



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Censimento e monitoraggio delle cavità sotterranee del Comune di Bracciano

SOPRALLUOGO ISPRA DEL 01/10/2020

Roma, dicembre 2020

DIPARTIMENTO PER IL SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA
Direttore: Dott. Claudio Campobasso

Documento a cura di: Giuseppe Delmonaco, Paolo Moretti, Stefania Nisio, Luca Maria Puzzilli & Francesco Traversa

INDICE

1	Introduzione	2
2	Breve inquadramento geologico	3
3	Le cavità sotterranee di Bracciano.....	5
4	Siti oggetto del sopralluogo	7
4.1	Sito 1	7
4.2	Sito 2	10
4.3	Sito 3	12
5	Conclusioni	13
	Appendice 1 - Criteri generali d'esecuzione del censimento degli ipogei.....	14
	Appendice 2 - Indagini geofisiche	16

1 Introduzione

Il Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia intraprende, ove richiesto, collaborazioni di carattere tecnico-scientifico con altre Pubbliche Amministrazioni. Il Comune di Bracciano con lettera prot. n. 6228 del 18/02/2020 ha richiesto una consulenza scientifica, di supporto al *Progetto Bracciano Underground*, per attività di studio e ricerca nell'area comunale per l'individuazione di aree a rischio sprofondamento dovute alla presenza di cavità sotterranee. In data 03/09/2020, con lettera prot. n. 5216/GEO-DIR, è stato istituito un apposito Gruppo di Lavoro ISPRA costituito da:

Stefania Nisio - coordinatrice del Gruppo di Lavoro - esperta di fenomeni di sprofondamento di cavità sotterranee in aree antropizzate;

Giuseppe Delmonaco, esperto di caratterizzazione geologico-tecnica di ammassi rocciosi;

Paolo Moretti, esperto di computer grafica per allestimento cartografico;

Luca Maria Puzzilli esperto di indagini geofisiche;

Francesco Traversa, esperto di progettazione e monitoraggio di opere in sotterraneo.

La presente relazione illustra gli esiti del sopralluogo preliminare/speditivo, effettuato dagli scriventi in data 01/10/2020, finalizzato a verificare lo stato dei luoghi e a definire un'area campione sulla quale valutare la migliore metodologia d'indagine nel rispetto di un rapporto costi/benefici ottimale.

Al sopralluogo, oltre agli scriventi, hanno partecipato: per il Comune di Bracciano il sig. Massimo Calpicchi consigliere comunale con delega al centro storico e i sig.ri Riccardo Paolucci e Lorenzo Grassi della Associazione *Sotterranei di Roma* dedita ad attività di speleologia urbana nella città di Roma.

In occasione del sopralluogo sono stati visionati tre distinti siti:

Sito 1 - Cavità sotterranee poste nel sottosuolo dell'edificio con ingresso su piazza Mazzini n.5;

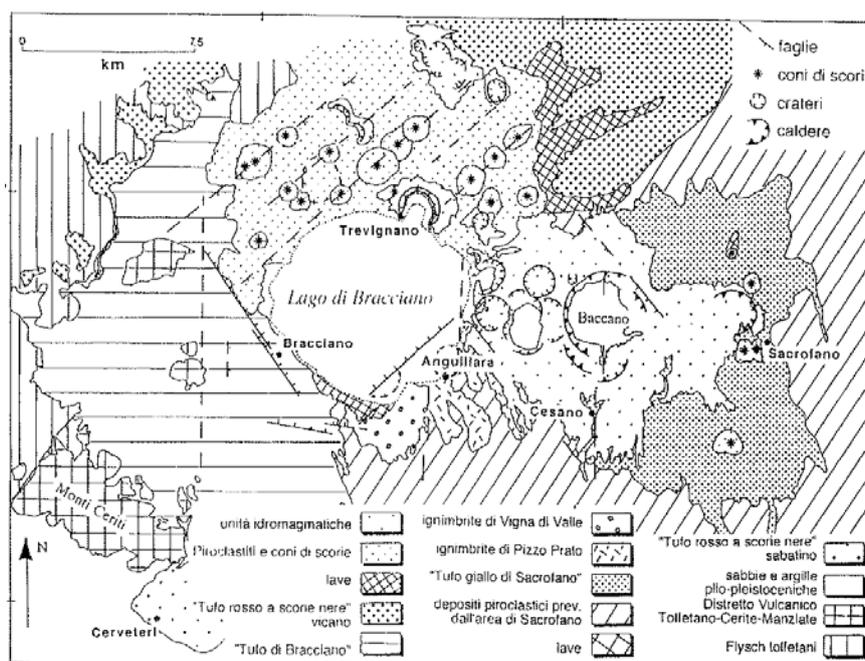
Sito 2 - Cavità sotterranee poste a tergo della rimessa con ingresso in via Fioravanti 31

