

## *Il progetto SILENE*

*Un SIstema Lidar per l'Esplorazione della NEcropoli del Palazzone*

a cura di

Corrado Cencetti, Manuela Cecconi, Laura Melelli



  
FONDAZIONE  
CASSA RISPARMIO PERUGIA



*Culture Territori Linguaggi – 15*  
2019



Culture Territori Linguaggi

CTL 15

Università degli Studi di Perugia

2019

## Culture Territori Linguaggi

*La Collana non periodica dell'Università degli Studi di Perugia «Culture Territori Linguaggi» (CTL) è costituita da volumi monografici pubblicati sia nel tradizionale formato a stampa, sia in modalità digitale disponibile sul web: una scelta, quest'ultima, concordata dal Comitato Scientifico per garantire ai contenuti la più ampia diffusione possibile e per poterne assicurare, nel contempo, la massima fruibilità.*

*La stessa intitolazione esprime efficacemente la natura e gli intenti della Collana, nella quale trovano spazio i più significativi risultati di studi e ricerche riconducibili ai molteplici e diversificati ambiti disciplinari afferenti alle competenze umanistiche dell'Ateneo perugino o di collaboratori a esso collegati, così da offrire l'opportunità a docenti e ricercatori, nonché ai più meritevoli dottori di ricerca e laureati, di una sede qualificata nella quale pubblicare i frutti originali del proprio lavoro.*

La Collana CTL si avvale di procedura di *peer review* per la presentazione e la pubblicazione di monografie scientifiche (in conformità agli standard stabiliti da Thomson ISI).

La Collana pubblica monografie scientifiche in lingua italiana, inglese, francese, tedesca e spagnola. I prodotti sono corredati da abstract in lingua inglese. Il Direttore della Collana riceve ed esamina la proposta di pubblicazione, richiede il manoscritto all'autore e trasmette la documentazione al referente dell'area di competenza tematica nel Comitato Scientifico. Il referente, dopo aver eliminato dal manoscritto ogni elemento di identificazione dell'autore, provvede a inoltrarlo a due revisori (membri del Comitato Scientifico, studiosi, esperti e professionisti), almeno uno dei quali esterno all'Ateneo. I revisori inviano al Direttore della Collana e al referente un parere relativo al testo scientifico, così articolato:

- accettabile per la pubblicazione;
- accettabile dopo revisioni secondarie;
- accettabile con revisioni sostanziali e conseguente riattivazione della procedura (in tal caso, i revisori che hanno formulato il primo giudizio saranno chiamati a valutare la conformità degli adeguamenti);
- non accettabile.

Il Direttore provvederà a trasmettere all'autore il risultato della valutazione. Qualora i pareri dei valutatori risultassero contrastanti, il testo sarà inviato a un ulteriore revisore scientifico, non informato delle opinioni espresse in precedenza dai colleghi. Se il giudizio è negativo il lavoro è respinto, altrimenti è ammesso; in tal caso seguirà una delle procedure sopra esposte. La durata totale della procedura varia in funzione della natura delle osservazioni formulate dai revisori scientifici e dalla sollecitudine con cui gli autori apportano le modifiche richieste.

*Comitato scientifico*

Moreno Barboni, Marco Bastianelli, Andrea Bernardelli,  
Giuseppina Bonerba, Paolo Braconi, Alberto Calderini,  
Donata Castagnoli, Manuela Cecconi, Lucio Fiorini,  
Erminia Irace, Donato Loscalzo, Francesco Marcattili,  
Giancarlo Marchetti, Massimiliano Marianelli, Riccardo Massarelli,  
Marco Mazzoni, Lorenzo Medici, Laura Melelli,  
Alessandra Migliorati, Marco Milella, Massimiliano Minelli,  
Francesco Musotti, Maria Alessandra Panzanelli Fratoni,  
Paola Paolucci, Giovanni Pizza, Mirko Santanicchia,  
Massimiliano Tortora

*Direttore*

Fabio Fatichenti



*Il progetto SILENE*  
*Un SIstema Lidar per l'Esplorazione della NEcropoli del Palazzone*

a cura di  
Corrado Cencetti, Manuela Cecconi, Laura Melelli



Università degli Studi di Perugia

copyright © 2019  
Tutti i diritti riservati

Università degli Studi di Perugia  
*Collana* Culture Territori Linguaggi  
[www.ctl.unipg.it](http://www.ctl.unipg.it)

ISBN 9788894269789

## *Indice*

<i>Corrado Cencetti</i> - Prefazione	ii
I. <i>Luana Cenciaioli</i> - L'IPOGEO DEI VOLUMNI E LA NECROPOLI DEL PALAZZONE	15
II. <i>Laura Meelli</i> - LA NECROPOLI DEL PALAZZONE: DAL SOTTOSUOLO UNA CHIAVE DI LETTURA PER IL PAESAGGIO DI PERUGIA	39
III. <i>Roberto Bizzarri</i> - IL RILIEVO SEDIMENTOLOGICO E STRATIGRAFICO DELLA NECROPOLI DEL PALAZZONE	59
IV. <i>Manuela Cecconi</i> - IL CONTRIBUTO DELLA GEOTECNICA NELLA CONSERVAZIONE DELLE CAVITÀ IPOGEE MONUMENTALI	79
V. <i>Fabio Radicioni, Aurelio Stoppini, Andrea Brozzi, Grazia Tosi</i> - TECNICHE GEOMATICHE INTEGRATE PER IL RILIEVO DELL'IPOGEO DEI VOLUMNI E DELLA NECROPOLI DEL PALAZZONE	89
VI. <i>Fabio Radicioni, Aurelio Stoppini, Andrea Brozzi, Grazia Tosi</i> - TECNICHE GEOMATICHE INTEGRATE PER IL RILIEVO DELL'IPOGEO DEI VOLUMNI E DELLA NECROPOLI DEL PALAZZONE	107



## *Prefazione*

**CORRADO CENCETTI**

Dipartimento di Fisica e Geologia, Università degli Studi di Perugia

La Necropoli etrusca del Palazzone, più nota con l'appellativo della sua tomba più importante, l'"Ipogeo dei Volumni", è senza dubbio uno dei più pregevoli siti funerari etruschi del centro Italia. Nonostante ciò, la sua posizione periferica rispetto alla città di Perugia, in un'area priva di altre valenze storico-culturali, tra l'altro deturpata dalla presenza della vicina arteria stradale della E45, ne penalizza l'attrattiva turistica, per lo più concentrata nell'acropoli cittadina.

Il Progetto SILENE, acronimo di "Sistema Lidar per l'Esplorazione della Necropoli del Palazzone", che ho avuto l'onore e l'onere di coordinare, è stato promosso dal Dipartimento di Fisica e Geologia in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Perugia e reso possibile anche tramite il contributo finanziario della Fondazione Cassa Risparmio Perugia.

L'obiettivo del Progetto è quello di promuovere l'importanza di questo sito archeologico, evidenziandone un altro aspetto interessantissimo e cioè la sua valenza dal punto di vista geologico.

Le tombe, scavate a quote differenti all'interno dei depositi che costituiscono la struttura del Colle di Perugia, presentano pareti che possono essere considerate vere e proprie "sezioni geologiche tridimensionali", perché permettono di osservare e descrivere, da varie angolazioni (proprio perché orientate in maniera diversa), i sedimenti del Colle. Ciò ha reso senza dubbio più agevole una loro "lettura geologica" e l'interpretazione in chiave paleoambientale, vale a dire per ricostruire l'ambiente fisico in cui i terreni stessi sono stati depositati. Tale operazione sarebbe stata difficile, se non impossibile, tramite la semplice osservazione degli affioramenti in superficie, spesso mascherati dalla vegetazione o da coperture detritiche. Da qui l'importanza della Necropoli come "archeo-geosito": un perfetto connubio tra valenza storico-artistica e importanza geologica di un sito di indiscutibile valore archeologico.

L'utilizzo di tecniche GPS e digitali di rilevamento e rappresentazione (geomatiche), oltre a permettere l'individuazione dell'esatta ubicazione delle tombe nello spazio, al fine di posizionare con precisione i dati geologici, ha consentito di apprezzare l'intero sito archeologico nella sua tridimensionalità, evidenziando cioè la distribuzione di gran parte delle tombe sia in pianta che in quota. Il rilevamento è stato realizzato tramite la tecnica LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging, laser a scansione) che, grazie all'enorme numero di punti rilevati, impensabile tramite le tecniche convenzionali di rilevamento topografico, è riuscito a restituire non solo immagini virtuali delle tombe, ma vere e proprie "immagini solide", ovvero "nuvole di punti colorate" per ogni cavità acquisita. A completamento delle operazioni di rilevamento da terra, l'utilizzo di un drone, opportunamente equipaggiato per l'esecuzione di rilievi aerofotogrammetrici, ha permesso di restituire mappe topografi-

che, ortofotocarte e un dettagliato modello digitale del terreno dell'intera area della Necropoli.

I ricercatori del Dipartimento di Fisica e Geologia hanno curato soprattutto gli aspetti geologico-stratigrafici e geomorfologici del sito; quelli del Dipartimento di Ingegneria si sono occupati dei rilevamenti topografici e della restituzione digitale delle tombe e dell'area esterna che ospita il sito archeologico; ma solo l'entusiasmo, la sinergia e la collaborazione di tutti, secondo un approccio multidisciplinare e transdisciplinare nello svolgimento delle varie fasi del Progetto, ha permesso di raggiungere il risultato che il gruppo di lavoro si era prefissato.

