

Le cavità antropiche presenti nel sottosuolo di Bolsena

Anthropic underground cavities in the Bolsena town

MADONNA Sergio(*), NISIO Stefania(**), FINOCCHIARO Gino(***),
 GENTILI Francesco(****)

RIASSUNTO - Il centro storico di Bolsena ospita numerose cavità sotterranee ubicate prevalentemente a Nord della direttrice Corso Cavour - Corso Vittorio Emanuele- Via 4 Novembre. Queste cavità si sviluppano entro le unità vulcaniche vulsine che affiorano nel bordo interno della parte nord-orientale della caldera.

Tale rete di ipogei è stata realizzata, probabilmente a partire dall'epoca etrusca, per una serie di attività quali: estrazione di materiali da costruzione, cunicoli idraulici, necropoli, cantine, cisterne ecc.

E' stato creato un progetto GIS con il software open source QGIS per gestire tutti i dati raccolti durante il dettagliato rilievo topografico e geotecnico delle cavità allo scopo di confrontali con i fenomeni di sprofondamento che si sono verificati nel passato o che potranno avvenire nel futuro. La distribuzione delle cavità che sono state censite suggerisce che potrebbero esserci ulteriori cavità nsoste sotto il tessuto urbano, nel settore centro -settentrionale del centro storico nelle quali non è stato possibile accedere o di cui si è persa la memoria.

PAROLE CHIAVE: cavità antropiche, Bolsena, Vulsini, catacombe, rilievo geologico-tecnico, GIS

ABSTRACT -The old town of Bolsena hosts many underground cavities located mainly north of the area bonded by Corso Cavour - Corso Vittorio Emanuele - Via 4 Novembre.

The cavities develop within the Vulsini volcanic units outcropping in the north-eastern rim of the caldera.

This network of hypogea was built, probably starting from the Etruscan age for a series of activities as the extraction of building materials, hydraulic tunnels, necropolis, cellars, cisterns, etc.

A GIS project was created using the open-source software QGIS to manage all the data collected during the detailed topographic and geotechnical survey of the cavities, in order to compare them with the sinking phenomena that have occurred in the past or that may occur in the future.

The distribution of the detected cavities suggest that there cold be additional cavities hidden under the urban fabric in the central-northern sector of the old town in which it was not possible to access or which memory has been lost.

KEY WORDS: Anthropic cavities, Bolsena, Vulsini, Catacomb, geotechnical survey, GIS

(*) Università degli Studi della Tuscia Dipartimento DAFNE sermad@unitus.it;

(**) ISPRA stefania.nisio@isprambiente.it;

(***) Ingegnere ingfinocchiaro@libero.it;

(****) Geologo francescogentili1@gmail.com

1. - PREMESSA

Nel sottosuolo del centro storico di Bolsena, probabilmente a partire dall'epoca etrusca, è stata realizzata una rete di cavità sotterranee e cunicoli, per una serie di attività e scopi: cantine ed ambienti di servizio alle sovrastanti abitazioni, estrazione di pozzolane e materiali tufacei, opere di difesa o di fuga, opere idrauliche, catacombe, ecc. (MELONI & NISIO, 2016; NISIO, 2013).

Tale complessa rete di ambienti sotterranei è stata poi ampliata ed in parte collegata per la realizzazione di rifugi antiaerei o di nascondigli, durante il secondo conflitto mondiale.

Sulle medesime cavità ipogee, poste a modesta profondità, è stato realizzato nel corso dei secoli un tessuto continuo di strutture urbane determinando elevata suscettibilità del territorio a voragini e frane, nonché problematiche connesse alla interruzione di strade e di reti di sottoservizi (fognature, reti idriche,

elettriche, telefoniche, ecc.) generando inoltre instabilità negli edifici sovrastanti (MELONI & NISIO, 2016; NISIO, 2013).

Altre interazioni sono state connesse con le reti idriche e fognarie, fatiscenti e con frequenti perdite.

Al fine di mitigare tali fattori di rischio la Regione Lazio ha finanziato un progetto di consolidamento che è stato preceduto da una fase di censimento delle cavità e di analisi delle loro caratteristiche.

2. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'ampio Distretto Vulcanico Vulsino può essere suddiviso in cinque principali settori associati ai relativi centri di emissione: Paleobolsena, Bolsena, Plateau lavico dei Vulsini meridionali, Montefiascone e Latera (CONTICELLI *et alii*, 1986, 1987; VEZZOLI *et alii*, 1987, NAPPI *et alii*, 1987, 1995 1998; CIOTOLI *et alii*, 2003; PECCERILLO, 2005; PALLADINO *et alii*, 2010;

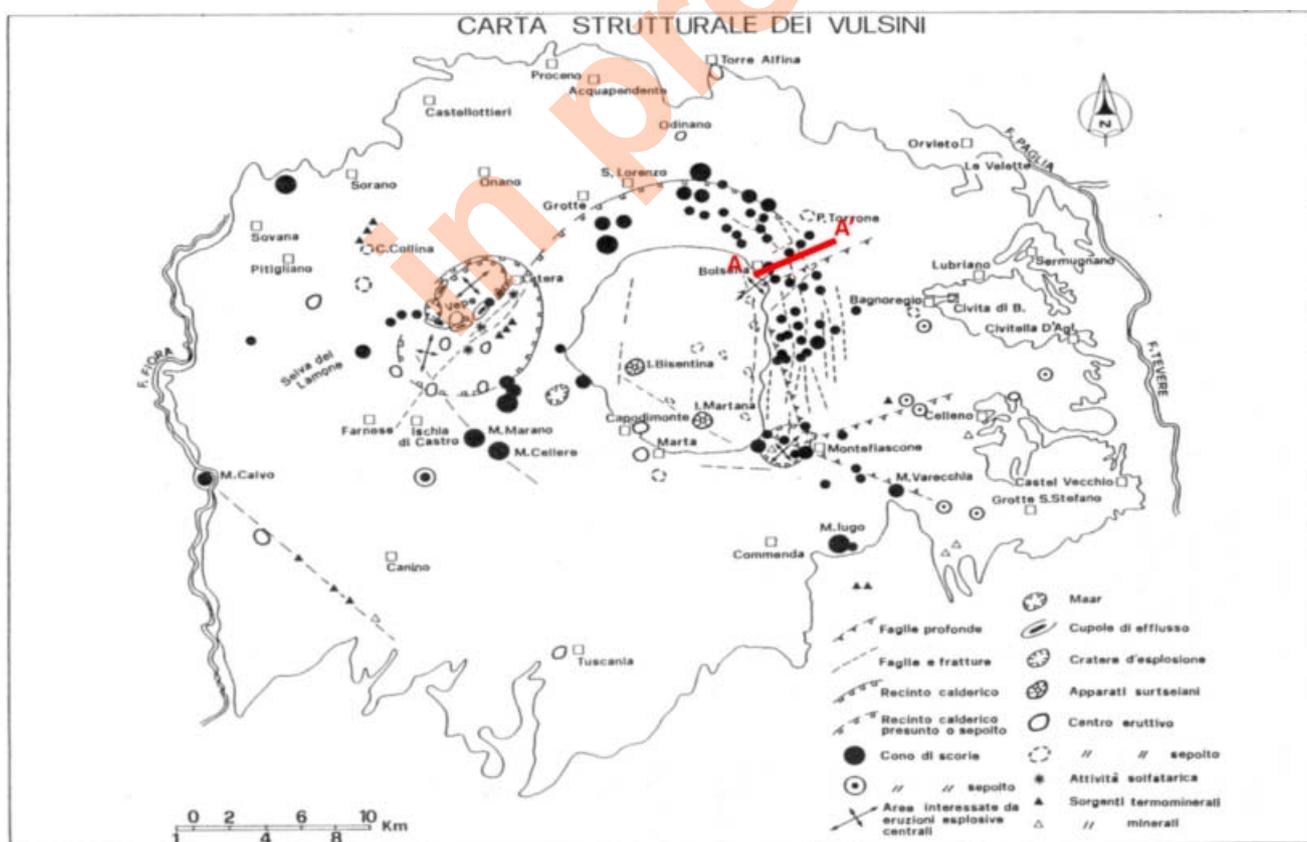


Fig. 1 - Schema strutturale del Distretto Vulcano Vulsino. (Da NAPPI *et alii*, 1988).
- Structural sketch of the Vulsini Volcanic District (from NAPPI *et alii*, 1988).

ACOCELLA *et alii*, 2012). Il Distretto è stato caratterizzato da una attività polifasica che si è sviluppata a partire da circa 0,59-0,58 Ma, con le prime eruzioni del complesso del Paleobolsena (CIONI *et alii* 1987; BARBERI *et alii*, 1994, NAPPI *et alii*, 1995) e si è conclusa circa 0,13 Ma, con l'attività finale post calderica che ha portato alle formazioni delle isole Bisentina e Martana (NAPPI *et alii*, 1995).