Sito 3 – Cavità sotterranee poste nel sottosuolo dell'edificio ubicato in via della Collegiata.

2 Breve inquadramento geologico

Il Distretto Vulcanico Sabatino (DVS), localizzato circa 30 km a nord-ovest di Roma, si è impostato in un'area strutturalmente depressa e parallela alla costa tirrenica ai margini della catena appenninica. L'inquadramento geologico-strutturale del DVS viene sintetizzato in Figura 1. Il primo centro di emissione dell'apparato sabatino è quello di Morlupo attivatosi 0.6 Ma fa (De Rita et al. 1983), i cui prodotti si intercalano nella parte alta della sequenza con i prodotti iniziali del centro di Sacrofano (attivo tra

0.50 e 0.36 Ma fa) ubicato ad ovest in corrispondenza dell'altro strutturale di Baccano-Cesano. I prodotti emessi dal centro di Sacrofano sono di genesi stromboliana con emissione di piroclastiti a chimismo sottosaturo note con il nome di "Piroclastiti di Sacrofano" o più recentemente "Tufi stratificati varicolori de La Storta" secondo De Rita et



al. 1993 (vedi Figura 1). *Figura 1- Schema geologico strutturale del Distretto Vulcanico Sabatino (da De Rita et al. 1997)*

DVS con spessori notevoli, in parte anche per processi di rimaneggiamento sin- e post-deposizionale. Da segnalare intorno a 0.43 Ma (Cioni et al.1993) l'emissione della colata piroclastica del "Tufo Rosso a Scorie Nere" sabatino (Cavarretta et al. 1990) considerato in letteratura un marker stratigrafico molto importante, la cui distribuzione areale (Figura 1) appare essere stata chiaramente influenzata dalle condizioni topografiche ancora preminenti dell'alto strutturale di Baccano-Cesano all'epoca della sua messa in posto. La fine dell'attività del centro di Sacrofano è marcata dall'emissione di una colata piroclastica denominata "Colata Piroclastica Superiore di Sacrofano" da De Rita et al. 1993, con il conseguente collasso calderico, concomitante o di poco successivo alle prime fasi di identificazione della depressione vulcano-tettonica di Bracciano. Il collasso della depressione di Bracciano fu accompagnato dalla emissione di colate laviche affioranti in particolare nel settore meridionale del distretto e dalla messa in posto delle colate piroclastiche di "Bracciano", "Vigna di Valle" e "Pizzo Prato". Subito dopo l'emissione di queste colate si assiste alla attivazione di un intenso vulcanismo (colate di lava e conconi di scorie) a

nord della depressione di Bracciano, a partire da fessure orientate SO-NE e NO-SE. L'attività vulcanica finale all'interno del DVS si concentra di nuovo nel settore orientale con l'edificazione del centro di Baccano e di altri centri minori da cui prendono origine depositi per lo più di origine idromagmatica che segnano l'esaurimento del vulcanismo in questo settore (De Rita et al. 1997).