Il 17 marzo 2018 è stato organizzato un Convegno a Perugia, per illustrare agli studiosi interessati e alla cittadinanza tutti i risultati del Progetto SILENE. Questa monografia di *CULTURE TERRITORI LINGUAGGI*, che viene pubblicata dopo circa un anno dall'evento, rappresenta la sintesi dei principali interventi dei relatori che vi hanno partecipato. In particolare:

- *Luana Cencioli*, Direttore del Polo Museale dell'Umbria e del Museo Archeologico Nazionale dell'Umbria, uno dei massimi studiosi della Necropoli del Palazzone, ha introdotto e descritto la Necropoli stessa, valorizzando la sua importanza dal punto di vista storico-culturale e archeologico;
- *Laura Meelli*, geologo e docente presso l'Università di Perugia, ha sottolineato l'importanza della Necropoli quale chiave di lettura per l'interpretazione geologica dell'intero Colle di Perugia;
- *Roberto Bizzarri*, geologo esperto in Sedimentologia e Stratigrafia del Quaternario, ha descritto le fasi del rilevamento dei depositi della Necropoli, interpretandone i risultati in chiave geologico-stratigrafica e paleoambientale;
- *Manuela Cecconi*, ingegnere geotecnico e docente presso l'Università di Perugia, ha evidenziato il contributo della sua disciplina nella conservazione delle cavità ipogee monumentali, fornendo utili contributi anche per il prosieguo degli studi che potrebbero essere condotti nella Necropoli;
- *Fabio Radicioni* e *Aurelio Stoppini*, ingegneri topografi e docenti presso l'Università di Perugia, coadiuvati dagli ingegneri *Andrea Brozzi* e *Grazia Tosi* hanno descritto le metodologie e le tecniche di rilevamento topografico non convenzionale utilizzate per il rilievo dell'Ipogeo e dell'intera Necropoli, illustrando i risultati raggiunti.

A costoro va il mio sincero ringraziamento per la disponibilità, la dedizione e lo spirito di collaborazione che li ha animati per il buon successo dell'intero Progetto di ricerca.

A nome di tutti i componenti la "squadra", desidero anche ringraziare:

- la Fondazione Cassa Risparmio Perugia che ha cofinanziato il Progetto SILENE;
- la Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio dell'Umbria che ha concesso le autorizzazioni allo svolgimento delle attività di rilevamento dell'area della Necropoli e tutto il personale dell'Ente, che si è reso disponibile per facilitare in ogni modo l'operatività del gruppo;

- Fabula Animations, per aver realizzato il sito web del Progetto SILENE (consultabile all'indirizzo [www.silenepg.it](http://www.silenepg.it)), dove sono riportati i risultati più significativi del progetto stesso;
- i Colleghi Prof. Massimiliano Rinaldo Barchi e Prof.ssa Simonetta Cirilli, per aver fornito il loro supporto alla realizzazione del Progetto.

Perugia, marzo 2019

*Corrado Cencetti*



*Il progetto SILENE. Un Sistema Lidar  
per l'Esplorazione della NEcropoli del Palazzone*  
a cura di C. Cencetti, M. Cecconi, L. Melelli  
*Culture Territori Linguaggi*, 15, 2019, pp. 15-38  
ISBN 9788894269789

## I

# L'IPOGEO DEI VOLUMNI E LA NECROPOLI DEL PALAZZONE. ARCHEOLOGIA E VALORIZZAZIONE

**LUANA CENCIAIOLI**

Direttore dei musei archeologici nazionali dell'Umbria (Perugia) e di Orvieto  
Polo Museale dell'Umbria

### ABSTRACT

The Volumni Hypogeum is one of the most relevant example of Etruscan tombs in central Italy. The tomb imitates an ancient Roman house with several rooms and refined decorations engraved along the walls and on the ceiling. In the Volumni Hypogeum cinerary urns are present, representing the family members of the Velimna family. Since its discovery, in 1840, other graves have been brought to light and nowadays the Necropolis of Palazzone, including the Hypogeum, consists of almost 200 hypogean tombs related to the Hellenistic and only partially to the Archaic Age. In the Necropolis, an *Antiquarium* is present too, where the archaeological artefacts are exposed together with other objects collected from other sites close to Perugia.

### Premessa

Quando il Prof. Corrado Cencetti e la Prof.ssa Laura Melelli mi contattarono, come funzionario competente della Soprintendenza per i beni archeologici dell'Umbria e direttore della necropoli del Palazzone, per sottopormi e per sostenere il Progetto SILENE, ritenni subito molto importante aderire poiché oltre alla realtà archeologica veniva preso in considerazione un altro aspetto, quello geologico, che contribuiva alla conoscenza del territorio di Perugia. D'altronde già la Prof.ssa Lucilia Gregori, che ricordo con molto affetto, se ne era occupata con varie pubblicazioni e con il contributo "Ipogeo dei Volumni (Perugia-Umbria): sinergia culturale tra discipline scientifiche e umanistiche" nel convegno "L'Ipogeo dei Volumni, 170 anni dalla scoperta", svoltosi nel 2010, pubblicato un anno dopo nel 2011, che intendeva ricordare l'anniversario del rinvenimento del famoso sepolcro, evento importantissimo per la Perugia Ottocentesca. L'obiettivo era quello di occuparsi di vari aspetti, dalla geologia, all'archeologia, all'architettura, alla chimica, e mostrare come un monumento antico potesse essere un esempio di interdisciplinarietà mettendo insieme

gli studi fatti negli ultimi decenni, visto il crescente interesse da parte delle Università, per avere un quadro completo integrando così le conoscenze.

Considerata l'importanza del progetto SILENE e le novità tecnologiche applicate per il rilevamento, che hanno portato ad importanti risultati, ho seguito sempre i lavori, anche se da lontano, essendomi trasferita dalla Soprintendenza al Polo museale dell'Umbria e non essendo quindi direttamente competente; mi ha fatto quindi molto piacere essere stata invitata al Convegno e ringrazio l'organizzazione dei lavori.

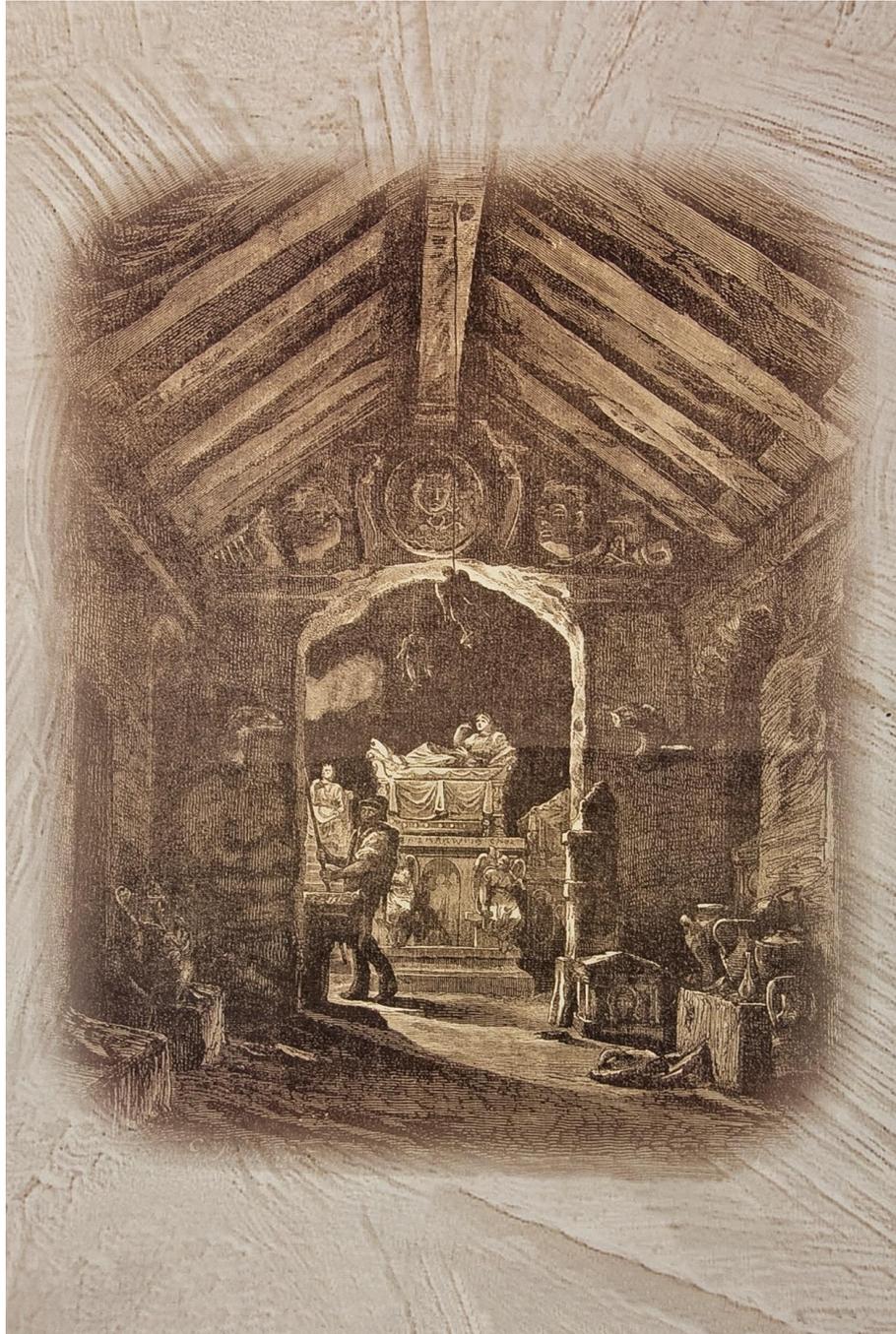
## 1. La scoperta dell'Ipogeo

L'Ipogeo dei Volumni, uno dei più significativi esempi di architettura funeraria etrusca di età ellenistica, fu rinvenuto casualmente nel 1840 nel corso di lavori per "la nuova strada nazionale Cortonese" che collegava Perugia a Roma, durante la costruzione della deviazione, resa necessaria a causa del terreno, in alcuni punti troppo ripido (Fig. 1). I lavori per l'assetto stradale avevano già messo in luce altre tombe e urne cinerarie in travertino recanti iscrizioni con caratteri etruschi, e latini.