L'abitato di Bolsena è ubicato nel settore nord orientale del recinto interno della caldera (Fig. 1) attualmente occupata dall'omonimo bacino lacustre. Il Complesso Vulcanico di Bolsena ha sviluppato la sua attività tra 0,49 to 0,32 Ma (PECCERILLO, 2005), quindi posteriormente al collasso della caldera del Paleobolsena. La caldera di Bolsena è stata interpretata come una depressione vulcano-tettonica formatasi in seguito a collassi legati a svuotamenti ripetuti di camere magmatiche poco profonde, associati a fasi di distensione e subsidenza tettonica (NAPPI *et alii*, 1987, 1998; PALLADINO *et alii*, 2010; ACOCELLA *et alii*, 2012). L'intensa attività vulcano-tettonica che nel Pleistocene ha caratterizzato lo sviluppo di questa

depressione fa sì che le unità affioranti sul margine interno del suo recinto, risultano dislocati a larga scala in più gradini, dando luogo a ripetizioni della successione (NAPPI *et alii*, 1987, 1998 - Fig. 2). L'ordine di grandezza complessivo del collasso di questo settore della caldera è stato valutato in circa 870 collasso su una distanza di 5 km dalla linea di riva (ACOCELLA *et alii*, 2012). Gli stessi Autori hanno condotto una dettagliata analisi strutturale che ha evidenziato che il settore in cui si colloca l'abitato di Bolsena risulta interessato da sistemi di faglie molto diffusi e complessi la cui interpretazione è legata essenzialmente alla scala delle osservazioni (Fig. 3).

Dopo le fasi di collasso del settore settentrionale della caldera, specialmente in corrispondenza delle principali faglie che delimitano gli sgradinamenti intracalderici, si ha la messa in posto di flussi piroclastici a piccola scala, e di tufi ben rinsaldati che ricoprono tutto il settore nord orientale della caldera, con composizione che varia da latitica a trachitica (NAPPI & MARINI, 1986, NAPPI *et alii*, 1987, 1998). A questa attività, prevalentemente esplosiva, fa se-

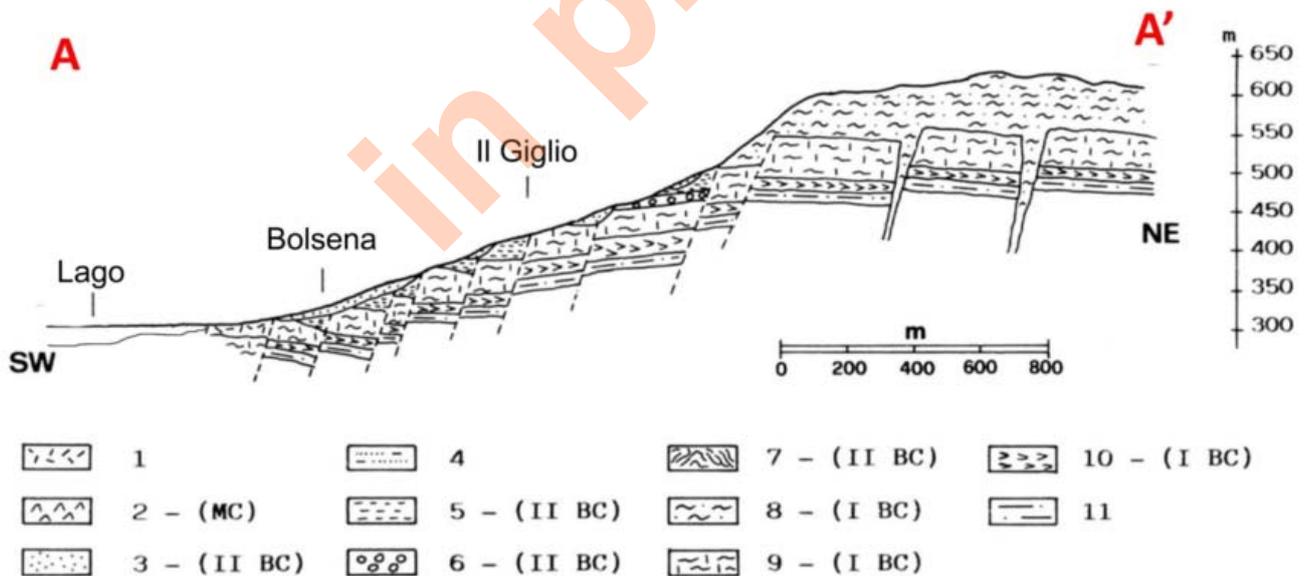


Fig. 2 - Sezione geologica attraverso il settore nord-orientale della caldera di Bolsena: 1=depositi epiclastici; 2=lave leucitiche; 3=agglomerato caotico; 4) complesso piroclastico superiore; 5=ignimbrite di Orvieto; 6)= Pomice di ricaduta di Ponticello; 7=lave leucitiche; 8=lave trachitiche; 9=flussi piroclastici a piccola scala e depositi di ricaduta; 10=lave leucitiche; 11=complesso piroclastico inferiore; MC= Complesso di Montefiascone; IIBC=secondo ciclo del Complesso di Bolsena; IBC= primo ciclo del Complesso di Bolsena. (Da NAPPI *et alii*, 1991, modificato).

- Geological cross section through the north-eastern sector of the Bolsena caldera: 1 = epiclastic deposits; 2 = leucite-bearing lava flows; 3 = chaotic agglomeration; 4) upper pyroclastic complex; 5 = Orvieti Ignimbrite; 6) = Ponticello pumice fall; 7 = leucite-bearing lava flows; 8 = trachytic lava flows; 9 = small scale pyroclastic flows and pyroclastic fall; 10 = leucite-bearing lava flows; 11 = lower pyroclastic complex; MC = Montefiascone Complex; IIBC = second cycle Bolsena Complex; IBC = first cycle Bolsena Complex (from NAPPI *et alii*, 1991, modified).

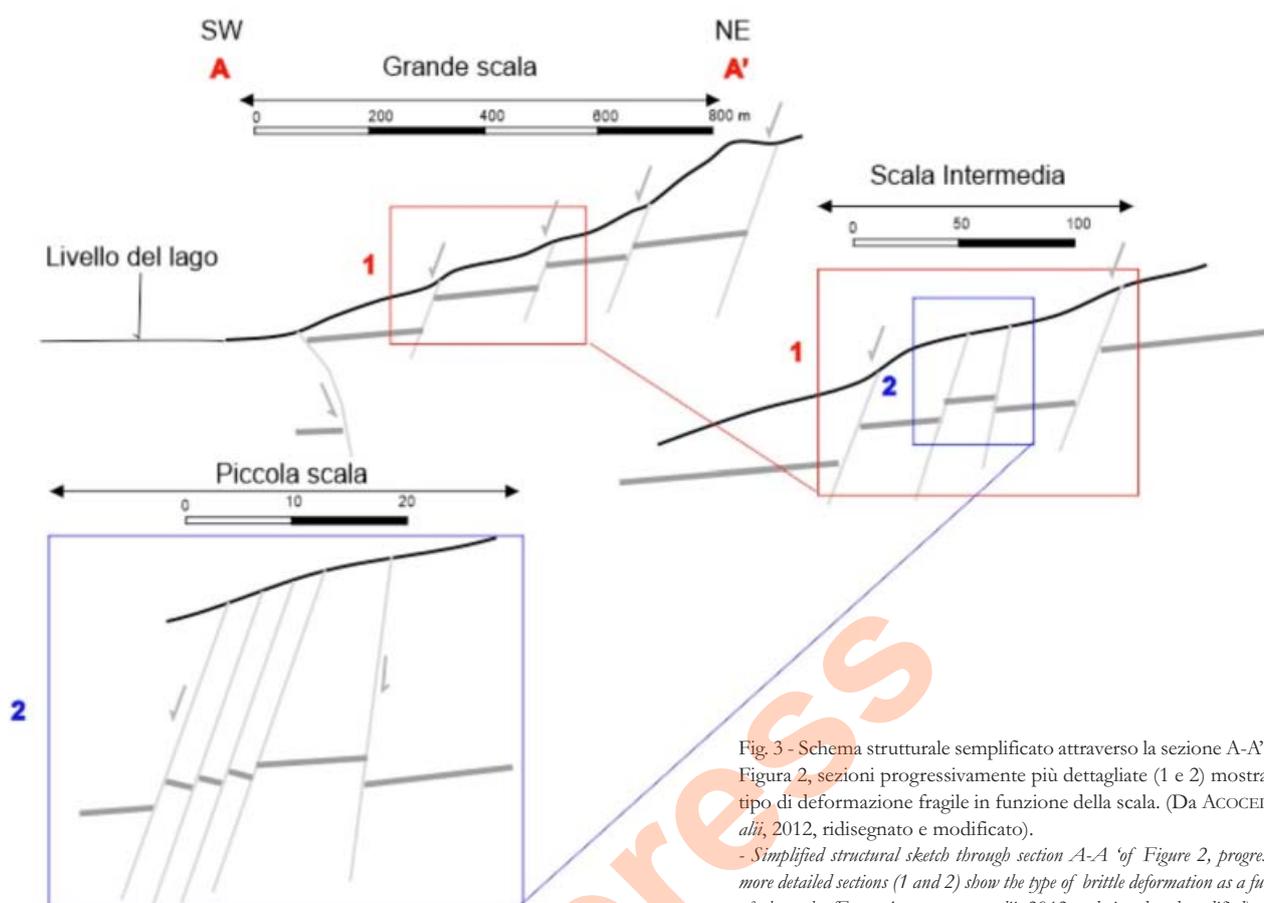


Fig. 3 - Schema strutturale semplificato attraverso la sezione A-A' della Figura 2, sezioni progressivamente più dettagliate (1 e 2) mostrano il tipo di deformazione fragile in funzione della scala. (Da ACOCELLA *et alii*, 2012, ridisegnato e modificato).

