due aree di indagine hanno presentato alcune problematiche tipiche dell'ambiente urbano quali un elevato rumore sismico dovuto all'intenso traffico veicolare ed una elevata caricabilità dei terreni superficiali legata a vari inquinanti diffusi nel terreno.

Per quanto riguarda i risultati, nell'area scelta come area di "taratura", i modelli geofisici ottenuti non consentono di confermare la presenza della rete caveale così come cartografata, nonostante la lunghezza delle 3 linee ERT orientate NNO-SSE sia stata più che adeguata per un target profondo 15 m dal p.c. Sono state individuate alcune anomalie con geometria compatibile con quella di una presunta cavità/rete caveale a profondità molto inferiore a quanto previsto. I dati a disposizione non consentono quindi di affermare che si tratti delle note gallerie di cava; le ipotesi interpretative più probabili potrebbero essere la presenza di cunicoli secondari, accumuli di materiale incoerente di origine antropica oppure la migrazione verso l'alto del reticolo caveale originario per progressivo crollo della volta.

Le analisi dei gas del suolo (radon e toron) mostrano entrambe una distribuzione dei valori più elevati in corrispondenza delle gallerie della rete caveale rinvenuta nel sottosuolo. In particolare, i valori di radon elevati sono localizzati per la maggior parte in corrispondenza delle gallerie trasversali (quelle più corte e di raccordo), mentre il thoron è soprattutto distribuito lungo la galleria longitudinale al bordo settentrionale del transetto.

Gli ambienti sotterranei nascosti sotto l'area parco non sono ancora del tutto noti, è ipotizzabile che l'area della Casilina sia interessata da altri cunicoli e gallerie che vengono confermati dagli avvallamenti al suolo nell'area parco nonché dai sinkholes registrati nel tempo nelle strade limitrofe.

BIBLIOGRAFIA

- BERSANI P., NISIO S. & PIZZINO L. (2018) - *La presenza di acque nelle cavità sotterranee di Roma*. SIGEA - Soc. It. di Geol. Amb., Geologia dell'Ambiente 4.
- BIANCHI FASANI G., BOZZANO F. & CERCATO M. (2011) - *The*