Era esattamente il 4 febbraio 1840 il momento del rinvenimento; durante i lavori stradali per la "*nuova strada di Piscille...non lungi la villa del Palazzone*" fu messo in luce l'Ipogeo dei Volumni nei terreni di proprietà del Monastero di S. Lucia. Grande fu lo stupore, l'ammirazione per un "*tempio cosa sorprendente non più veduta più di qualunque tesoro*" come citano i dati di archivio in cui il costruttore Brizi scrive all'Ingegnere Giovan Battista Cerrini. Grande fermento intorno: i primi sul posto, il conte Benedetto Baglioni e il prof. G. Battista Vermiglioli, iniziarono l'inventario degli oggetti.

Dalle relazioni di Giulio Donati al Gonfaloniere risulta che girarono la camera sepolcrale con l'aiuto di lumi (e i reperti furono portati nella vicina Villa del Palazzone, di proprietà del Conte) e poi insieme a Daniele Brizi e Lodovico Lazi esaminarono le tombe. Grande lo stupore dopo che furono sollevati i coperchi delle urne cinerarie nel verificare solamente la presenza delle ceneri, che al primo contatto con l'aria si sollevarono e quindi si ricomposero sul fondo delle urne. Il sepolcro era integro e la prima camera a sinistra piena di terra.

Intervennero anche i Carabinieri che controllarono anche di notte, per evitare che venissero trafugati i reperti e che fossero effettuati altri scavi, ma soprattutto per mantenere l'ordine tra i numerosi curiosi che si apprestavano per la visita del monumento. Infatti tra le prime misure per la sicurezza dell'Ipogeo si dichiarò indispensabile proteggere l'ingresso con una porta e limitare l'accesso solo a "*a chi è capace di comprendere le bellezze di quelle opere d'arte e non a rozzi contadini e altri del più ignorante volgo*"; ma di sera arrivano molti contadini dai colli vicini con "lanterne" mossi dalla curiosità...nel numero di 150 circa...E nei giorni seguenti arrivarono altri famosi personaggi, tra cui Vincenzo Cherubini, per confrontarla con quella da lui trovata a Elce Belvedere nel 1835.



**Figura 1.** Ipogeo dei Volumni, scoperto il 4/2/1840, disegno da "Interior of an Etruscan tomb near Perugia" Stieler (1877)

Il Cardinale Camerlengo di Roma, autorità preposta (in base alla legge del card. Pacca del 7/2/1820 che stabilisce le regole per gli scavi), ordinò di non rimuovere le urne dalla loro collocazione originaria e di intervenire per consentire l'accesso e la protezione della tomba. E intanto continuarono i lavori ... *anche sulla collinetta per mettere in luce altri sepolcri.*

Mentre era in corso il procedimento per l'assegnazione di custodia al Monastero di S. Lucia e al Conte Benedetto Baglioni, e vari contenziosi tra proprietari, si progettò la tettoia provvisoria con scala, ma solo in seguito nel 1845 durante i lavori "*provvisori ad ornamento*

*del sepolcro*", si rinviene "l'antica scala di accesso" e venne dato l'incarico all'Architetto Comunale di eseguire un nuovo disegno per la copertura dell'Ipogeo.

Bisognerà però aspettare il 1867 per distinguere il vestibolo così come lo vediamo ancora adesso, ideato dall'Ing. Guglielmo Calderini (Fig. 2). Infatti l'avvocato Nazzareno Calderini acquistò il terreno dal Monastero di S. Lucia e l'ing. Guglielmo in accordo con il Conte Francesco Baglioni, succeduto al padre Benedetto, progettò il vestibolo. La costruzione venne studiata per accogliere i visitatori e soprattutto per proteggere l'Ipogeo, a pianta rettangolare, con una serie di gradoni per mettere le urne rinvenute nella necropoli, e due piccole stanze per la custodia e per l'esposizione di materiali. L'esterno a un solo prospetto, venne arricchito con particolari del repertorio delle urne funerarie: Testa di Medusa e coperchio fastigiato (Fig. 3).



**Figura 2.** Il vestibolo, interno

Nel 1880 venne approvato il pagamento dei lavori fatti dal conte Baglioni e dall'Ing. Calderini e Giancarlo Guardabassi propose modifiche al fabbricato, insufficiente a contenere le

urne secondo lo studioso, che auspica un nuovo *antiquarium* con un parco per la visita delle tombe, prospettando una situazione simile a quella attuale, attivata dal 2000.

Molti furono i visitatori anche stranieri, studiosi e non, e l'Ipogeo venne inoltre inserito nel percorso dei Gran Tour, che vede architetti e studiosi visitare l'Italia e approdare alla tomba dei Velimna-Volumni a disegnarne la bellezza, come dimostrano i disegni di Louise Hippolite Lebas, conservati al Musée du Louvre.

Ed ancora oggi sono più gli stranieri che vengono a visitare l'Ipogeo, prenotando le visite. Nel 1896 lo Stato divenne proprietario dell'Ipogeo e della raccolta di urnette sistemate all'interno e il fabbricato venne restaurato in vari periodi.



**Figura 3.** Il vestibolo, facciata

I materiali archeologici erano in gran parte dispersi già nel 1855, come dimostra tra l'altro la presenza di alcune urnette rinvenute alla necropoli Palazzone e trasferite poi alla villa del conte Baglioni. L'attuale disposizione museografica risale al 1918 ad opera di Edoardo Galli che pubblicò una breve guida, l'unica edizione con fotografie e catalogo ragionato. Il Galli, su incarico del Comm. Dante Viviani e del Prof. Luigi Adriano Milani, ridà l'aspetto che aveva la tomba al momento della scoperta, togliendo le urnette provenienti dalla necropoli, che erano state depositate all'interno del sepolcro; colloca sui gradoni le urne divise per tipologia e dispone sulle mensole i vari cinerari.

Seguirono gli studi di E. Zalapy e A. von Gerkan - F. Messerschmidt e poi una serie di pubblicazioni fino al volume di Enzo Lippolis. Vorrei segnalare l'interessante tesi di laurea di Maria Calzoni, discussa nel 1941 all'Università degli Studi di Firenze relatore il Prof. A. Minto che ho potuto visionare grazie ai parenti che ringrazio sentitamente, si occupa delle

necropoli perugine e di quella del Palazzone. Lavoro utilissimo per la ricostruzione delle tombe con i suoi corredi.

Vari sono inoltre i rilievi e i disegni della tomba.

Nel 2008 è stato condotto un interessante lavoro per la ricostruzione delle famiglie. Infatti le urne provenienti dalle tombe rinvenute nell'Ottocento nella adiacente necropoli del Palazzone, nella disposizione del Galli, ordine poi mantenuto, anche se con limitati cambiamenti, nel corso del Novecento, sono disposte per serie tipologiche e non per pertinenza allo stesso ipogeo.

Infatti le urnette in travertino, in base alle iscrizioni presenti sul coperchio o sulla cassa, sono riferibili ad ipogei di famiglie etrusche, che accoglievano all'interno delle tombe varie sepolture insieme al materiale di corredo. In alcuni casi la presenza di iscrizioni latine ne testimonia l'utilizzo per lungo tempo. Dal riscontro si è constatata la presenza di 22 ipogei (il Conestabile ne citava 38) ed altrettante famiglie; le più attestate sono quelle dei *aχu*, *acsi*, *anani*, *casni*, *tite petruni*, *veti*, *veti afle*, *vipi upelsi*, *vipi vercna*. Le urne sono state evidenziate con colori diversi e poi raffigurate in pannelli esplicativi.

Nel corso dei lavori è stato affrontato l'argomento dei miti e rappresentazioni varie sulla fronte delle urnette e un pannello li raccoglie e descrive.

Le urne in travertino sono una tipica produzione perugina di età ellenistica, fabbricate ed acquistate in ateliers o botteghe, individuate in alcuni casi. Esse contenevano le ceneri del defunto ed erano raccolte in "fazzoletti" di stoffa, di cui sono state trovate tracce in altri contesti, anche più recenti.

Il maggior numero di esse è del tipo architettonico con coperchio a doppio spiovente, con timpano liscio, o iscritto o decorato con motivi a rilievo. Alcune hanno la rappresentazione del defunto semigiacente.

La fronte delle urne può essere liscia, iscritta, o presentare scene figurate con soggetti mitologici: sacrificio di Ifigenia, uccisione di Troilo, duello tra Eteocle e Polinice, battaglia tra Greci e Persiani, caccia al cinghiale Calidonio, lotta tra Grifi e Arimaspi, Scilla; altre sono decorate con scene di banchetto, busti virili, flautista, mostri marini, testa di Medusa, bucrani e motivi vari. In molte urne o sui coperchi è inciso il nome del defunto.

Attualmente la visita all'Ipogeo dei Volumni è regolamentata per problemi di conservazione e sono in corso indagini igrometriche finalizzate alla difesa dall'umidità e alla stabilizzazione microclimatica condotte prima da Ippolito Massari e poi da Walter Violanti, della Libera Università Tematica Arti e Scienze Moderne, ora MAMBA con un contratto di comodato per i monitoraggi ambientali.

## 2. L'Ipogeo

La tomba appartenente alla ricca famiglia dei Velimna-Volumni, è articolata in dieci ambienti e imita la casa etrusca. Scavata nel terreno naturale ha accesso da una lunga scala, sistemata in età moderna (Fig. 4); la porta è formata da architrave, stipiti e lastrone di chiusura in travertino: sullo stipite destro corre su tre righe in verticale l'iscrizione etrusca rubricata, relativa alla costruzione della tomba CIE 3754=Rix, ET I, Pe 5.1: *arnth larth velimna*

*arzneal husuir suthi acil hece*; i due fratelli arnth e larth velimna figli di arznea (madre) la tomba fecero qui (Fig. 5).