- Simplified structural sketch through section A-A' of Figure 2, progressively more detailed sections (1 and 2) show the type of brittle deformation as a function of the scale. (From ACOCELLA *et alii*, 2012, redesigned and modified).

guito un'ulteriore fase di collasso, controllata da una serie di faglie allungate N-S e NNW-SSE, che interessa il settore nord-orientale dell'attuale bordo calderico. Lungo queste linee di debolezza tettonica si sviluppa successivamente un'intensa attività magmatica sottosatura in silice che determina la messa in posto di una serie di coni di scorie tra Montefiascone e Bolsena ("Ponticello", "Pietre Lanciate", "Palombara", ecc.). (NAPPI & MARINI, 1986, NAPPI *et alii*, 1987, 1998). Segue una fase caratterizzata da manifestazioni esplosive parossistiche spesso di tipo pliniano che si sviluppano all'interno dell'attuale caldera. I depositi che ne derivano sono costituiti da livelli di pomice di ricaduta e flussi piroclastici; mentre i primi mostrano una distribuzione areale nel settore orientale, i secondi si espandono solo in corrispondenza del settore collassato. La serie di prodotti riferibile a questa fase di attività è in dettaglio costituita da un'alternanza di pomice di ricaduta a

leucite ed a sanidino e biotite, livelli cineritici e lapilli, flussi di pomice a distribuzione areale limitata (NAPPI & MARINI, 1986, NAPPI *et alii*, 1987, 1998). Al tetto di questa successione si rinvencono generalmente le pomice di ricaduta che caratterizzano la base della ignimbrite di Orvieto-Bagnoregio a cui è associato ultimo importante evento di collasso della caldera (ACOCELLA *et alii*, 2012).

3. - LA GEOLOGIA DEL SOTTOSUOLO DI BOLSENA

L'assetto strutturale e stratigrafico del sottosuolo di Bolsena è molto complesso in quanto in esso affiora una successione di rocce vulcaniche costituita da prodotti di vari apparati o centri eruttivi anche minori, disarticolata in modo diffuso dalla tettonica che ha interessato i margini della depressione vul-

cano tettonica del Lago di Bolsena.

Sia nei pochi affioramenti presenti nell'area urbana che nelle cavità presenti nel sottosuolo (Figg. 4b, 4c) è possibile osservare gli effetti della tettonica sinsedimentaria che ha prodotto il diffuso ed articolato sistema di faglie schematizzato nella figura 3. Ad esempio nell'affioramento presente lungo via Madonna del Giglio, presso il Convento di Santa Maria del Giglio, (Fig. 4a), come anche in quelli presenti all'interno di alcune cavità (Fig. 4b), si vedono gli effetti dei processi deformativi a scala intermedia, con sistemi di faglie dirette generalmente orientate NNW-SSE che ribassano a gradinata le unità vulcaniche verso SW con spaziatura e rigetto dell'ordine delle decine di metri (schema 1 della Fig. 3). In altri casi invece è possibile osservare sia in affioramento che all'interno delle cavità investigate gli effetti a pic-

cola ed a piccolissima scala dei processi deformativi (schema 2 della Fig.3 e Fig. 4c). Con spaziatura e rigetto tra le discontinuità variabile da scala metrica a centimetrica. Questa associazione di sistemi di piccole faglie di modesto rigetto associate a faglie di ordine gerarchico maggiore che disarticolano le successioni piroclastiche a scala intermedia all'interno dei grandi blocchi ribassati dalle discontinuità principali è un motivo strutturale ricorrente che rende di fatto molto complessa la realizzazione di un cartografia geologico-tecnica di dettaglio, soprattutto in mancanza dei nuovi fogli della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, n° 333 Acquapendente e n° 334 Orvieto, che avrebbero potuto fornire un quadro di riferimento stratigrafico aggiornato per i Vulcini nord-orientali. E' stata quindi realizzata una cartografia geologica estremamente semplificata e



Fig. 4 - Esempi di deformazioni a scala intermedia: a) Depositi piroclastici ben stratificati disarticolati da una faglia subverticale orientata NNW-SSE con rigetto di circa 10 m. (Via Madonna del Giglio); b) agglomerato piroclastico massivo e caotico con matrice cineritica disarticolato da faglie sinsedimentarie (circa 260/55°) che ribassano le unità vulcaniche verso SW, al tetto del piano di faglia sono presenti depositi piroclastici stratificati (Cavità.27 – Foglio 18 particella 85 – quota pavimento del locale circa 353m s.l.m.). c) Esempi di deformazioni a piccola scala: depositi piroclastici stratificati dislocati da una fitta rete di piccole faglie sinsedimentarie (Cavità n. 26 Foglio 18 particella 85 - quota pavimento del locale circa 353m s.l.m.).

- *Examples of deformations at intermediate scale: a) Well layered pyroclastic deposits disarticulated by NNW-SSE trending normal fault with a displacement in the order of ten meters (Via Madonna del Giglio); b) massive and chaotic pyroclastic agglomerate with cineritic matrix disarticulated by sinsedimentary faults (about 260/55°) which lower the volcanic units towards SW, at the roof of the fault plane there are stratified pyroclastic deposits. (Cavity 27 - Sheet 18 particle 85 - floor level of the room about 353m s.l.m.) c) Examples of small scale deformations: stratified pyroclastic deposits dislocated by a dense network of small sinsedimentary faults (Cavity n. 26 Sheet 18 particle 85 - floor level about 353m a.s.l.).*

priva di elementi strutturali (Fig. 5). La successione comprende dal basso verso l'alto: Tufi basali (Ti); Ignimbrite tefritico-fonolitica (Tf); Tufi superiori (Ts). Sono presenti inoltre colate di lave leucitiche (LL). La parte bassa dell'abitato sulle rive del lago si è sviluppata su una successione sedimentaria costituita da depositi lacustri con materiali vulcanici rimaneggiati (Lac).

Le cavità presenti nel sottosuolo di Bolsena hanno i loro ingressi all'interno della unità definita nel foglio 137 della Carta Geologica d'Italia (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1970, BERTINI *et alii*, 1971) come «Ignimbrite tefritico-fonolitica a scorie nere»,

indicata più semplicemente come Ignimbrite tefritico-fonolitica (Tf) nella figura 5. Si tratta, quasi sicuramente, di una manifestazione locale, dovuta ad un centro di emissione localizzabile nei pressi dello stesso abitato di Bolsena. Questa unità piroclastica tende a mantellare ed a suturare le discontinuità prodotte dalle precedenti fasi di collasso calderico. È equivalente all'unità denominata agglomerato caotico (3) nella suddivisione proposta da NAPPI RENZULLI & SANTI (1991) (Fig. 2).

Sotto l'aspetto giaciturale questa unità è discordante e presenta un contatto erosivo rispetto alle sottostanti unità. Ad esempio poco a nord dell'abitato