Il centro abitato di Bracciano sorge a ridosso della depressione calderica che oggi ospita l'omonimo Lago ed è in massima realizzatosi al di sopra dei depositi appartenenti alla "Colata Piroclastica di Bracciano". Tale unità si sarebbe sviluppata al di sopra di un esteso espandimento lavico, pressoché continuo in tutto il settore occidentale e meridionale del DVS, con spessori di svariate decine di metri. presenta facies a differente grado di cementazione, contenenti inclusi litici lavici e sedimentari in numero variabile in funzione della distanza dal centro di emissione localizzato lungo le sponde nord-occidentali del lago attuale (Cioni, 1993). Si tratta di un deposito di colata a matrice cineritica con minerali autigeni quali mica, pirosseno, feldspato potassico, con frequenti inclusi di lava, pomicette gialle e inclusi sedimentari calcarei, calcareo-marnosi e argillosi. In misura minore sono presenti leucite e inclusi olocristallini costituiti da aggregati di biotite. Nella facies di tetto il numero e le dimensioni degli inclusi lavici e sedimentari diminuiscono per effetto di mescolamento gravitativo sin-deposizionale, tanto che la matrice cineritica diviene assolutamente prevalente. Il grado di cementazione è variabile, da litoide alla base per fenomeni di zeolitizzazione fino ad incoerente in corrispondenza del tetto. In particolare nel settore prossimale alle sponde del Lago di Bracciano si distingue la presenza di una facies brecciosa, massiva, a matrice lapillosa e contenente inclusi eterometrici di lava grigia e litici sedimentari termo-metamorfosati. Segue verso l'alto una facies pozzolanacea di colore grigio scuro, massiva e scarsamente cementata, a matrice sabbiosa contenente mica, pirosseno, leucite e inclusi litici lavici e sedimentari termo-metamorfosati. Le facies appena descritte costituiscono, in base alle attuali conoscenze, l'ossatura del rilievo su cui sorge l'abitato di Bracciano e, verosimilmente, i litotipi entro cui sarebbero state realizzate la maggior parte delle cavità di origine antropica oggetto di futura investigazione.

3 Le cavità sotterranee di Bracciano

Il sottosuolo di Bracciano risulta caratterizzato da cavità sotterranee che costituiscono ambienti vasti o gallerie strette; si riconoscono cunicoli idraulici, cisterne, grotte, nonché camminamenti ipogei.

Tali ambienti ipogei sono stati ricavati dall'uomo, durante i vari secoli, nella roccia vulcanica che costituisce la rupe su cui sorge il paese. La porzione maggiormente interessata dalle attività antropiche di scavo è stata il centro storico di Bracciano, o borgo antico che si snoda nei pressi del Castello.

Nel borgo antico era pratica pressoché comune quella di realizzare, al di sotto delle abitazioni o nel retro di botteghe e magazzini, cantine ipogee. Quest'ultime sono state scavate, nella roccia vulcanica, in epoca medioevale e approfondite abusivamente nelle epoche successive. Solo in pochi casi è possibile ipotizzare l'utilizzo di tali impianti ipogei in periodi antecedenti al medioevo. Esse erano e sono oggi adibite perlopiù a cantine per la conserva dei prodotti alimentari, o viceversa trasformate in locali/magazzino. In passato vi si svolgevano anche le attività artigianali principali del borgo.

Dal medio evo sino all'epoca storica recente, inoltre, alcuni ipogei erano adibiti a stalle e rappresentavano luoghi caratteristici del borgo. Sono diffusi, poi, ambienti sotterranei realizzati, in epoche ancora più antiche etrusche o romane, per realizzare cisterne per la raccolta delle acque piovane. Di quest'ultime se ne conosce una ubicata all'interno del Castello.

Molti ipogei sono stati abbandonati nel tempo e chiusi e/o destinati a discariche di rifiuti e di materiali di risulta, ovvero colmati di detriti di varia natura. Cunicoli idraulici e camminamenti si snodano inoltre nelle vie del borgo passando anche al di sotto delle vie urbane. All'interno delle mura difensive, edificate tra la fine del XV e l'inizio del XVI secolo, si sviluppa un antico camminamento sotterraneo con funzione di avvistamento e postazione da tiro.

Tali ambienti sono oggi presenti talora mal conservati e manca un censimento completo che ne stabilisce la reale estensione nel paese.

Lo stato di degrado degli ambienti sotterranei ha portato nel tempo alla formazione di voragini (sinkholes antropogenici) e problemi di censimento del manto stradale.