Oltre la porta si dispone un atrio rettangolare con il soffitto imitante il tetto ligneo a doppio spiovente, con *columen* centrale e travi ortogonali, su cui si aprono due stanze, *cubicola*, per ogni lato; in fondo il *tablinum*, e due *alae* terminanti in due ambienti, con soffitti ornati da lacunari geometrici con protomi gorgoniche ed umane (Fig. 6). Decorati i timpani con scene riferibili all'oltretomba. Nel frontone d'ingresso è scolpito uno scudo tra due delfini e al di sotto a destra sulla parete si vede l'ala di una figura a rilievo; in quello di fondo, uno scudo tra due spade e due busti virili, uno con canestro o *sacculos*, l'altro con la lira. Sopra le spade due volatili (Fig. 7).

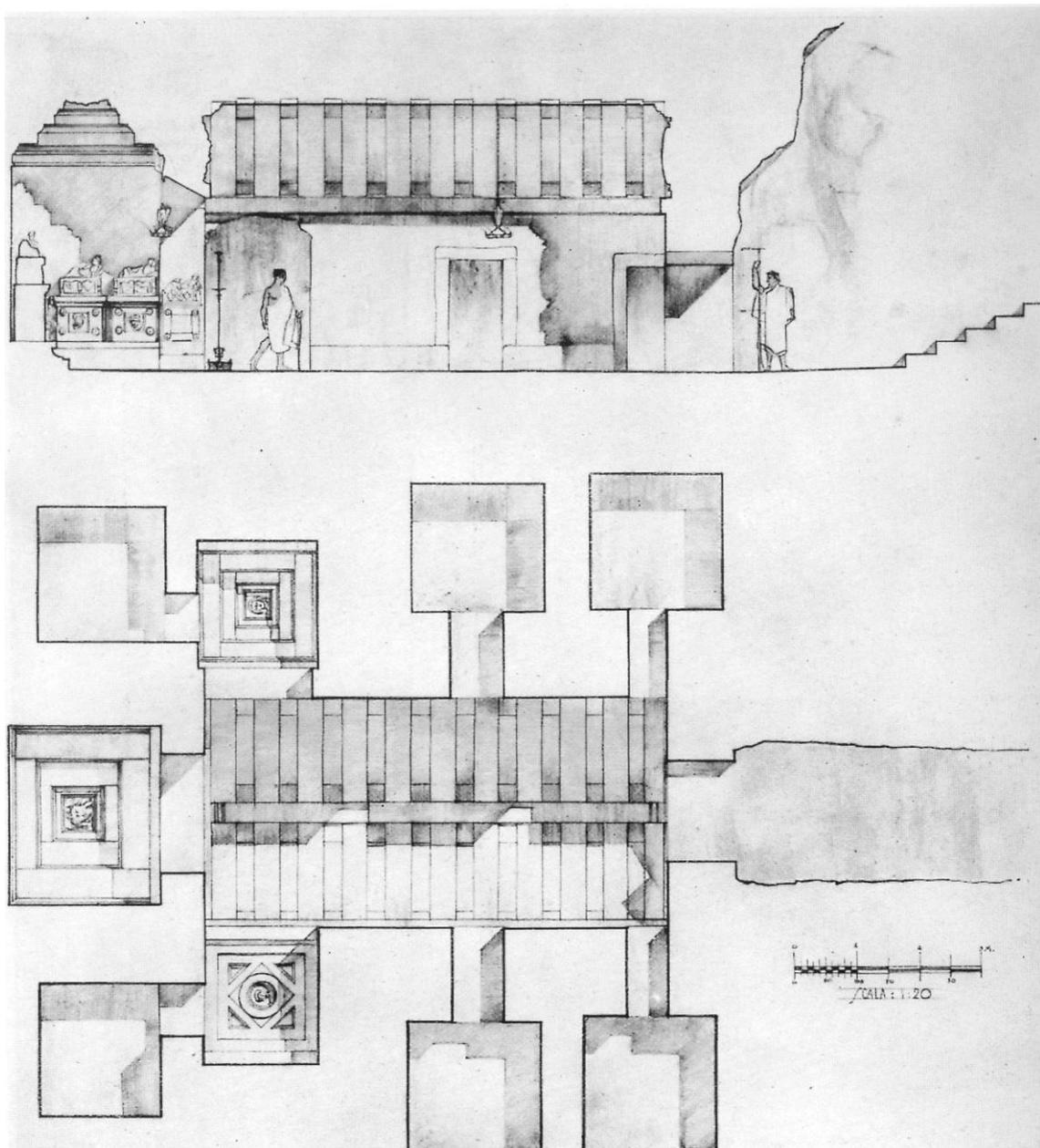


Figura 4. Pianta dell'Ipogeo



**Figura 5.** Stipite della porta in travertino con iscrizione



**Figura 6.** Interno della tomba



Figura 7. Timpano decorato con uno scudo con testa di Gorgone



Figura 8. *Tablinum*

Il *tablinum* ha il soffitto a cassettoni decorato da una protome di Medusa a rilievo (Fig. 8); nella cella sopra una banchina sono disposte sette urne cinerarie iscritte, sei etrusche, di ottima fattura, in travertino stuccato, una romana in marmo CIE 3757-3763=Rix,ET I, Pe 1306-1313 (Fig. 9). La più grande è quella addossata alla parete di fondo appartenente a *arnth velimnas* figlio di *aules*, CIE 3761 rappresentato semisdraiato a torso nudo sulla *kline* coperto

con il mantello, mentre tiene la patera; il letto è adorno di drappi e *fulcra* sono posizionati alla testa e ai piedi: le zampe sono modanate e decorate con rilievi e animali fantastici (sfingi), e anche il suppedaneo ornato di rosette presenta ai lati due civette. La cassa, a forma di alto basamento è fiancheggiata da due lase sedute, demoni funerari alati, con fiaccola tra le mani; al centro è dipinta in rosso la porta dell'Ade, da cui si affacciano quattro personaggi. A destra sono quattro urne in travertino con defunto recumbente e testa di Medusa nel prospetto, relative agli altri componenti della famiglia, il nonno *thefri*, il padre aule ed i fratelli *larth* e *vel* CIE 3757-60; le *klinai* sono ricoperte da drappi, il *fulcrum* è presente solo presso la testa, zampe e suppedanei sono modanati. I volti sono resi con caratteri somatici simili, ma scolpiti in modo da raffigurare idealmente le varie fasi della vita: la vecchiaia, la maturità, la giovinezza. A sinistra è la figlia *veilia* rappresentata seduta su un trono, coperto da drappi e poggia i piedi su un suppedaneo decorato da rosette e civette CIE 3762; vestita di chitone altocinto senza maniche e con mantello che lascia scoperto il braccio destro, indossa gioielli e un diadema che cinge la testa, dove i capelli sono raccolti in una crocchia (Fig. 10).

L'urna in marmo, appartenente ad un discendente della famiglia CIE 3763=CIL XI,1963, ultimo personaggio sepolto nella tomba, rappresenta un edificio romano, che riproduce la tipologia di un heroon funerario, con lesene e capitelli corinzieggianti a foglie lisce agli angoli, doppia porta sul davanti e scene di genere naturalistico sul retro. I timpani sono decorati da teste di Gorgone e rosette, e i lati lunghi da ghirlande sostenute da bucrani. Il coperchio è foggiato come un tetto con tegole e coppi e presenta una antefissa a palmetta sulla sommità anteriore e sfingi ai quattro angoli. L'urna presenta inoltre l'iscrizione bilingue, in cui il nome del personaggio sepolto è espresso in latino *Publius Volumnius Auli filius Violens Cafatia natus*, sulla fronte e in etrusco *pup.velimna au cahatial* sul tetto (Fig. 11). Le celle laterali sono vuote e talune hanno banchine ricavate nel terreno; nella seconda a destra è una decorazione a rilievo imitante l'architettura interna di un edificio con due civette sulla parete di fondo.

Gli oggetti scoperti nella tomba non si sa a quale deposizione appartenessero, e giacevano nell'atrio presso la parete a destra del tablino (Fig. 12). Vengono identificati dai disegni di Conestabile: elmo italico, paio di schinieri di tipo anatomico appesi alla parete con chiodini, scudo frammentario in lamina sbalzata, *kottabos*, punta di lancia, e presso l'urna di *P.Volumnis Violens* olpe e *oinochoe* in bronzo. Risalgono alla prima metà del III sec. a.C., almeno mezzo secolo prima delle deposizioni della tomba, esposti non come corredo, ma come arredo che richiamano lo *status*, la famiglia. Nella cella di fondo furono rinvenuti vari oggetti della sfera muliebre e forse attribuibili alla deposizione della donna: vari specchi, una pietra nera per stemperare i colori, un ferro da ricci, una scatoletta in osso.



**Figura 9.** Urne in travertino della famiglia Velimna: a partire da destra, *thefri, aule, larth, vel, arnth*



**Figura 10.** Urna di Veilia

Alla sinistra e alla destra dell'ingresso e nelle celle minori erano collocati serpenti in terracotta, e nella parte centrale dell'atrio e presso la porta d'ingresso del tablino pendevano due lucerne in terracotta in pasta grigia, che vengono così descritte (Fig. 13). La parte superiore della prima fu trovata intatta, sospesa mediante un filo di piombo al soffitto; rappresenta un giovane alato, nudo, e un cigno con il lungo collo sormonta il capo come un berretto. La parte inferiore giunta in frammenti, è la lucerna a più becchi, se ne conservava solo uno e nella vasca esterna è raffigurata una testa di medusa. Attualmente non rimane traccia della figura umana, che possiamo descrivere solo dai disegni e dalle foto pubblicate. Il giovane alato, in piedi, di prospetto, in posizione chiastica ha il capo con lunghi capelli sciolti, leggermente volto e chinato verso la spalla. Raffigurato nudo con il solo mantello che scende dalle spalle dietro il corpo si avvolge al braccio sinistro e poggia sulla spalla destra; ai piedi porta coturni o alti stivaletti. Varie le interpretazioni: cigno sacro ad Apollo per il Viviani; lare dal capo coperto di elmo per Vermiglioli; amorino derivante dal tipo di Ercole che scherza con Eros per Bendinelli; Bacco ed il suo genio per Zalapy. La parte inferiore della lucerna era costituita da un piatto concavo a più becchi (sei per il Vermiglioli, otto per il Viviani) decorato da una bella testa di Medusa con il capo leggermente piegato a destra, in atteggiamento quasi patetico che ricorda lo stile alessandrino o pergameno. Ben delineati i caratteri del volto, gli occhi grandi, le labbra dischiuse, e la testa è piena di riccioli da cui spuntano le ali e teste di serpente. L'altra lucerna pendeva davanti al *tablinum*. La figura alata si rinvenne caduta al suolo e priva del capo, rimasto pendente dall'architrave, legato ad un filo di piombo. Di questa rimane solo una parte della vasca con decorazione della Medusa. Il tipo si rifà a modelli etruschi tardo arcaici ed imita esemplari bronzei, la cui produzione è da localizzare nell'Etruria nord orientale, forse Perugia; trova confronti con una lucerna in bronzo del British Museum e ricorda un bronzetto del Museo di Firenze. La Medusa è simile nella trattazione a quelle raffigurate sulle urne del *tablinum* dell'Ipogeo.