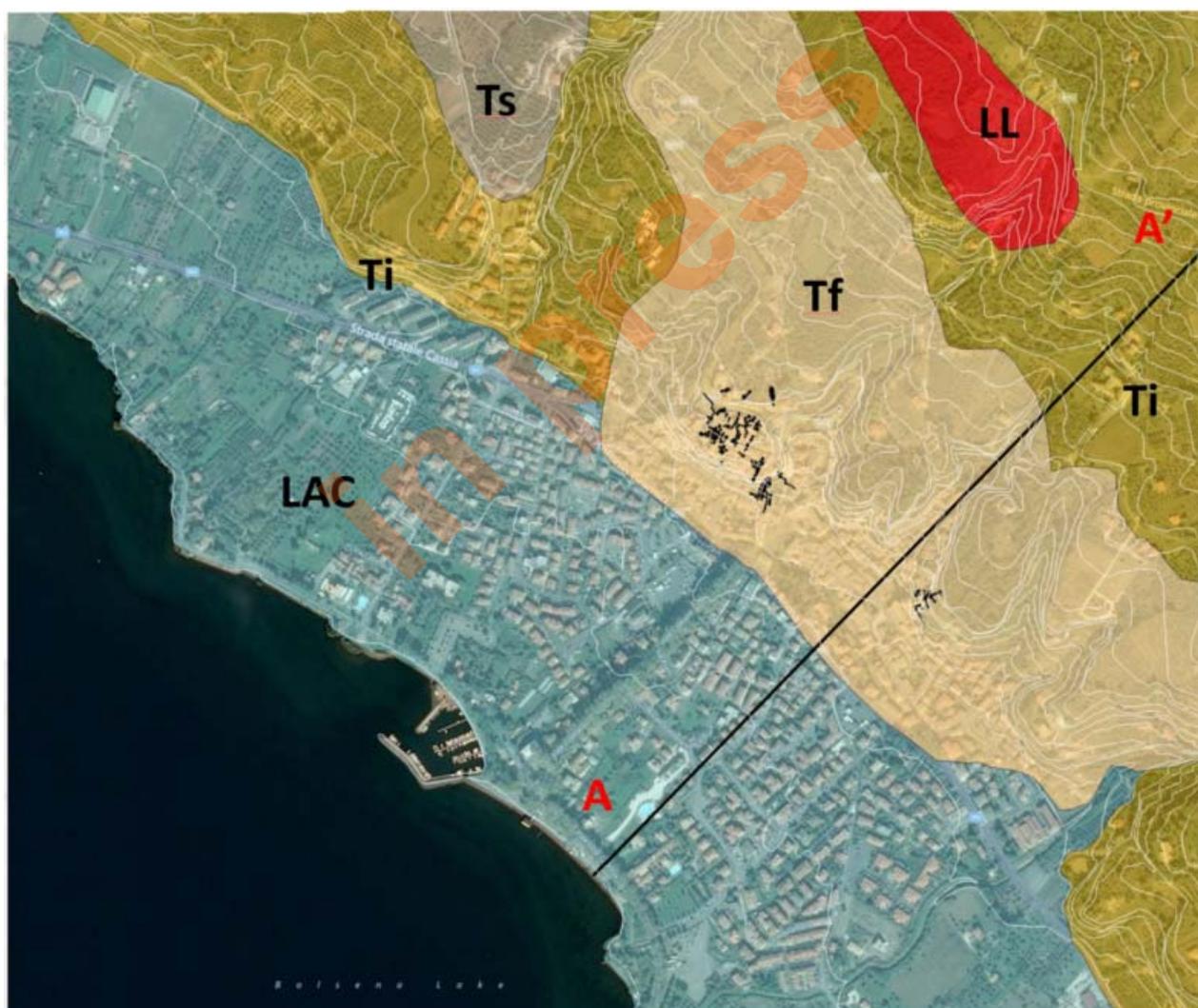


Fig. 5 - Carta geologica semplificata dell'area di Bolsena - Tufi basali (Ti); Ignimbrite tefritico-fonolitica (Tf); Tufi superiori (Ts); Lave leucitiche (LL); (LAC) Depositi fluvio-lacustri. A-A' traccia della sez. schematica di Fig. 2. (Le cavità sono indicate in nero).

- Simplified geological map of the Bolsena area - Basal tuffs (Ti); Tefritico-phonolytic ignimbrite (Tf); Upper tuffs (Ts); Leucite bearing lava (LL); (LAC) River-lake deposits - A-A' trace of schematic cross-section of Fig. 2. (The cavities are indicated in black).

di Bolsena, lungo la strada che sale verso la località il Giglio si osserva distintamente, sulla destra, il contatto con la sottostante Ignimbrite di Orvieto, caratterizzato da una macata discordanza angolare. Nei rilievi effettuati negli affioramenti presenti in ambito urbano e nelle cavità nell'ambito di questa unità è stato possibile distinguere alcune principali litofacies: Depositi piroclastici ben rinsaldati, massivi, di "aspetto lavico", con matrice cineritica di colore avana chiaro con molti fenocristalli femici, intensamente fratturati ed alterati nelle porzioni più superficiali esposte agli agenti esogeni, con fratture persistenti diversi metri subverticali beanti, talora con riempimenti di paleosuoli limoso cineritici rosastrati, passanti superiormente ad un agglomerato piroclastico con matrice cineritica da poco a mediamente rinsaldato. Spessori parziali affioranti circa 8-10m. Agglomerato piroclastico caotico con litici (prevalentemente frammenti di lave) e scorie anche di dimensioni pluridecimentriche in matrice cineritica, mediamente rinsaldati, massivi, scarsamente fratturati. Spessore difficilmente valutabile ma dell'ordine di qualche decina di metri.

Anche se gli ingressi delle cavità si aprono in questa unità, in molti casi il loro sviluppo prosegue all'interno delle sottostanti unità accorpate nei Tufi Leucitici basali (Ti) – Questo complesso nella sua accezione originaria (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1970, BERTINI *et alii*, 1971) raccoglie tutte le lave ed i depositi piroclastici antecedenti all'emissione dell'Ignimbrite tefritico fonolitica (Tf); ovvero tutte le unità definite a NAPPI RENZULLI & SANTI (1991), comprese tra il complesso piroclastico inferiore (11) ed il complesso piroclastico superiore (4) nello schema di figura 2. Comprende quindi una serie di litologie disarticolate da una diffusa tettonica e molto eterogenee sotto il profilo delle caratteristiche tecniche.. Gran parte delle cavità che proseguono il loro sviluppo nel complesso dei Tufi Leucitici Basali sono impostate nella "Ignimbrite di Orvieto" (NAPPI *et alii*, 1983) o "Tufo di Orvieto" (FARAONE & STOPPA, 1988) o Formazione di "Orvieto-Bagnoregio", (NAPPI, 1991), attribuita da NAPPI, RENZULLI & SANTI (1991) al secondo ciclo del Complesso Vulcanico di Bolsena ed indicata con il numero (5) nello

schema di figura 2. Questa unità oltre che nel sottosuolo è stata riconosciuta anche in alcuni piccoli affioramenti non cartografabili, presenti all'interno dell'area urbana di Bolsena. Essa è composta da più unità di flusso (colate piroclastiche) accompagnate o precedute da depositi da ricaduta (*airfall*) e da depositi di *surge* che rappresentano le fasi dell'eruzione che ha provocato il collasso principale della caldera. Nell'area dell'abitato di Bolsena affiora la *facies* più proximale di questa formazione (NAPPI 1991), con spessori piuttosto ridotti, contenuti in circa una decina di metri. Le caratteristiche tecniche risultano piuttosto variabili in funzione della tipologia dei depositi. In alcune cavità tra la base della unità dell'Ignimbrite tefritico-fonolitica (Tf) e l'Ignimbrite di Orvieto, localmente sono presenti anche depositi che possono probabilmente essere attribuiti al complesso piroclastico superiore di NAPPI, RENZULLI & SANTI (1991) indicati con il numero (4) nello schema di figura 2. Questi depositi sarebbero originati da più centri di emissione dislocati nel settore nord-orientale dell'Apparato vulsino. Sono costituiti da alternanze di strati da sottili a medi di strati terrosi, livelli di sabbie vulcaniche, pomici, lapilli e ceneri, talora con intercalazioni di tufi rimaneggiati e paleosuoli, ad indicare periodi di stasi dell'attività vulcanica. Si tratta quindi di depositi poco coerenti, in alcuni casi utilizzati per favorire l'avanzamento dello scavo all'interno dei litotipi più competenti in cui risultavano intervalati e quindi completamente cavati. Spesso le condizioni di esposizione non permettono di chiarire i rapporti stratigrafici con le altre unità, quindi ove presenti è preferibile distinguere i depositi di dubbia attribuzione come singole litofacies al pari dei prodotti dei con di scorie e delle piccole colate di lava che fluivano lungo i versanti interni della caldera e che sono da considerarsi come manifestazioni contemporanee o conseguenti a fenomeni di assestamento vulcano-tettonico. Tra questi depositi di dubbia attribuzione rientrano anche alcuni piccoli affioramenti entro l'abitato di Bolsena costituiti da depositi piroclastici in strati da sottili a medi costituiti da alternanze di livelli di cineriti medie-grossolane con livelli di pomici e lapilli con molti litici tra cui anche frammenti di lave leu-

cititiche e paleosuoli di colore marrone bruno con tessitura limoso-sabbiosa. Al tetto dei paleosuoli sono presenti anche livelli mineralizzati di colore bruno. Le pomice in alcuni casi presentano livelli di 3-5 cm con ripetuta gradazione diretta-inversa. Spessori estremamente variabili, da diversi metri a zero.

4. - DISTRIBUZIONE E TIPOLOGIA DELLA CAVITÀ

Le aree del centro storico interessate dalla presenza delle cavità sono ubicate prevalentemente a Nord della direttrice che unisce Corso Cavour -

Corso Vittorio Emanuele a Via 4 Novembre, e coincidono con la zona in cui affiorano i depositi piroclastici dell'attività Vulcina; mentre risultano esigue le cavità nella zona posta ad ovest della già citata direttrice, in quanto in essa al di sopra dei depositi piroclastici affiorano depositi alluvionali e fluvio-lacustri incoerenti o scarsamente litificati. Quest'ultimi risultano poco idonei allo scavo di cavità stabili, in grado di autosostenersi essi sono sede di una falda freatica la cui profondità diviene assai prossima alla superficie topografica nei settori più depressi antistanti il bacino lacustre.