In via del fossato, per esempio, a novembre 2014, il cedimento del piano stradale ha comportato l'apertura di due voragini che hanno portato alla luce un antico cunicolo sotterraneo. Si tratta di una galleria di epoca non precisabile che corre internamente e parallelamente al muro di controscarpa

del fossato (quest'ultimo datato tra la fine del XV e la prima metà del XVI secolo) esso probabilmente serviva per munire l'abitato di Bracciano di una cinta di difesa.



Fig. 2 - Voragine in via del Fossato Novembre 2014, e galleria individuata.

4 Siti oggetto del sopralluogo

4.1 Sito 1

Al sito 1 si accede scendendo le scale dell'edificio con ingresso posto al civico n. 5 di Piazza Giuseppe Mazzini. L'edificio, originariamente sede di un convento e oggi nelle disponibilità del Comune, si caratterizza oltre che per la rete di cunicoli sotterranei anche per la presenza di una grande cisterna per la raccolta d'acqua presente al di sotto del chiostro dell'edificio. Nella Figura 3 si riporta lo stralcio di una planimetria catastale (estratto foglio 25) fornita dal comune di Bracciano con riportato, in giallo, un rilievo con indicazione di massima dello sviluppo degli ambienti sotterranei.

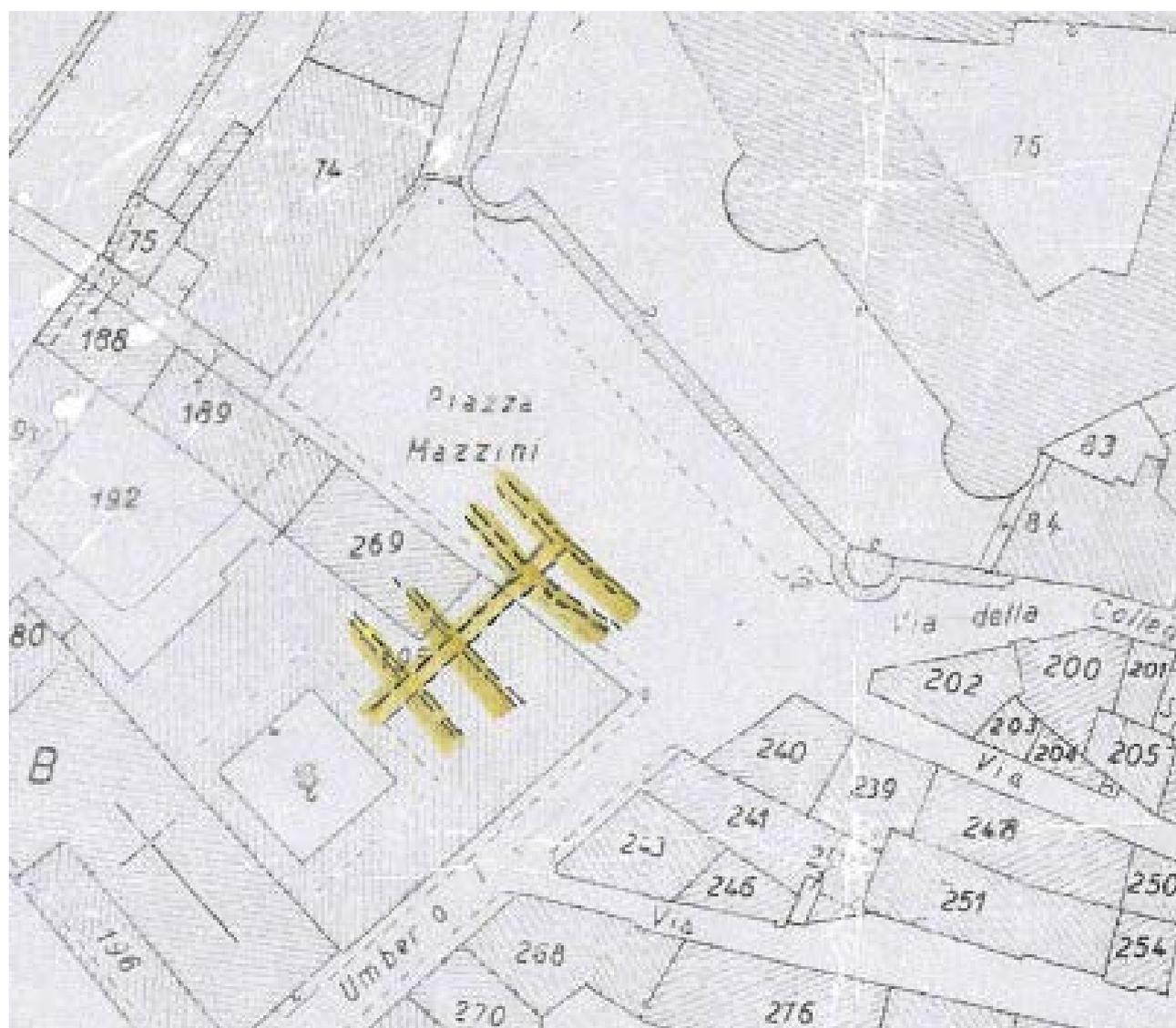


Figura 3 - Ubicazione indicativa degli ambienti sotterranei del sito 1 in Piazza Mazzini