Non tutti i materiali descritti dal Vermiglioli sono conservati, infatti alcuni sono andati dispersi a causa di furti; quelli rimasti sono esposti, dal 2007, all'interno dell'*antiquarium*: il *kottabos*, rimontato con i pezzi rimasti, lo scudo, gli schinieri, l'olpe bronzea, una testa di serpente e le lucerne: parte delle due vasche con testa di Medusa e un beccuccio. All'interno dell'Ipogeo sono invece riproposti in copia.

La tomba, costruita e decorata verisimilmente agli inizi del quarto venticinquennio del III sec. a.C. venne abbandonata dagli eredi, andati esuli, a seguito degli scontri e dissidi avvenuti in Etruria e solo dopo due secoli venne riaperta per la sepoltura di P. Volumnius Violens, a cura del figlio, magistrato perugino della tarda età augustea.



**Figura 11.** Urna in marmo di Publius Volumnis Violens



**Figura 12.** Corredo funerario in bronzo

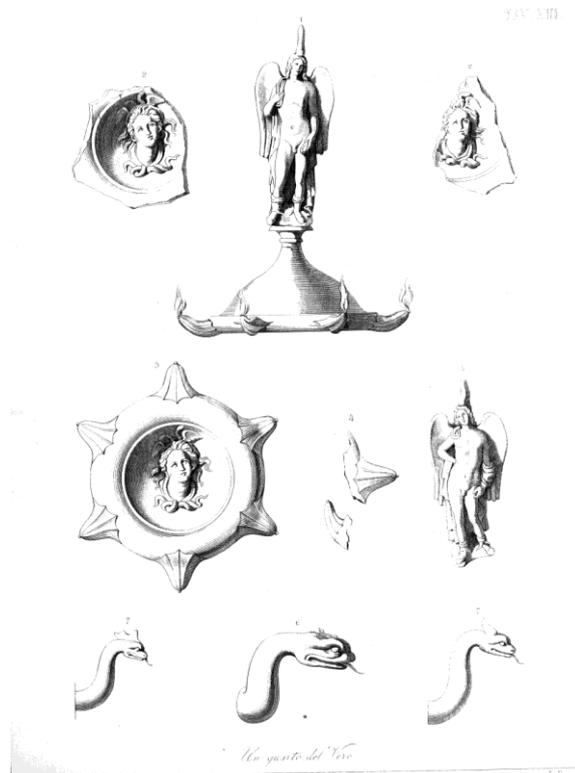


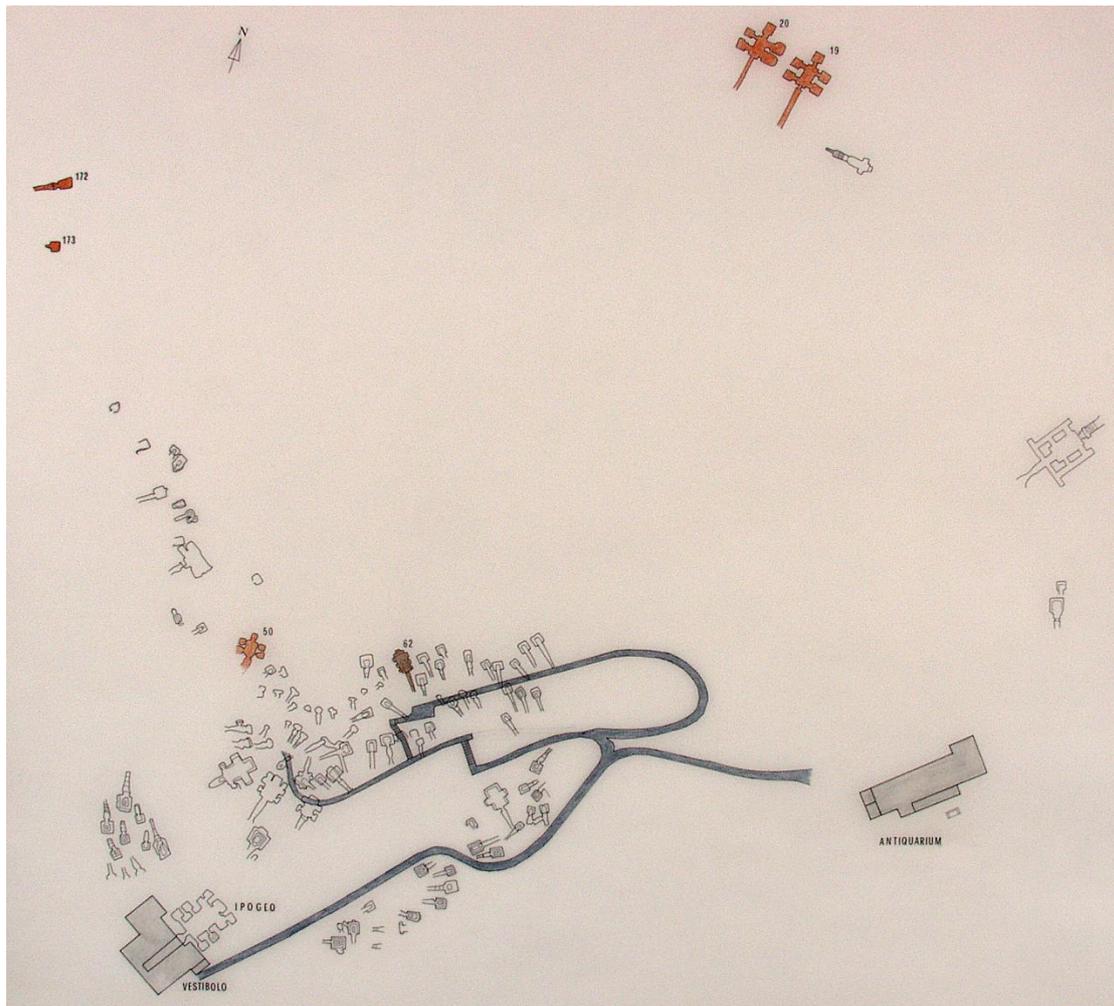
Figura 13. Materiali rinvenuti, lucerne e teste di serpente

### 3. La necropoli

A seguito dell'eccezionale rinvenimento della tomba a camera della famiglia etrusca dei Velimna furono condotte dal conte Baglioni, allora proprietario del terreno circostante e della vicina villa del Palazzone, una serie di fortunate campagne di scavo nella necropoli circostante, che dal nome della villa prese il nome di necropoli del Palazzone.

Gli scavatori ottocenteschi, interessati soprattutto al recupero dei materiali, non lasciarono una planimetria della zona con l'ubicazione delle tombe a camera scavate, le quali con il passare del tempo vennero chiuse e ricoperte, tanto da non essere più riconoscibili sul terreno.

Alcuni rinvenimenti fortuiti di tombe verificatesi nella zona, nel 1963, in seguito alla apertura di una cava di prestito di inerti, indussero la Soprintendenza a compiere una serie di ricerche e campagne di scavo. Le indagini succedutosi per molti anni, dal 1963 in poi, hanno permesso di accertare che la necropoli si estendeva ampiamente intorno all'Ipogeo dei Volumni, con tombe a camera assai numerose e frequenti, soprattutto di età ellenistica, ma in parte riferibili anche ad età arcaica e perciò di eccezionale interesse per la storia della città di Perugia nell'antichità (Fig. 14).



**Figura 14.** La necropoli etrusca

La necropoli del Palazzone, in uso dal VI sec. a.C. fino al II – I sec. a.C., domina da una parte la sottostante valle del Tevere e dall'altra la via che da Perugia scendeva verso il Tevere; è costituita da circa 200 tombe scavate nel terreno naturale "tassello", per lo più di età ellenistica, solo cinque di età arcaica. Queste ultime sono dislocate in due diverse zone: due, la n. 19 e la n. 20 sono su una piccola altura dominante il Tevere, e presentano pianta complessa con dromos, e ambiente centrale sul quale prospettano cinque celle. La n. 20 per problemi di stabilità aveva le pareti rinforzate all'interno con un muro a secco, mentre il soffitto era costruito con lastre di arenaria a doppio spiovente e *columen* centrale, poggianti su una cornice di arenaria.

Sono queste le tombe più ricche di materiali del corredo funerario (i materiali sono esposti al Museo archeologico nazionale dell'Umbria): dalla n.19, una delle più antiche, proviene un'anfora ionica "del tipo a la brosse" e un *deinos* samio con bande di vernice nero brillante, documenti eccezionali per l'Umbria e Perugia, pervenuti da un centro costiero, tramite forse Orvieto e Chiusi. La presenza di tali oggetti offre dati importanti sulla importazione di ceramica greco orientale, che si delinea in Etruria tra la seconda metà del VII ed il primo quarto del VI sec. a.C. Dello stesso sepolcro è una coppa dei Piccoli Maestri (*band cup*) attribuita al pittore di Tleson, attivo intorno alla metà del VI sec. a.C., dove sono raffigurati su un lato un combattimento tra due galli e sull'altro cervo pascente tra due ar-

pie (Fig. 15). Dalla stessa cella della tomba proviene un lacunare in bronzo con protome leonina. Il restante materiale di corredo è costituito da applique in bronzo, da vasi in bucchero di piccole dimensioni ed in bucchero pesante decorati da costolature e protomi.