Per i rilievi è stata utilizzata una aerofotogrammetria in scala 1:2.000 prodotta a cura del Comune di Bolsena. Le cavità investigate sono comprese

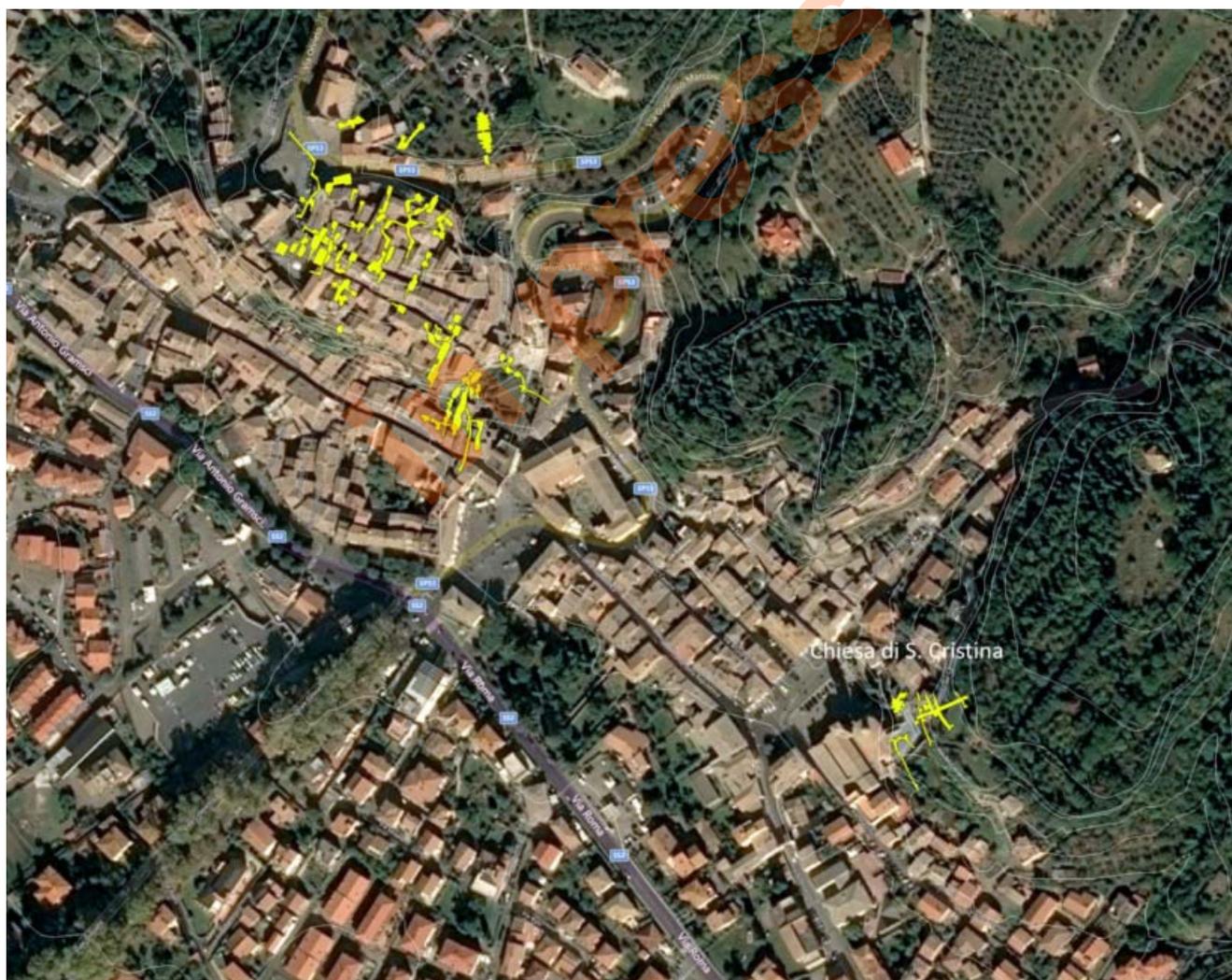


Fig. 6 - Cavità censite nel nucleo medioevale del centro storico di Bolsena (evidenziate in giallo).
- Cavities surveyed in the medieval core of the Bolsena historic center (highlighted in yellow).

quasi tutte nel Foglio catastale n.18 in quantità minore nei Fogli 10, 12 e 17.

Nella figura 6 sono state evidenziate le cavità che interessano il Centro Storico, oggetto di censimento e di rilevamento nel 2002 da parte dello studio dell' Ing. Finocchiaro, su incarico del Comune di Bolsena, nell'ambito di un progetto di consolidamento finanziato dalla Regione Lazio. Su tali cavità è stato condotto un rilevamento geologico-tecnico di dettaglio dalla Università degli Studi della Tuscia (CHIOCCHINI & MADONNA, 2002) che ha portato alla realizzazione di 51 schede descrittive delle caratteristiche delle cavità. Sempre nella stessa figura sono state evidenziate anche altre cavità presenti nel centro storico di Bolsena ed in particolare le catacombe Presenti sotto la chiesa di S. Cristina (Fig. 7). Nel corso di questo studio tutte le cavità note per le quali è stato possibile ricostruire o acquisire la planimetria e i dati plano al-

timetrici sono state georeferenziate ed inserite in una piattaforma GIS. Questo ha permesso di elaborare un modello 3D (Figg. 8a,b), grazie al quale possono essere studiate le relazioni tra andamento delle cavità nel sottosuolo, topografia e sviluppo delle sovrastrutture abitazioni ed estrarre molto facilmente dei profili con qualsiasi orientazione (Fig. 9). Modello che in futuro contiamo di sviluppare ulteriormente con la introduzione di altri *layer*: perforazioni di sondaggio e di dati sul sottosuolo e geotecnici, posizione delle falde e delle sorgenti (dati idrogeologici), dati storico archeologici, ecc. al fine di arrivare ad un modello del sottosuolo integrato ed interdisciplinare u salvaguardia di per questa straordinaria città d'arte .

Alcune di queste cavità hanno forme semplici, generalmente rettangolari, con il soffitto leggermente arcuato. Tale tipologia si rinviene più spesso nelle cavità che si aprono direttamente nelle pareti degli am-