Agli ipogei si accede direttamente tramite la scala interna dell'edificio illustrata in figura 4. I cunicoli larghi circa 1,5/2 m e alti 2/3 m sono stati scavati nei depositi appartenenti alla “Colata Piroclastica di Bracciano” costituita da depositi di spessore variabile fino a diverse decine di metri.



Figura 4 - Scala di accesso al sito 1

Il rilievo preliminare/speditivo effettuato ha permesso di osservare, in alcune porzioni, la presenza a terra di piccoli cumuli di blocchi ascrivibili a probabili crolli. Alcuni tratti di cunicolo risultano rivestiti in cemento armato. E' stato osservato che in alcuni tratti tale rivestimento risulta in soluzione di continuità con l'ammasso roccioso inficiando quindi la funzione statica della struttura. Non è stata rilevata la presenza di acqua. Nella figura 5 è possibile osservare la cavità posta a tergo del rivestimento in cemento armato, in figura 6 uno dei cunicoli visionati



Figura 5 - Cavità posta a tergo del rivestimento in cemento armato



Figura 6- Uno dei cunicoli visionati del sito 1

4.2 Sito 2

Al sito 2 si accede passando all'interno di una rimessa posta al civico n. 31 di Via Fioravanti. La Figura 7 riporta lo stralcio di una planimetria catastale (estratto foglio 25) fornita dal comune di Bracciano con riportato, in giallo, un rilievo con indicazione di massima dello sviluppo degli ambienti sotterranei. Sorpassato il varco visibile in Figura 8 si accede a un ambiente sotterraneo di ampie dimensioni con altezze che in alcuni tratti raggiungono circa i 5 m (Figura 9).