Dalla tomba n.20 viene una *kylix* attica a figure nere attribuibile al Gruppo Leafless databile agli inizi del V sec. a.C., dove è raffigurato all'interno un gorgoneion e all'esterno Dioniso.



**Figura 15.** Coppa attica attribuita a Tleson, tomba 19



**Figura 16.** Anfora etrusca del Pittore di Esione, tomba degli *acsi*

Le altre tombe arcaiche (nn. 50, 171, 172, 173) si trovano a metà costa, lungo la via che scende da Perugia, e presentano una pianta molto semplice con una sola camera preceduta da un dromos; solo la n.50 ha pianta complessa con più celle.

Dalla tomba n.172 provengono materiali in bucchero ed un'anfora etrusca a figure nere ascrivibile al gruppo Monaco 883, databile agli inizi del V sec. a.C. Su un lato è raffigurato un cavaliere con elmo, in posa di galoppo, sull'altro un satiro ed una menade.

Interessante inoltre sempre da Palazzone la presenza di una coppia di schinieri in bronzo di tipo anatomico in lamina lavorata a sbalzo e decorata con motivi fitomorfi e volute, con iscrizione etrusca dedicatoria a Minerva. Gli schinieri di tipo greco, datati alla fine del VI-inizi V sec. a.C., dedicati a Minerva da parte di un etrusco nel V sec. a.C., trasportati da un santuario (Volsinii) ad una tomba e portati a Perugia.

Dall'Ipogeo degli *acsi*, scoperto nel 1843, ma non meglio identificato, proviene una *kelebe* etrusca volterrana, attribuita al Pittore di Esione, databile alla seconda metà del IV sec. a.C. Sul collo è raffigurata una protome alata, forse femminile, sul corpo Herakles nudo, mentre assale Ketos, il mostro marino, dall'altro lato Eracle che copre con il mantello Esione; dalla stessa tomba proviene un vaso plastico di grandi dimensioni, con estese tracce di policromia, databile al IV sec. a.C. (Fig. 16). Presenta alte anse a volute, terminanti con testine, ventre liscio e una ricca decorazione vegetale con foglie e fiori che inquadrano teste di satiri e menadi sul collo.

Le tombe di età ellenistica, sono per lo più a semplice camera, alcune hanno una pianta più complessa, con celle laterali, e sono pertinenti ad un nucleo familiare. Precedute da un *dromos*, erano chiuse da un lastrone in travertino e l'ambiente centrale, con copertura a volta aveva lungo le pareti una banchina dove venivano poste le urne cinerarie e parte del corredo, che a volte era deposto anche sul pozzetto al centro del pavimento, o da vasellame in ceramica comune, a vernice nera e verniciata di rosso, da unguentari, ollette, coppette, bicchieri, specchi in bronzo etc. A volte le olle in terracotta servivano esse stesse come urna ed all'interno deposte le ceneri.

Le urne ed i corredi rinvenuti negli scavi ottocenteschi, sono conservati nel vestibolo del piccolo edificio che ingloba l'Ipogeo dei Volumni, ed è molto difficile, non essendoci dati precisi, ricollegarli alle tombe di pertinenza.

Tra le tombe ellenistiche della necropoli, solo una ha un aspetto architettonico, la cosiddetta "tomba Bella" (Fig. 17). Scavata nel terreno naturale ha copertura a doppio spiovente con *columen* centrale e travature ortogonali, ad imitazione del tetto ligneo. La camera presenta sui lati lunghi e sul fondo nicchie, divise da lesene scanalate e capitelli a volute con foglie alla base e fiore centrale. In prossimità dell'ingresso sono scolpiti due cippi a pigna con lungo fusto e due armature con corazza e machaira (spada). Gli elementi architettonici della tomba, i capitelli, ricordano la decorazione della porta Marzia della cinta muraria di Perugia, datata al III sec. a.C. Sono presenti anche tombe "colombario" databili al II- I sec. a.C., che erano sepolcri scavati nel terreno naturale, distrutti nel tempo ed utilizzate in epoca posteriore come colombaie.

Da menzionare infine è la "tomba in rovina", costituita da una grande tomba ipogea, di dimensioni pari all'Ipogeo dei Volumni, che seppur in gran parte distrutta presenta il dromos di accesso, una camera rettangolare centrale, fiancheggiata su due lati da un corridoio e cella sul fondo. Databile in età ellenistica, la tomba fu utilizzata durante la seconda Guerra Mondiale come macello.

Nel 1963 venne espropriata la parte più importante della necropoli, in modo da destinare l'area a zona archeologica, aperta al pubblico, comprendendo anche un edificio destinato ad *antiquarium*, allestito in un casolare all'interno dell'area archeologica (Fig. 18). Vi sono esposti i materiali provenienti dalla necropoli: a piano terra i reperti trovati all'interno dell'Ipogeo al momento della scoperta, al piano superiore una tipologia dei reperti e delle urne esposti cronologicamente, spiegano la vita della necropoli dal VI sec. a.C. all'età romana. Altre sale sono occupate dalla ricostruzione di urne e corredi di alcuni sepolcri, tra cui la tomba degli *acsi*, quella dei *tite petruni*.



Figura 17. Tomba Bella

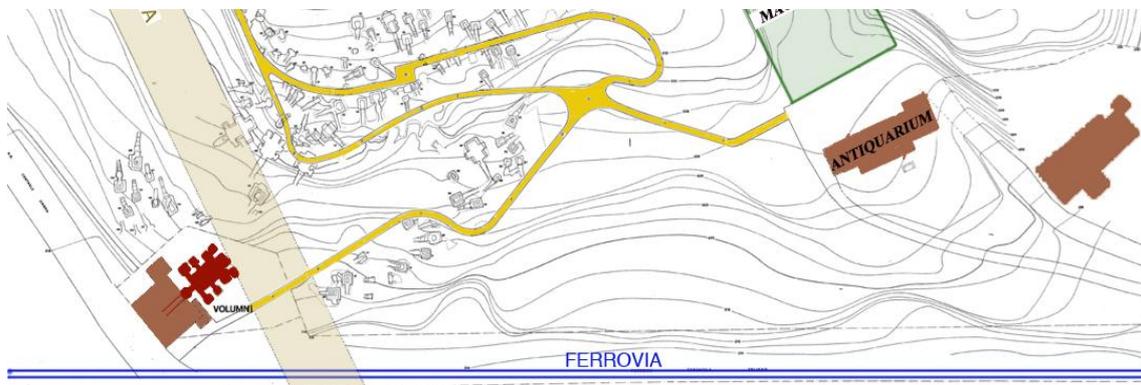


Figura 18. Necropoli: Ipogeo, *antiquarium* e magazzini

#### 4. La cava

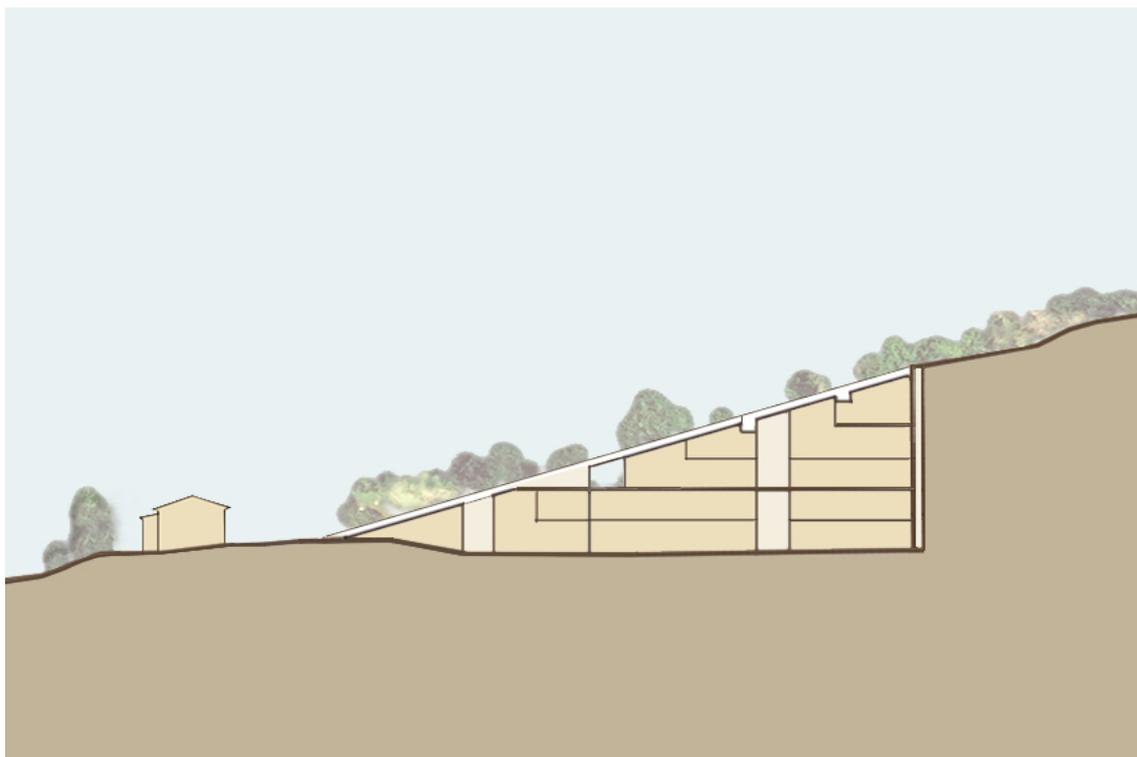
Nel settore Est dell'area della necropoli, presso l'*antiquarium* era ubicata l'area della cava, il cui sfruttamento, anche se interrotto dopo il rinvenimento delle tombe, aveva già provocato una vistosa discontinuità nel profilo digradante del colle (Fig. 19).