- underground cavity network of south-eastern Rome (Italy): An evolutionary geological model oriented to hazard assessment* - Bull Eng Geol Environ.
- BISCONTI F., CIOTOLI G., FERRI G., FIORE R., LANZINI M., NISIO S., PAOLUCCI R., ROMA M., STRANIERI I., SUCCHIARELLI C. & ALLEVI M. (2018) - *Primo contributo alla realizzazione della carta delle cavità sotterranee di Roma*. SIGEA - Soc. It. di Geol. Amb., *Geologia dell'Ambiente* 4, 15-22.
- BRADY B.T. & RICE R.S. (1977) - *Helium determinations as an exploration technique at the Ambrosia Lake uranium district, McKinley Country, New Mexico*. Open File Report 77-699, U.S. Geological Survey, Denver, Col.
- BUTLER D.K. (1984) - *Microgravimetric and gravity gradient techniques for detection of subsurface cavities* - *Geophysics*, 49 -7.
- CARDARELLI E., CERCATO M., CERRETO A. & DI FILIPPO G. (2010) - *Electrical Resistivity and Seismic Refraction Tomography to Detect Buried Cavities* - *Geophysical Prospecting*.
- CIOTOLI G., ETIOPE G., MARRA F., FLORINDO F., GIRAUDI C. & RUGGIERO L. (2016) - *Tiber delta CO₂-CH₄ degassing: A possible hybrid, tectonically active Sediment Hosted Geothermal System near Rome*. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121, doi:10.1002/2015JB012557.
- CIOTOLI G., BIGI S., TARTARELLO C., SACCO P., LOMBARDI S., ASCIONE A. & MAZZOLI S. (2014) - *Soil gas distribution in the main coseismic surface rupture zone of the 1980, Ms = 6.9, Irpinia earthquake (southern Italy)*, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 119, 2440-2461, doi:10.1002/2013JB010508.
- CIOTOLI G., CORAZZA A., FINOIA M.G., NISIO S. & SUCCHIARELLI C. (2013) - *Gli sprofondamenti antropogenici nell'aria urbana di Roma*. *Mem. Descr. Carta Geol. d'It.* 93, 143-182.
- CIOTOLI G., LOMBARDI S. & ANNUNZIATELLIS A. (2007) - *Geo-statistical analysis of soil gas data in a high seismic intermontane basin: Fucino Plain, central Italy*. *J. Geophys. Res.* 112, B05407.
- CIOTOLI G., NISIO S. & AMANTI M. (2016A) - *La Suscettibilità di Roma ai sinkholes antropogenici*. professione Geologo, Ordine Geologi del Lazio.
- CIOTOLI G., NISIO S. & SERAFINI R. (2015) - *Carta di suscettibilità ai sinkholes antropogenici nel centro urbano di Roma: analisi previsionale*. (2015) *Mem. Descr. Carta Geol. d'It.* 99, allegato.
- CIOTOLI G., NISIO S. & SERAFINI R. (2016 B) - *Analisi della suscettibilità ai sinkholes antropogenici nel centro urbano di Roma: analisi previsionale*. (2015) *Mem. Descr. Carta Geol. d'It.* 99, 167-188.
- COMERCI V., VITTORI E., CIPOLLONI C., DI MANNA P., GUERRIERI L., NISIO S., SUCCHIARELLI C., CIUFFREDA M. & BERTOLETTI E. (2015) - *Geohazards monitoring in Rome from inSar and in-situ data: outcomes of the Pangeo project*. *Pure and Applied Geophysics*, DOI 10.1007/s00024-015-1066-1.
- GIUSTINI F., CIOTOLI G., RINALDINI A., RUGGIERO L. & VOLTAGGIO M. (2019) - *Mapping the geogenic radon potential and radon risk by using Empirical Bayesian Kriging regression: A case study from a volcanic area of central Italy*. *Science of total Environment*, 661, 449-464.
- HAKL J., CSIGE I. & HUNYADI I. (1996) - *Radon transport in fractured porous media - experimental study in caves*. *Environmental International* vol. 22, suppl. 1, s433-s437.
- JENKS G.F. (1967) - *The Data Model Concept in Statistical Mapping*, *International Yearbook of Cartography* 7, 186-190.
- LOMBARDI S. & REIMER G.M. (1990) - *Radon and helium in soil gases in the Phlegraean Fields, central Italy*. *Geophys. Res. Lett.* 17(6), 849-852.
- LOMBARDI S., ANNUZIATELLIS A., BEAUBIEN S.E. & CIOTOLI G. (2006) - *Near-surface gas geochemistry techniques to assess and monitor CO₂ geological sequestration sites*. *Advances in the Geological Storage of Carbon Dioxide*, NATO Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences, 2006, Vol 65, PART III, 141-156.
- LUCCHETTI (2014) - *Valutazione dell'influenza di cavità sotterranee e campi di fratturazione sulle concentrazioni di radon e thoron nel suolo in aree idrotermali e perivolcaniche della Regione Lazio*. Tesi Dottorato XXVI ciclo.
- MCDONALD R. & DAVIES R. (2000) - *Integrated geophysical surveys applied to karstic studies*. *First Break* 21, 32-35, 2003.
- MECCHIA G. & PIRO M. (2000) - *Le cave di Centocelle (Roma)* - Opera Ipogea, n.1.
- NISIO S. (2010) - *Fenomeni di sprofondamento in alcuni centri urbani*. *Atti 2° Workshop internazionale: I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato*. Roma 3-4 dicembre 2009. ISPRA, 845-864.
- NISIO S. (2017) - *Aree soggette ai sinkholes* - ISPRA *Annuario dei dati Ambientali 2017; Pericolosità Geologiche*, 84-90.
- NISIO S., ALLEVI A., CIOTOLI G., FERRI G., FIORE R., PASCUCCI R., STRANIERI I. & SUCCHIARELLI C., (2017) - *Carta delle Cavità sotterranee di Roma*. Pubblicazione on line ISPRA.
- NISIO S. (2019) - *La Carta delle cavità Antropogeniche di Roma Capitale*. *Quaderno Ordine degli ingegneri di Roma*, pp. 20-31.
- ROBERTS A.A., FRIEDMAN I. DONOVAN T.J. & DENTON E.H. (1975) - *Helium survey, a possible technique for locating geothermal reservoirs*. *Geophys. Res. Lett.* 2/6, 209-210.
- SINCLAIR A.J. (1991) - *A fundamental approach to threshold estimation in exploration geochemistry: probability plots revisited*, *Journal of Geochemical Exploration*, 41 (1-2), 1-22, doi: 10.1016/0375-6742(91)90071-2.
- ROMA SOTTERRANEA - VORAGINE DI VIA DI CENTOCELLE (2016) - *Resoconto attività di sopralluogo e rilievo speditivo intraprese tra il 29 ed il 30 Marzo 2016 su incarico della Protezione Civile di Roma Capitale* - 2016.