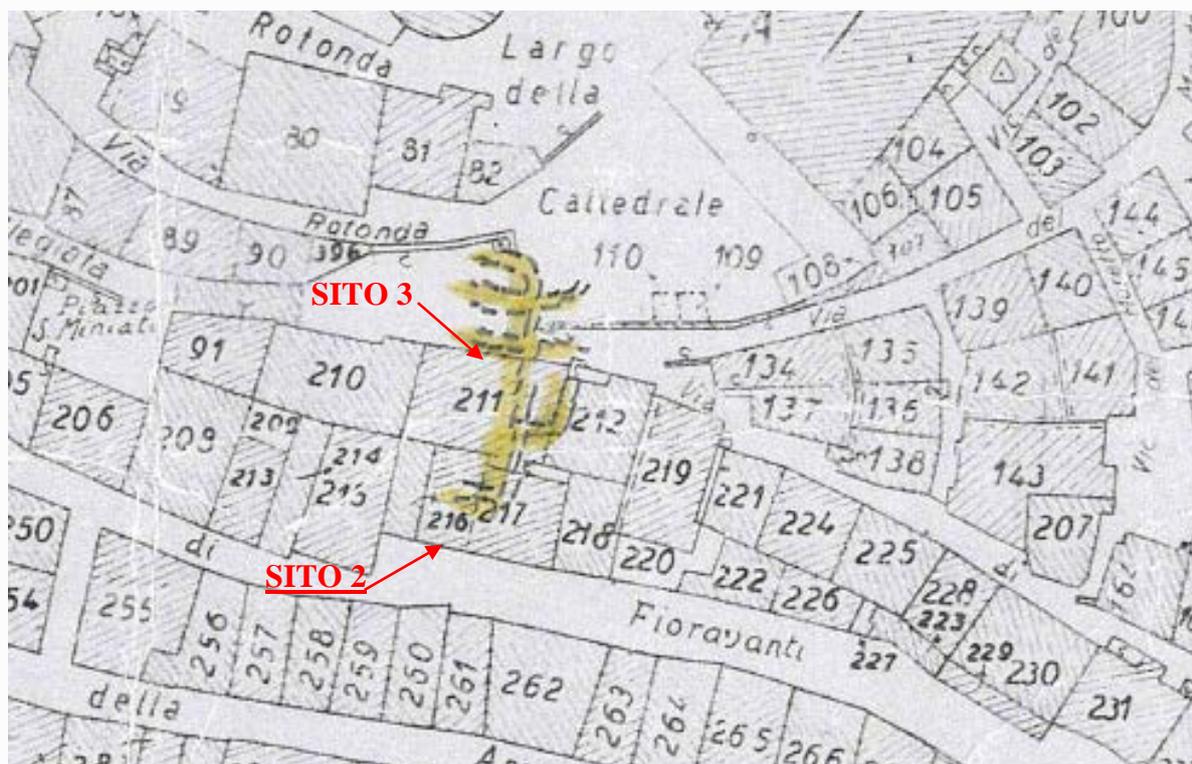


Figura 7- Ubicazione siti 2 e 3



Figura 8-Acceso all'ipogeo



Figura 9 – Ambiente visionato

All'interno è stato possibile osservare che la cavità è stata interessata da fenomeni di crollo dovuti alle non rare discontinuità presenti unitamente alla diffusa alterazione dell'ammasso roccioso osservata (vedi Figura 10). Non è stata rilevata presenza di acqua.