Nel frattempo, con il passare degli anni, e degli interventi di manutenzione, restauro e valorizzazione, si rese estremamente necessario per la Soprintendenza, in vista dell'apertura al pubblico dell'area archeologica, colmare la cavità artificiale, ripristinando l'originario andamento del terreno, ma l'altra importante priorità era quella di disporre di locali per la conservazione dei reperti archeologici. Pertanto le due esigenze, quella di riambientare l'ampia cava dismessa di materiali inerti per l'edilizia, ridando un aspetto

decoroso a tale spazio, nel quadro di una programmata sistemazione complessiva dell'intera necropoli e quella di avere nuovi locali per i reperti potevano convivere ed integrarsi; l'area dell'ex cava poteva ospitare spazi per magazzini, ma per tutela ambientale e paesaggistica era esclusa la possibilità di edificare volumetrie. Pertanto fu redatto un progetto che prevedeva di svuotare la depressione dai depositi di erosione e di smottamento accumulatisi nel tempo per destinare la consistente volumetria, così liberata, a contenitore ipogeo del magazzino, ripristinando alla sua sommità la quota primitiva di campagna con riporto di terreno vegetale e piantumazioni di essenze arboree.



**Figura 19.** La cava prima del riambientamento



**Figura 20.** I magazzini, sezione

La cubatura così disponibile sarebbe stata di quasi diecimila metri cubi, perfettamente mimetizzati nel paesaggio. I lavori furono progettati ed eseguiti dalla Soprintendenza Archeologica per l'Umbria negli anni Novanta del secolo passato grazie alla lungimiranza dell'allora Soprintendente Anna Eugenia Feruglio. Il progettista fu ispirato "da alcuni interventi di salvaguardia già eseguiti sulle tombe più significative della necropoli che fornirono la soluzione morfologica e funzionale più idonea. Le tombe, infatti, erano state originariamente scavate, come di consueto, in contropendio rispetto al declivio naturale e generalmente a poca profondità, così che l'erosione degli strati superiori del terreno aveva messo allo scoperto quasi sempre la scala d'accesso e spesso anche la parte anteriore del vano delle tombe. La necessità di procedere all'opera di conservazione salvaguardando al massimo grado l'integrità del sito e l'andamento originale del terreno avevano suggerito in quel caso di ricostruire la struttura di copertura mancante con pannellature di cemento ricoperte di terreno vegetale e riporto di vegetazione (Fig. 20).

A scala ovviamente maggiore, la medesima soluzione poteva essere adottata per i magazzini la cui copertura accompagna infatti l'andamento del terreno circostante ricostruendo il medesimo pendio e ripristinando le sue caratteristiche naturali. L'intero immobile si presenta quindi come una grande cavità collocata similmente alle tombe e similmente risolta anche nel ripristino dell'ambiente naturale. Il fabbricato ipogeo è interamente in cemento armato e ha una superficie coperta di circa mille metri quadri con altezza variabile; si dispone su tre piani, i primi due divisi da altrettanti soppalchi. Gran parte del volume è destinata ai magazzini di conservazione dei reperti, parti minori sono destinate alla loro preparazione per lo stoccaggio e ai laboratori di studio, di servizio, e di restauro.

L'illuminazione naturale, dove necessita, è garantita da opportune feritoie praticate nella copertura e mimetizzate tra la vegetazione di superficie. Le rampe d'ingresso pedonali collegano il piazzale esterno con i piani superiori, quelle carrabili consentono l'accesso ai piani inferiori anche a grandi veicoli da trasporto. All'interno grandi corridoi e ampi montacarichi sono percorribili con mezzi leggeri per il trasporto e il sollevamento dei reperti, in modo che qualunque posizione sia raggiungibile con percorsi meccanizzati.

L'intera struttura è climaticamente condizionata e isolata dal terreno circostante con doppie pareti ventilate.

La perfetta mimetizzazione ambientale dell'*antiquarium* è rivelata dalle foto aeree che mostrano una superficie indistinguibile dalle aree circostanti, mentre nell'osservazione diretta dal suolo ciò che appare è solo un declivio naturale, ricoperto di prati ed essenze vegetali di tipo autoctono.

Pochi sanno che sotto il manto erboso e la ricca vegetazione che copre il pendio dell'area di sedime della necropoli detta del "Palazzone", di Perugia, si trova uno dei più grandi magazzini d'Italia, per la conservazione di reperti archeologici, una vera e propria architettura invisibile.

La realizzazione del magazzino è di fondamentale importanza per la gestione della Soprintendenza e dei musei da essa dipendenti; consente infatti l'ordinamento e la conservazione non solo dei reperti della necropoli del Palazzone e del Museo Archeologico Nazionale dell'Umbria, ma consente di ricoverare e organizzare i materiali di vecchio e nuovo ritrovamento, in modo da consentirne lo studio e il restauro anche ai fini di esposizione al pubblico.

Al piano inferiore sono gli ambienti attrezzati per il trattamento dei materiali in arrivo e la loro temporanea conservazione e per un pronto intervento: è inoltre presente un locale chiamato "stanza di decantazione", dove sono state allestite mostre con l'intenzione di illustrare le varie fasi del restauro durante i lavori (un esempio di "*work in progress*"); ai piani intermedi sono i magazzini di stoccaggio definitivo e i laboratori di analisi e di restauro conservativo; in alto gli ambienti di studio. Molti sono gli studiosi, professori, studenti e tirocinanti che frequentano i magazzini, potendo così lavorare in spazi idonei.

Per i reperti più preziosi e provenienti da sequestri è stato creato un caveau di sicurezza. I materiali, sono collocati in apposite scaffalature, numerate e divise in corsie, che ai livelli superiori sono forniti di parapetti e cancelli, che consentono di trasportare il materiale tramite muletti; quelli pesanti, in marmo, travertino, pietra, sono collocati ai livelli più bassi. I reperti vengono ordinati, suddivisi in classi, quando necessario puliti e quindi catalogati con una scheda informatizzata, che raccoglie anche la foto, e tutti i dati per l'identificazione, compresa la collocazione nelle scaffalature. Sono affluiti al deposito i reperti dei musei e di numerosi scavi dell'Umbria.

Attualmente sono stati collocati circa 1400 reperti pesanti (urnette, iscrizioni, statuaria, elementi architettonici) e quasi 9000 cassette con materiali frammentari e vari: rimane da classificare solo il 15 %.

Il laboratorio di restauro è adeguato secondo le normative della legge ex 626/94, attuale 81/08; è dotato di cinque tavoli da lavoro in acciaio inox e completi di quadri comandi per il funzionamento dell'aspirazione che avviene attraverso un braccio snodato dall'alto e in basso da una griglia con cassettino di decantazione di residui solidi. Il tavolo è completato

nella sua strumentazione dall'impianto di compressione aria e illuminazione. Il laboratorio è dotato inoltre di cappa aspirante, armadio di sicurezza per lo stoccaggio di prodotti chimici, impianto di demineralizzazione e nebulizzazione ed altre apparecchiature necessarie alle operazioni di restauro. È presente anche un locale adibito a spogliatoio dotato di sistemi di pronto intervento per la sicurezza, come lavaocchi e doccia rapida.

Il magazzino inoltre è dotato degli impianti speciali per la sicurezza: impianto di riscaldamento e climatizzazione, elettrico, idrico ed antincendio, rilevazione fumi, antintrusione e di video controllo.

Determinati spazi interni e la terrazza sono usati occasionalmente per conferenze, concerti e laboratori didattici e musicali. A volte sono state eseguite visite guidate all'intero dei magazzini, fruibili anche da portatori di handicap, sia per l'accesso, che per i servizi (Fig. 21). Ecco come, tramite un percorso ben segnalato con pannelli esplicativi in due lingue, si passa dalla visita dell'Ipogeo a quella della necropoli e dell'*antiquarium*, valorizzando un'area molto importante per il territorio, anche con la riambientazione di una cava, utilizzata per la salvaguardia dei beni culturali.



Figura 21. Cava riambientata o interno magazzini

## Bibliografia

Cenciaioli L. (2002) - Aspetti e considerazioni su Perugia arcaica e il suo territorio. Annali della Fondazione per il Museo "Claudio Faina", Atti del IX Convegno internazionale di Studi sulla storia e l'Archeologia dell'Etruria, Perugia Etrusca, a cura di G.M. Della Fina, Roma, pp. 51-70.

Cenciaioli L. (2002) - Ipogeo dei Volumni e necropoli del Palazzone, Perugia 2002.

Cenciaioli L. (2011) - L'Ipogeo dei Volumni. 170 anni dalla scoperta, Atti del convegno Perugia 10-11 giugno 2010, Perugia 2011.

Cenciaioli L. (2011) - Perugia, i magazzini di Ponte San Giovanni. Bollettino di Archeologia on line. Direzione generale per le antichità, II, pp. 63-68.

*Il progetto SILENE. Un Sistema Lidar  
per l'Esplorazione della NEcropoli del Palazzone*  
a cura di C. Cencetti, M. Cecconi, L. Melelli  
*Culture Territori Linguaggi*, 15, 2019, pp. 39-58  
ISBN 9788894269789

## II

# LA NECROPOLI DEL PALAZZONE: DAL SOTTOSUOLO UNA CHIAVE DI LETTURA PER IL PAESAGGIO DI PERUGIA

**LAURA MELELLI**

Dipartimento di Fisica e Geologia dell'Università di Perugia

### ABSTRACT

The landscape in urban areas is the result of the initial geomorphological assessment and of the subsequent changes made by men in an attempt to adapt the initial configuration to development-related needs and then the urban geomorphological heritage is a new reading key for the cities with a relevant historical and cultural background.

In most cases the modern infrastructures and buildings cover the outcrops of natural bedrock, for this reason the underground sites are a valuable opportunity to discover the original morphological setting of the urban area. The Volumni Hypogeum is an excellent example of a site that combines the archaeological and the geological values, being a so-called "archaeogeosite". The stratigraphic sequence of fluvial deposits, exposed along the hypogeum walls, could be used as a representative 3D guide to resume the geological and geomorphological evolution of the study area and of the entire Perugia Hill.