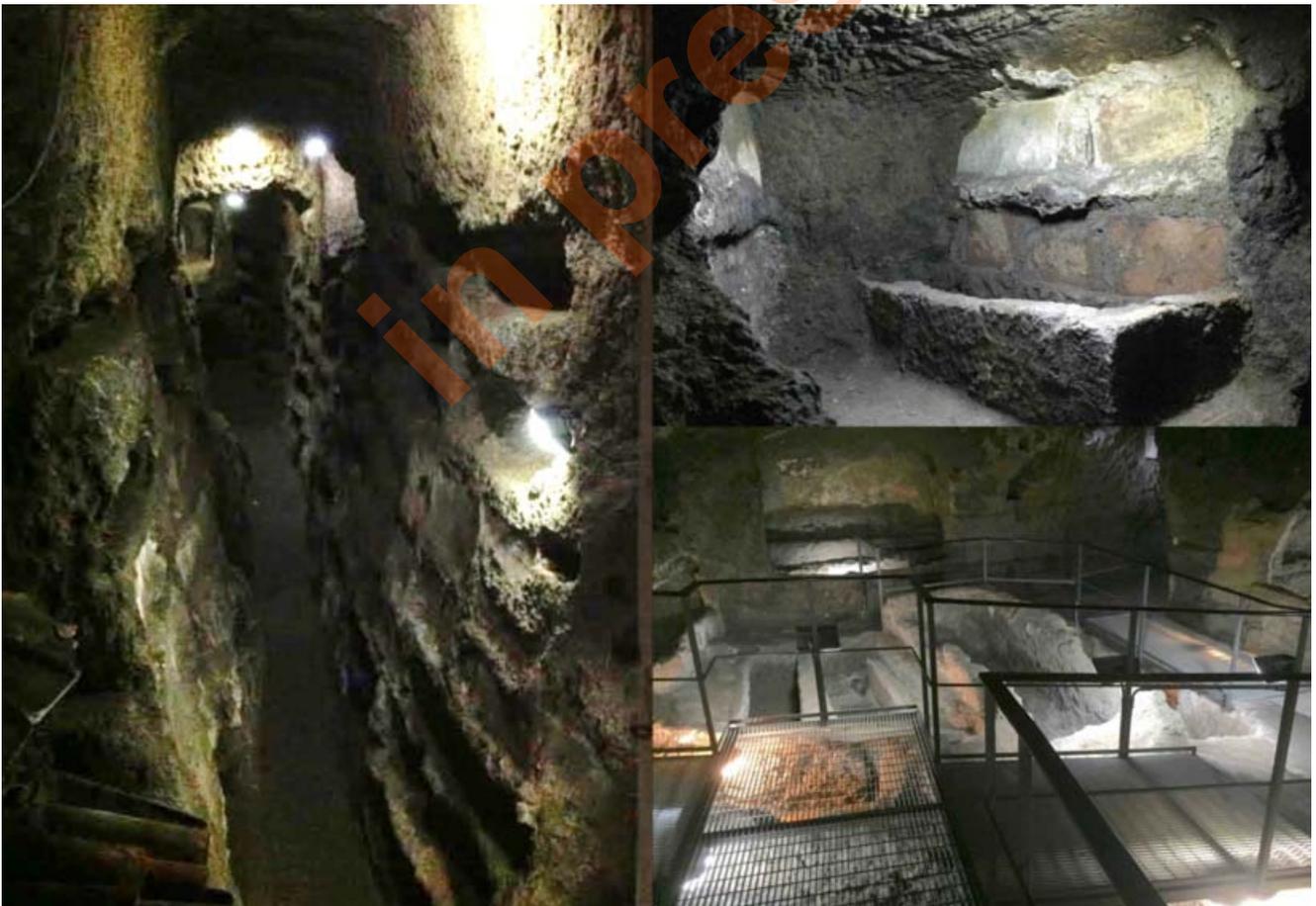


Fig. 7 - Catacombe presenti sotto il versante nord-est della Basilica di Santa Cristina.. Datate tra il IV ed V secolo d.C., ospitano circa 1600 loculi funerari.
- Catacombs under the north-east side of the Basilica of Santa Cristina.. Dated between the 4th and 5th centuries AD, they house around 1600 funeral niches.

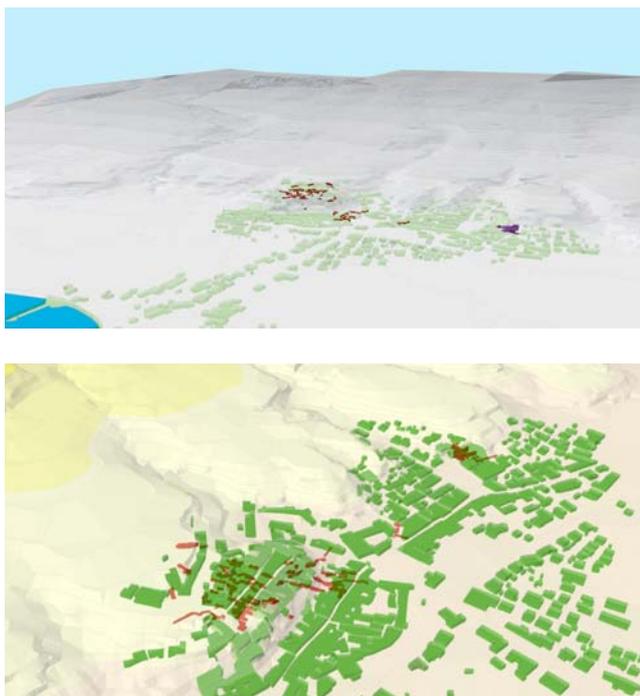


Fig. 8- a) Modello 3D dell'area di Bolsena (Progetto GIS): in rosso sono evidenziate le cavità, in viola le catacombe, in blu il lago, in grigio a sfumo il modello digitale del terreno, in verde l'edificato. b) dettaglio del modello 3D dell'area urbana di Bolsena (Progetto GIS): le cavità sono evidenziate in rosso, in verde l'edificato, in grigio a sfumo il modello digitale del terreno, in tonalità di giallo le fasce altimetriche.

- a) 3D model of the Bolsena area (GIS Project): in red are highlighted the cavities, in purple the catacombs, in blue the lake, in gray shading the digital terrain model, in green the built. b) 3D model sketch of the Bolsena urban area (GIS Project): in red are highlighted the cavities, in green the built-up.

massi rocciosi in corrispondenza di piccole rupi. Altre cavità hanno forme irregolari, spesso dovute a rielaborazioni delle preesistenti e sono contigue con altre o addirittura sono intercomunicanti. Sono frequenti le cavità che si sviluppano su più livelli, generalmente 2 o 3, con ampi vani collegati da cunicoli, spesso sovrapposti e separati tra loro da sottili diaframmi. In altri casi non vi sono cunicoli ma le cavità sono collegate fra di loro attraverso aperture piuttosto ampie. In alcuni casi opere murarie o terreni di riporto chiudono i cunicoli impedendone una ulteriore esplorazione, tali situazioni andrebbero accuratamente analizzate in quanto i le cavità o i cunicoli potrebbero essere stati chiusi perché interessati da crolli nel passato.

Il soffitto delle cavità più superficiali è talvolta attraversato da orifizi con diametro di circa 1m o più, detti “butti”, probabilmente di epoca medievale o

più antica, sovente chiusi con solai realizzati in tempi recenti.

Le dimensioni delle cavità sono sempre tali da essere praticabili. L'altezza è di 2- 3m; piccole nicchie larghe in media 1-2 m, ricavate a spese delle pareti, hanno invece altezze sempre modeste, generalmente inferiori a 2 m. I cunicoli, invece, hanno sempre dimensioni più ridotte, essendo larghi circa 1m ed alti meno di 2 m.

Le cavità sono state realizzate per vari scopi ma attualmente sono in gran parte inutilizzate o utilizzate solo in parte, come cantine, per conservare bevande ed alimenti.

Le condizioni statiche delle cavità che è stato possibile visionare sono, generalmente, buone. Le cavità potenzialmente sede di dissesti sono soprattutto quelle la cui volta è sottile e quelle con imbocco scavato in ripide pareti tufacee, specialmente se sono presenti in calotta litotipi meno competenti o litotipi competenti ma interessati da fessurazione. Solo in un numero abbastanza limitato di casi le cavità (vedi relative schede) presentano manifesti problemi di instabilità.

Nel caso di cavità con volta sottile, se la calotta presenta spessore inferiore a 3-4m e si sviluppa in litologie competenti, spesso è presente un maggior stato di fessurazione che, se associato a diaframmi molto sottili con le cavità adiacenti, sovrastanti e/o vibrazioni, potrebbe generare cedimenti (crolli), soprattutto in caso di aumento dei carichi sulle infrastrutture sovrastanti. Se la calotta presenta spessori superiori a 3-4m e le diaclasi sono assenti o molto spaziate, limitati crolli si hanno solo ove la volta delle cantine si sviluppa in litologie meno competenti costituite da depositi piroclastici stratificati e poco rinsaldati in alcuni livelli. Nel caso di calotte molto sottili possono inoltre verificarsi infiltrazioni di acqua sia dalla piccola falda superficiale, in genere stagionale, presente nel terreno di riporto e nei terreni adibiti a giardini o orti sovrastanti alcune cavità, sia da perdite diffuse della rete fognaria.

Viceversa, le cavità con imbocco scavato all'esterno in genere si aprono lungo pareti superficialmente abbastanza fratturate, anche se procedendo verso l'interno lo stato di fratturazione tende a dimi-

nuire sino a scomparire del tutto. La porzione più esterna dell'ammasso roccioso, infatti, è maggiormente esposta alla degradazione meteorica ed è sottoposta all'azione delle radici delle piante che

contribuiscono ad allargare le fratture. Inoltre essa è maggiormente interessata da rilasci di tensione con formazione di fratture che lo scavo delle cavità ha amplificata provocandone di nuove. Di conseguenza i