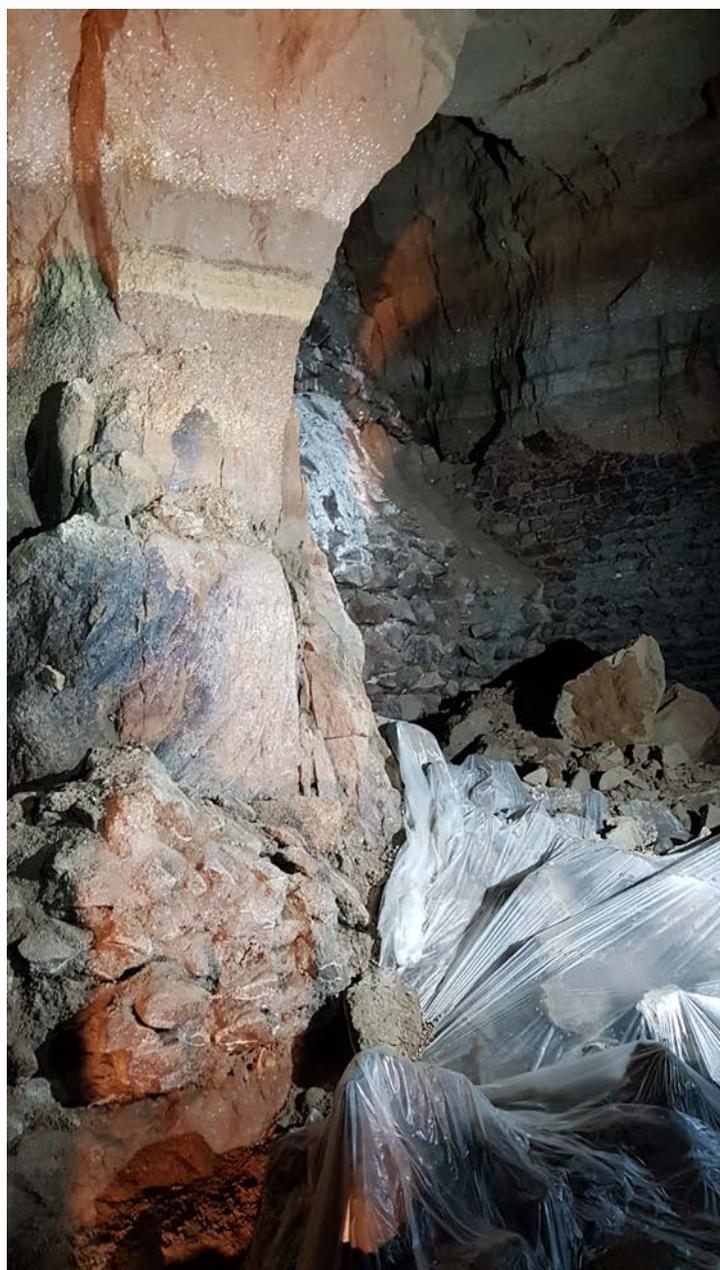


Figura 10 – Blocchi crollati a terra

4.3 Sito 3

Al sito tre si accede dall'edificio di via Della Collegiata (vedi Figura 7). L'ipogeo si caratterizza per la gran quantità di acqua presente sia a terra a formare delle grandi vasche sia per la presenza di stillicidi diffusi in vaste aree degli ipogei. La Figura 11 illustra tratti di ipogeo allagati.



Figura 11– Tratti di ipogeo allagati

5 Conclusioni

I sopralluoghi svolti hanno attestato che nell'area del centro storico di Bracciano è presente una rete di cunicoli e di cavità sotterranee al momento non ancora censite e rilevate nella totalità. Tali cavità sotterranee sono state probabilmente la causa di eventi di cedimento e di crollo che si sono verificati nel tempo a Bracciano.

Durante i rilievi preliminari/speditivi effettuati all'interno dei 3 ipogei visionati sono stati complessivamente osservati: fenomeni di crollo di blocchi e/o porzioni di ammasso roccioso fratturato e/o alterazione di alcuni livelli di depositi piroclastici e/o circolazione di acque sotterranee di incerta origine con stillicidi diffusi e allagamenti. Tali elementi osservati potrebbero causare ulteriori fenomeni di instabilità delle cavità sotterranee visionate che pertanto andranno attentamente studiate realizzando rilievi laser scanner 3D, studi geologico-tecnici di dettaglio e modellazioni numeriche.

La nota presenza nel sottosuolo del centro storico del Comune di Bracciano di ulteriori nonché numerosi ambienti sotterranei non censiti e potenzialmente instabili consiglia pertanto l'esecuzione di un censimento e rilievo di tutte le cavità sotterranee presenti (cisterne incluse) nonché, dove necessario, approfonditi studi geologico-tecnici di dettaglio finalizzati a definire le caratteristiche meccaniche dell'ammasso roccioso contenente gli ipogei. Si ritiene che le tre cavità visionate possano essere impiegate come "area campione" sulla quale valutare la migliore metodologia d'indagine nel rispetto di un rapporto costi/benefici ottimale.

Appendice 1 - Criteri generali d'esecuzione del censimento degli ipogei

Alla luce del contesto analizzato appare utile suddividere le attività in più fasi caratterizzate da livelli crescenti di approfondimento.

Fase 1 – Verifiche speditive

Andrà eseguito un censimento speditivo con attribuzione di una numerazione univoca di tutte le cavità note definendone dove possibile: profondità, orientamento, dimensioni e strutture presenti in superficie. Contestualmente sarà effettuata una verifica speditiva delle condizioni degli ipogei tramite valutazioni qualitative riguardanti:

- fratturazione dell'ammasso roccioso;
- grado di alterazione dei litotipi;
- evidenze di crolli avvenuti o imminenti
- presenza d'acqua (allagamenti e/o venute concentrate e/o stillicidi)

A seguito delle precedenti verifiche di **carattere qualitativo** ad ogni ipogeo sarà attribuita una specifica ***classe preliminare***:

Classe 1 - Ipogeo apparentemente stabile;

Classe 2 - Ipogeo apparentemente stabile ma con presenza di elementi critici ai fini della stabilità;

Classe 3 - Ipogeo instabile con necessità di realizzazione di immediati interventi di sostegno e/o azioni cautelative.

Fase 2 – Rilievi di dettaglio e modellazioni numeriche

La suddivisione in tre classi degli ipogei effettuata nella fase 1 definirà tre distinte classi di priorità d'intervento. Partendo dagli ipogei ritenuti in condizioni più critiche, censiti in Classe 3, verranno eseguiti:

1. rilievi laser scanner 3D per la ricostruzione delle caratteristiche dimensionali e topografiche dell'ipogeo, utili anche in fase di successivo monitoraggio e analisi sullo stato di attività e/o controllo delle deformazioni di discontinuità di particolare rilevanza ai fini statici;
2. rilievi geologico-tecnici di dettaglio indirizzati a:

- a. censimento di discontinuità presenti all'interno degli ipogei attraverso la realizzazione di linee di scansione per la ricostruzione delle principali caratteristiche geostrutturali delle discontinuità (es. orientamento, spaziatura, persistenza, apertura, presenza di umidità, percolazione, ecc.);
 - b. valutazione delle caratteristiche di resistenza fisico-meccanica dei terreni costituenti l'ipogeo attraverso l'utilizzo di tecniche non distruttive (sclerometro tipo-L per roccia);
 - c. valutazione della qualità dell'ammasso roccioso mediante metodologia speditiva e uso dei più comuni sistemi di classificazione (es. RMR, *Q-system*, RMi);
3. verifiche statiche e quantitative mediante l'esecuzione di modellazioni numeriche per la valutazione degli stati tensionali agenti all'interno degli ipogei a maggiore criticità.

Fase 3 – Individuazione di eventuali aree a rischio e piano di gestione

A valle della conoscenza acquisita su distribuzione e condizioni statiche degli ipogei presenti nel sottosuolo del centro storico di Bracciano le *classi preliminari* attribuite nella fase 1 saranno sostituite da *classi definitive* al fine di:

- 1) individuare eventuali aree a rischio suscettibili allo sprofondamento e valutare gli interventi strutturali più idonei;
- 2) individuare la necessità d'installazione di strumentazione geotecnica utile a monitorare lo stato tenso-deformativo di porzioni di ammasso roccioso risultate in condizioni statiche critiche.
- 3) pianificare, tramite un piano di gestione, attività di monitoraggio e manutenzione anche in relazione alla fruizione e destinazione d'uso degli ipogei censiti.

Appendice 2 - Indagini geofisiche

Il contesto urbano risulta per molti aspetti inadeguato per l'utilizzo di metodologie geofisiche di superficie a causa delle condizioni di accessibilità, per la presenza di rivestimenti e pavimentazioni, oltre che di sottoservizi insieme a strutture sepolte di origine antropica. Per contro, in quanto indagini indirette (non-distruttive) esse risultano estremamente utili per la ricostruzione del modello di sottosuolo basata principalmente sulla differente distribuzione dei parametri fisici (es. resistività, velocità delle onde sismiche di compressione e/o di taglio, costante dielettrica, densità ecc.).

Nel contesto dell'abitato di Bracciano, in particolare nel settore del centro storico, la metodologia di indagine geofisica che meglio si adatta alle condizioni logistiche è rappresentata dal Georadar. L'applicazione di tale metodo, a valle delle necessarie prove di calibrazione in sito su terreni e target conosciuti, risulterebbe funzionale alla verifica delle condizioni di pericolo per la presenza di vuoti/cavità/cunicoli a ridotta profondità dal piano stradale. In misura minore, al momento non quantificabile, potrebbero risultare applicabili la tecnica sismica in onde superficiali per la caratterizzazione del sottosuolo in termini di velocità delle onde sismiche di compressione e di taglio (e, quindi, rispettivamente in termini di densità e di rigidità) e la tecnica geoelettrica, tutte però fortemente limitate dalla topografia estremamente articolata e per la presenza di pavimentazione e reti di sottoservizi.

Una valutazione sulla applicabilità dei differenti metodi potrà essere effettuata solo a valle di alcuni test in sito lungo tratti del centro storico potenzialmente interessati, sulla base delle segnalazioni da parte dei residenti, dalla presenza di vuoti/cavità/cunicoli a ridotta profondità dal piano stradale, meglio se corredate da informazioni *a-priori* (es. spessore riporti, presenza di acqua di falda, presenza di sottoservizi).