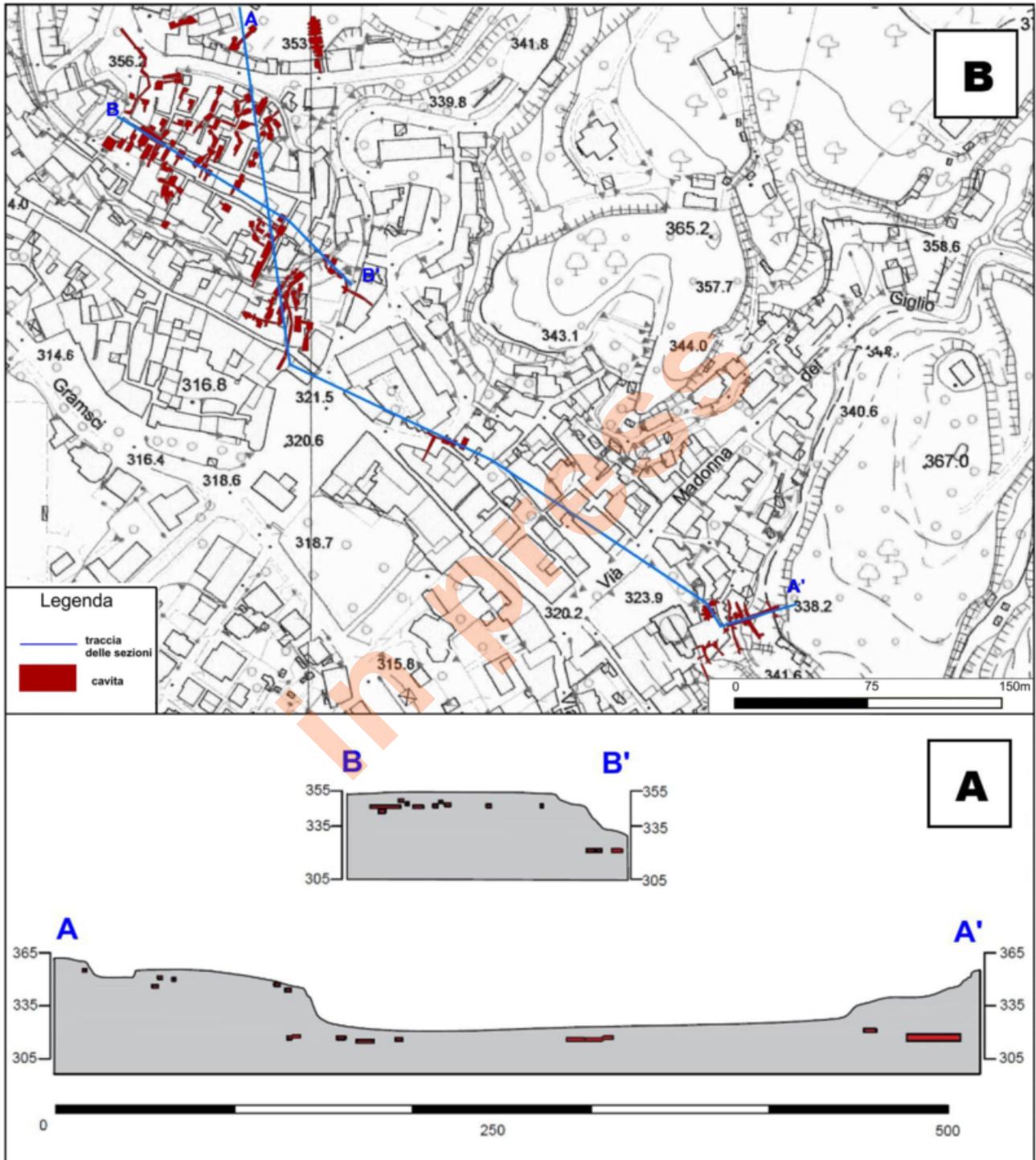


Fig. 9 - a) Esempio di utilizzo del modello 3D del progetto GIS: Profili topografici lungo le sezioni AA' e BB'; b) con la rappresentazione delle cavità rappresentate in rosso sulla C.T.R. in scala 1:5.000.

- a) Example of using the 3D GIS project model: Topographic profiles along sections AA' and BB'; b) with the representation of the cavities represented in red on the C.T.R. in scale 1: 5.000.

maggiori problemi si hanno soprattutto nelle porzioni iniziali delle cavità, in prossimità dell'ingresso, soprattutto ove le calotte hanno spessori inferiori a 3-4 m ed ove le cavità si allargano immediatamente dopo l'entrata, così che la parete esterna si assottiglia.

A causa dello stato di alterazione e fratturazione dell'ammasso roccioso, localmente vi sono possibilità di crolli anche nelle rupi esterne alle cavità ed in alcuni casi tali pareti andrebbero immediatamente bonificate perché rappresentano un a rischio per la popolazione e per i veicoli che transitano nelle strade adiacenti. Le cavità poste più in basso, rispetto al nucleo urbanistico medioevale, sono scavate in profondità nel costone tufaceo posto a monte, sviluppando i propri volumi al di sotto del centro abitato. La tipologia costruttiva prevalente è costituita da un cellaio a piano stradale delle dimensioni medie di 3 mt. x 12 mt. e da una cantina sullo stesso livello, ma che si spinge fino a circa 50/70 mt. all'interno del costone. Le cavità che ricorrono sul livello più alto mantengono il cellaio al piano stradale mentre l'escavazione si incunea per circa 30/40 mt. nei depositi piroclastici retrostanti con una profondità che raggiunge progressivamente circa 4/6 mt. sotto il piano stradale.

Per quanto riguarda le catacombe presenti, sotto il rilievo posto a nord-est della Basilica di Santa Cristina, esse ospitano circa 1600 loculi funerari. Datate tra il IV ed V secolo d.C., sono costituite da un corridoio centrale, diramazione di un condotto più antico, lungo circa quaranta metri ed alto sette, dal quale ne partono altri secondari, perpendicolari e con lunghezza decrescente man mano che ci si avventura sottoterra (Fig. 7).

Le pareti, come in tutte le catacombe, sono occupate da loculi e nicchie, scavate nella successione dell'ignimbrite tefritico-fonolitica, a seconda delle dimensioni dei corpi e sigillate da grandi mattoni romani che venivano fissati con calcina e spesso rifiniti con iscrizioni, graffiti o dipinti. I più ricchi facevano incidere il loro epitaffio su lastre di marmo lavorate.

In contrasto con la storiografia ufficiale, che lega l'origine delle catacombe e la tomba di S. Cristina ad una necropoli paleocristiana, viene avanzata anche l'ipotesi che queste sorgano su una antica via cava

etrusca e che lo stesso culto della santa, risalente al IV secolo d.C., altro non sia che la prosecuzione di culti precedenti, assimilati, come altri nella zona, e trasformati nel passaggio dal paganesimo al cristianesimo.

5. - I LAVORI DI CONSOLIDAMENTO DELLE CAVITÀ

I lavori sono stati eseguiti con un finanziamento della Regione Lazio di € 549.510,00; iniziati nel gennaio del 2004 sono terminati nel settembre del 2005.

I criteri di intervento sono stati generalmente quattro: 1) bonifica idraulica con la manutenzione delle reti di acquedotto e fognature. 2) Riparazione locale 3) Consolidamento e/o realizzazione pareti di contenimento e/o palificate. 4) Tombamento.

Il risanamento idraulico dell'acquedotto e fognature è stato eseguito soprattutto in due aree del centro storico: Piazza del Bottino e C.so della Repubblica. Le reti in esercizio ormai dai primi del 900, permettevano percolazioni di acque minacciando in modo significativo le fondazioni delle schiere abitate vicine. Il progetto ha mantenuto le reti e regolarizzato le livellette di scorrimento delle acque superficiali.

Le riparazioni locali sono state eseguite su tutto il centro abitato. La tipologia di intervento ha seguito metodi tradizionali: cuci/scuci, piccoli muri di contenimento, perforature, speroni, architravi, iniezioni di resine espandenti e bonifica delle alberature.

Sono state realizzate pareti o palificate in due aree: Via Santa Maria della Pace e Via della Rena dove i rischi minacciavano gravemente la sicurezza della viabilità.

Solo quale ultima scelta si è scelto di procedere ai tombamenti. Le cavità sviluppavano il proprio volume pericolosamente al di sotto di una viabilità importante che unito alla prospettiva di far lavorare maestranze in luoghi confinati ad elevato rischio sicurezza ha determinato tale scelta progettuale. La malta di tombamento utilizzata (additivata con resine espandenti) è stata scelta con caratteristiche meccaniche simili all'ambiente geologico dell'intorno in

modo da minimizzare la possibilità di cedimenti differenziati.

Dopo 15 anni dalla esecuzione delle opere il risultato appare soddisfacente ed i luoghi di intervento non hanno manifestato criticità.

6. - CONCLUSIONI

Il centro storico di Bolsena ospita numerose cavità sotterranee ubicate prevalentemente a Nord della direttrice Corso Cavour - Corso Vittorio Emanuele - Via 4 Novembre, coincidenti con la zona di affioramento dei depositi vulcanici diffusamente tettonizzati del bordo interno della caldera dell'omonimo lago

Oltre alle cavità che è stato possibile investigare, e che sono state consolidate, risulta probabile che nel settore centro-settentrionale del centro storico di Bolsena siano presenti altri ipogei, non denunciati dai proprietari, nei quali non è stato possibile accedere in quanto l'ingresso di quasi tutte le cavità censite è ubicato all'interno di abitazioni, negozi o come proseguimento di cantine solo in parte interrato, ma comunque di proprietà privata.

Inoltre, è possibile che siano presenti sotterranei di cui durante le fasi di espansione edilizia del centro storico si è persa la memoria. Tali cavità sono ormai inaccessibili o probabilmente rimbombate nel corso dei secoli forse in seguito a crolli o cedimenti. Queste ultime, in assenza di una segnalazione da parte dei proprietari, per ovvi motivi di carattere pratico non possono essere individuate nell'ambito di uno studio di carattere generale su tutto il centro storico, ma dovrebbero comunque essere oggetto di specifiche ricerche nel caso di interventi sugli stabili o sulle infrastrutture soprastanti. Va comunque rilevato che in ambito urbano le scarpate ove si aprono le cavità, qualunque sia la loro natura, sono naturalmente le zone più instabili dal punto di vista geomorfologico sia per ragioni naturali che antropiche.

Tra le cause naturali che concorrono in modo determinante all'instabilità di questi settori sono da annoverare il rilascio delle tensioni nell'ammasso roccioso, in assenza di controspinta litostatica, e la

conformazione topografica caratterizzata da pareti per lunghi tratti verticali o quasi. I loro effetti si manifestano con la formazione di fratture ad andamento subparallelo alla parete tufacea. Lungo le superfici di frattura inoltre si può insediare la vegetazione che esercita una spinta meccanica con l'accrescimento dell'apparato radicale, tendendo ad allargare le fratture ed a disgregare l'ammasso roccioso. Le fratture inoltre favoriscono l'infiltrazione e la circolazione delle acque all'interno dell'ammasso roccioso con conseguente aumento dei fenomeni di alterazione chimico-fisica e quindi con il conseguente scadimento delle caratteristiche meccaniche dell'ammasso roccioso.

Tra le cause antropiche le cavità artificiali favoriscono il rilascio di tensioni nell'ammasso roccioso, che si concretizzano con la formazione di fratture, abbassando ulteriormente la resistenza al taglio dell'ammasso stesso. Si è osservato che spesso le cantine hanno la parete esterna piuttosto sottile - magari assottigliata nel corso del tempo per fenomeni di desquamazione - e pertanto risultano gravate, a parità di sovraccarico, da una pressione superiore. A ciò, spesso, si deve aggiungere anche il peso di un fabbricato sovrastante. Le cavità, poi, modificano anche la topografia del versante in quanto comportano la verticalizzazione del versante per rendere più fruibile l'entrata.

La piattaforma GIS realizzata per il censimento delle cavità sino a questo momento investigate rappresenta sicuramente un utile strumento per analizzare le complesse problematiche di un'area ad altissima valenza culturale come quella del centro storico di Bolsena.

È in progress lo sviluppo ulteriore di questo progetto con l'introduzione di ulteriori strati informativi riguardanti: dati sul sottosuolo (perforazioni di sondaggio ed altre indagini geognostiche e geofisiche); dati idrogeologici (falde e direttrici di flusso, portata delle sorgenti); dati storico archeologici, ecc., al fine di arrivare ad un modello del sottosuolo integrato ed interdisciplinare utile salvaguardia di questa straordinaria città d'arte.

BIBLIOGRAFIA

- ACOCELLA V., PALLADINO D.M., CIONI R., RUSSO P. & SIMEI S. (2012) - *Caldera structure, amount of collapse, and erupted volumes: The case of Bolsena caldera, Italy*. Geological Society of America Bulletin; 124, no. 9-10; 1562-1576. doi: 10.1130/B30662.1.
- AMODIO M., DE RITA D., DI FILIPPO M., FUNICELLO R., GALADINI F. & SPOSATO A. (1987) - *Evoluzione geologico-strutturale del bacino vulcano-tettonico di Bolsena (complesso Vulcanico Vulsino)*. Boll. G.N.V., 21-36.
- BARBERI F., INNOCENTI F. LANDI P., ROSSI U., SAITTA M. SANTACROCE R. & VILLA I.M. (1984) - *The evolution of Latera caldera (central Italy) in the light of subsurface data*. Bull. Volcanol. 47(1), 125-141.
- BERTINI M., D'AMICO G., DERIU M., GIROTTI O., TAGLIAVINI S. & VERNIA L. (1971) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 100.000. Foglio 137 "Viterbo"*. Serv. Geol. d'It., 109 pp.
- BUONASORTE G., FIORELISI A. & ROSSI U. (1987) - *Tectonic structures and geometric setting of the Vulsini volcanic complex*. Per. Min. 56, 123-136.
- BUONASORTE G., FIORELISI A. PANDELI A., ROSSI U. & SOLLIVANTI F. (1987) - *Stratigraphic correlations and structural setting of the pre-neoautochthonous sedimentary sequence of Northern Latium*. Per. Min. 56, 111-112.
- CIONI R., SBRANA A., BERTAGNINI A., BUONASORTE G., LANDI P., ROSSI U. & SALVATI L. (1987) - *Tephrostratigraphic correlations in the Vulsini, Vico and Sabatini volcanic successions*. Periodico di Mineralogia, 56, 37-155.
- LOCARDI E., FUNICELLO R., LOMBARDI G. & PAROTTO M. (1975) - *The main volcanic groups of Latium (Italy): relation between structural evolution and petrogenesis*. Guidebook Intern. Colloquium Planet. Geol. Rome september 22-30.
- MATTIOLI M. & NAPPI G. (1999) *The Ponticello plinian eruption*. Boll. Soc. Geol. It., 118, 243-254.
- MATTIOLI M., NAPPI G. & UPTON B.G.J. (1999) - *Mineralogy and geochemistry of Ponticello plinian sequence: inferences on feeding system of Vulsini Volcano (Italy)*. Bull. Volcanol.
- MELONI F. & NISIO S. (2015) - *Catalogo dei Sinkhole Antropogenici del Lazio 2013 ed organizzazione delle attività future*. Mem. Descr. Carta Geol. D'It. 99, 245-254.
- NAPPI G. & MARINI A. (1986) - *I cicli eruttivi dei Vulsini orientali nell'ambito della vulcanotettonica del Complesso*. Mem. Soc. Geol. It., 25, 679-687.
- NAPPI G. (1991) - *Guida all'escursione sui depositi piroclastici del Distretto Vulcanico Vulsino*. Urbino University, Italy.
- NAPPI G., CAPACCIONI B., MATTIOLI M., MANCINI E. & VALENTINI L. (1994a) - *Plinian fall deposits from Vulsini Volcanic District (Central Italy)*. Bull. Volcanol., 56, 502-515.
- NAPPI G., CAPACCIONI B., RENZULLI A., SANTI P. & VALENTINI L. (1994b) - *Stratigraphy of the Orvieto-Bagnoregio Ignimbrite eruption (Eastern Vulsini District, Central Italy)*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 49, 241-254.
- NAPPI G., CHIODI M., ROSSI S. & VOLPONI E. (1982) - *L'ignimbrite di Orvieto nel quadro dell'evoluzione vulcano-tettonica dei Vulsini orientali. Caratteristiche geologiche e tecniche*. Boll. Soc. Geol. It., 101, 327-342.
- NAPPI G., RENZULLI A., SANTI P. & GILLOT P.Y. (1995) - *Geological evolution and geochronology of the Vulsini Volcanic District (Central Italy)*. Boll. Soc. Geol., 114, 599-613.
- NAPPI G., RENZULLI A. & SANTI P. (1991) - *Evidence of incremental growth in the vulsinian calderas (central Italy)*. J. Vol. Geoth. Res., 47, 13-31.
- NAPPI G., RENZULLI A. & SANTI P. (1991) (1988) - *Correlazioni geocronologiche e strutturali tra i complessi vulcanici vulsini*. Atti del 74 Congresso della SGI, 392-398.
- NAPPI G., ANTONELLI F., COLTORTI M., MILANI A., RENZULLI A. & SIENA F. (1998): *Volcanological and petrological evolution of the Eastern Vulsini District, Central Italy*. J. Volcanol. Geotherm. Res., 87, 211-232.
- NAPPI G., RENZULLI A. & SANTI P. (1987) - *An evolutionary model for the Paleo-Bolsena and Bolsena Volcanic Complexes: a structural and petrographic study*. Per. Mineral., 56, 241-267.
- NISIO S. (2013) - *Fenomeni di sprofondamento in alcuni centri urbani*. IX Rapporto sulla qualità dell'ambiente urbano, ISPRA.
- PALLADINO D.M. & AGOSTA E. (1997) - *Pumice fall deposits of the western Vulsini Volcanoes (central Italy)*. J. Volc. Geoth. Res., 78, 77-102.
- PALLADINO D.M. & VALENTINE G.A. (1995) - *Coarse-tail vertical and lateral grading in pyroclastic flow deposits of the Latera Volcanic Complex (Vulsini, central Italy): origin and implications for flow dynamics*. J. Volc. Geoth. Res., 69, 343-364.
- PALLADINO D.M., SIMEI S., SOTTILI G. & TRIGILA R. (2010) - *Integrated approach for the reconstruction of stratigraphy and geology of Quaternary volcanic terrains: An application to the Vulsini Volcanoes (central Italy)*. The Geological Society of America Special Paper 464, 63-84.
- PECCERILLO A. (2005) - *Plio-Quaternary volcanism in Italy*. Springer, Heidelberg, 365 p.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1970) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 137 "Viterbo"*. II edizione.
- SPARKS R.S.J. (1975) - *Stratigraphy and geology of the ignimbrites of Vulsini Volcano, Central Italy*. Geol. Rundsch., 64, 497-523.
- VAREKAMP J.C. (1980) - *The geology of the Vulsinian area, Latium Italy*. Bull. Volcanol., 43 (3), 487-503.
- VERNIA N., BARGOSSO G.M., DI BATTISTINI G. & MONTANINI A. (1995) - *Caratteri geopetrografici e vulcanologici del settore sud-orientale vulsino (Montefiascone-Commenda, Viterbo)*. Boll. Soc. Geol., 114, 665-677.