### 1. Introduzione

Il Paesaggio è un aspetto della realtà che ci circonda che, pur essendo costantemente presente nel nostro vissuto quotidiano, raramente è percepito nella sua interezza, complessità e fragilità. Il Paesaggio condiziona direttamente o indirettamente molte delle nostre attività, pratiche e intellettuali, eppure l'educazione alla sua comprensione non fa parte del conoscenze della maggior parte delle persone.

Il crescente bisogno di tutela e sviluppo del Paesaggio inteso come bene comune ha indotto le istituzioni a realizzare iniziative mirate ad accrescere la consapevolezza nella società del Paesaggio come "memoria storica" e come "valore culturale ineludibile e premessa per un uso consapevole del territorio e uno sviluppo sostenibile" (Giornata Nazionale del Paesaggio [www.beniculturali.it](http://www.beniculturali.it)).

La Carta Nazionale del Paesaggio, proposta a Roma il 14 marzo 2018, si presenta come documento di sintesi di un dialogo tra istituzioni, associazioni e cittadini iniziato nel 1999

con la Conferenza Nazionale del Paesaggio e rinnovato recentemente con gli Stati Generali del Paesaggio del 26 e 27 ottobre 2017. Nel documento si auspica la promozione di nuove strategie per governare la complessità del territorio, di forme di educazione e formazione alla cultura e alla conoscenza e infine di azioni di tutela e valorizzazione del Paesaggio come “strumento di coesione, legalità, sviluppo sostenibile e benessere anche economico”.

Nella comprensione del Paesaggio le città sono percepite come i “luoghi dell’uomo”; aree puntuali, a piccola scala, dove la presenza antropica ha prevalso sull’elemento naturale, modificandolo a uso e consumo dei bisogni della società del momento. Generalmente gli aspetti culturali di una città più noti e apprezzati si riflettono nella conoscenza e valorizzazione della sua storia e del patrimonio artistico e architettonico. Le informazioni di carattere scientifico sono relegate ad ambienti accademici, circoli ristretti dedicati ai soli “addetti ai lavori” e condivise quasi esclusivamente con le amministrazioni preposte alla gestione del territorio. Negli ultimi anni nuove tendenze in ambito culturale stanno esportando il dato scientifico fuori dai circuiti circoscritti all’attività di ricerca, cercando di trasmetterlo in chiave divulgativa a un più ampio pubblico.

In particolare, per comprendere appieno l’evoluzione storica di un centro urbano, tra le discipline scientifiche sembra imprescindibile la conoscenza della Geologia e delle “ragioni geologiche” che sono alla base della scelta del sito e della posizione della città stessa. Le caratteristiche geologiche del sito di fondazione, infatti, identificano e circoscrivono l’area del primo nucleo insediativo. Nella maggior parte dei casi la conformazione morfologica di un’area (un’altura che garantisce protezione o un fondovalle che assicura facilità di accesso e transito) è la prima caratteristica di cui l’uomo, in particolare in passato, ha tenuto conto per la fondazione della città. In aggiunta, la disponibilità di risorse idriche potabili (sorgenti, falde acquifere) e più in generale di una rete idrografica che potesse quantomeno funzionare come via di comunicazione sono state le condizioni necessarie per la selezione di un’area. Altri valori aggiunti come le risorse minerarie del sottosuolo i cui prodotti hanno garantito lo sviluppo economico e sociale di una popolazione, accrescono il pregio del sito (Gisotti, 2016).

La Geomorfologia Urbana (Del Monte et al., 2013; Reynard et al., 2017) è un nuovo approccio alla conoscenza della realtà territoriale delle città. Collegando la natura geologica del sottosuolo all’evoluzione morfologica superficiale recente e comprendendo i condizionamenti che il substrato e le vicende geologiche hanno impresso alla morfologia superficiale, questa branca della Geologia consente di avere un quadro sinottico non solo della conformazione topografica e idrografica di un’area urbana, ma di comprendere come nessun’altra disciplina, le ragioni che hanno condizionato o favorito le scelte insediative. Per quanto sopra elencato uno studio di Geomorfologia Urbana è la chiave di lettura per la comprensione del Paesaggio che continuamente percorriamo lungo le vie delle nostre città senza, nella maggior parte dei casi, conoscerne le radici e la “storia prima della storia”.

## **2. La Geomorfologia Urbana e il patrimonio geologico del sottosuolo**

La Geologia, come accezione di scienza che studia le risorse naturali del Pianeta, è associata nell’opinione comune ad aree naturali e paesaggi incontaminati dove affioramenti roc-

ciosi e forme mostrano in alcuni casi un'elevata valenza estetica. Tuttavia ad oggi una crescente attenzione viene data dalla comunità scientifica e dai gestori del territorio alla valenza geologica in area urbana. È opinione condivisa che la conoscenza delle vicende geologiche che hanno portato alla conformazione morfologica di un sito e ai vantaggi che ne derivano in termini di potenzialità degli approvvigionamenti idrici e litologici (sorgenti, falde acquifere e rocce da costruzione o per diversi utilizzi) sia la base per una migliore e più completa conoscenza delle sovrastrutture antropiche che vi si sono impostate in momenti successivi. La letteratura scientifica si è concentrata in passato sia sulle pericolosità naturali in area urbana (Bathrellos et al., 2017), in particolare sul dissesto idrogeologico e la relazione con i cambiamenti climatici (Christenson et al., 2014; Güneralp et al., 2015) ma anche sul rischio sismico e vulcanico (Carreño et al., 2007; Chester et al., 2000; Orsi et al., 2004). Più recentemente la componente geologica in area urbana è diventata spunto di riflessione come elemento portatore di risorse piuttosto che di rischi.

Oltre al sito insediativo la posizione di una città determina la sua ubicazione rispetto al territorio circostante, l'accessibilità alle vie di comunicazione e la presenza o meno di una rete di scambi economici e sociali con le realtà urbane limitrofe e lontane. È pertanto strettamente dipendente dalla morfologia superficiale e dalla conseguente disposizione della rete idrografica, entrambe espressioni più recenti ed evidenti della storia geologica dell'area. Il sito e più in particolare la zona di fondazione, può avere diverse conformazioni morfologiche (di sella, di crinale, di pianura, ecc.) ed essere caratterizzato da valenze che ne hanno favorito la scelta (presenza di acque sotterranee e di emergenze sorgentizie superficiali, abbondanza di minerali).

La Geomorfologia Urbana in particolare si occupa di interpretare l'assetto morfologico di un'area urbana antecedente all'urbanizzazione. Il modello paleogeografico consente di ricostruire al meglio le successive fasi che, nei diversi periodi storici, si sono succedute e ne hanno modificato l'originario impianto. Inoltre, la conoscenza delle fasi storiche di modifica del tessuto urbano, nella maggior parte dei casi connesse ad alterazioni della superficie topografica in negativo (sbancamenti) o in positivo (riempimenti) giustifica anche le variazioni nel tracciato planimetrico, nella sezione trasversale e in quella longitudinale della rete idrografica eventualmente presente in area urbana o periurbana. Ad oggi numerosi esempi di studi di Geomorfologia Urbana hanno posto in evidenza le potenzialità di questo approccio (Reynard et al., 2017). Un recente convegno sul tema svoltosi a Roma il 27-29 ottobre 2016 dal titolo "International Workshop on Urban Geomorphological Heritage" ha sintetizzato gli obiettivi in una serie di ambiti di ricerca tra i quali l'analisi geomorfologica in ambiente urbano per la produzione di mappe tematiche; le nuove metodologie per la mappatura e il censimento dei geomorfositi urbani ovvero di quelle aree con particolare valore scientifico, didattico e culturale; il geoturismo urbano; la conservazione del patrimonio geologico in connessione con lo sviluppo del tessuto antropico.

### **3. Perugia: il Colle prima dell'uomo, l'Uomo nonostante il Colle**

*"Perugia, la più pittoresca delle città, apparve sopra di noi, dominando una possente collina; e mano a mano che salivamo si apriva davanti a noi uno scenario sempre più ampio e, voltandoci dietro a*

*guardare la strada che avevamo percorso, vedemmo la vasta valle estendersi e aprirsi, circondata in lontananza dalle montagne, che riposava nel sole e nell'ombra. Nessuna lingua e nessuna arte della penna può rendere questo spettacolo” (N. Hawthorne, 1858, in Sorbini A., 1994).*

La bellezza del paesaggio perugino, così efficacemente descritta da Nathaniel Hawthorne, è intrinsecamente legata al carattere caleidoscopico delle sue vie e dei suoi scorci panoramici che alternano profonde e scoscese valli a ridosso del centro storico ad ampi e ariosi panorami sulla sottostante valle del Fiume Tevere.

Perugia è disposta alla sommità di un rilievo collinare con quota massima di circa 493m s.l.m. che si colloca in destra idrografica del Fiume Tevere al centro della regione Umbria (Fig. 1).

Come molte altre città storiche dell'Italia centrale sorge su rilievi di media altezza che si dispongono al limite delle poche aree pianeggianti con estensione significativa presenti a ridosso dell'Appennino e con una storia geologica comune che ne spiega la genesi e l'attuale assetto fisiografico. Dal Pliocene, infatti, è in atto nel centro Italia una tettonica distensiva (Boncio and Lavecchia, 2000) che, attraverso l'attivazione di sistemi di faglie normali o trastensive, ha generato ampie depressioni o conche intermontane interrompendo il monotono susseguirsi di anticlinali e sinclinali con direzione degli assi NW-SE o N-S e vergenza orientale.

Le conche intermontane presentano una forma quadrangolare, talvolta con asse prevalente di allungamento concorde con la direzione delle strutture compressive e sono bordate da versanti a elevata energia di rilievo che rappresentano piani di faglia diversamente alterati dagli agenti del modellamento.

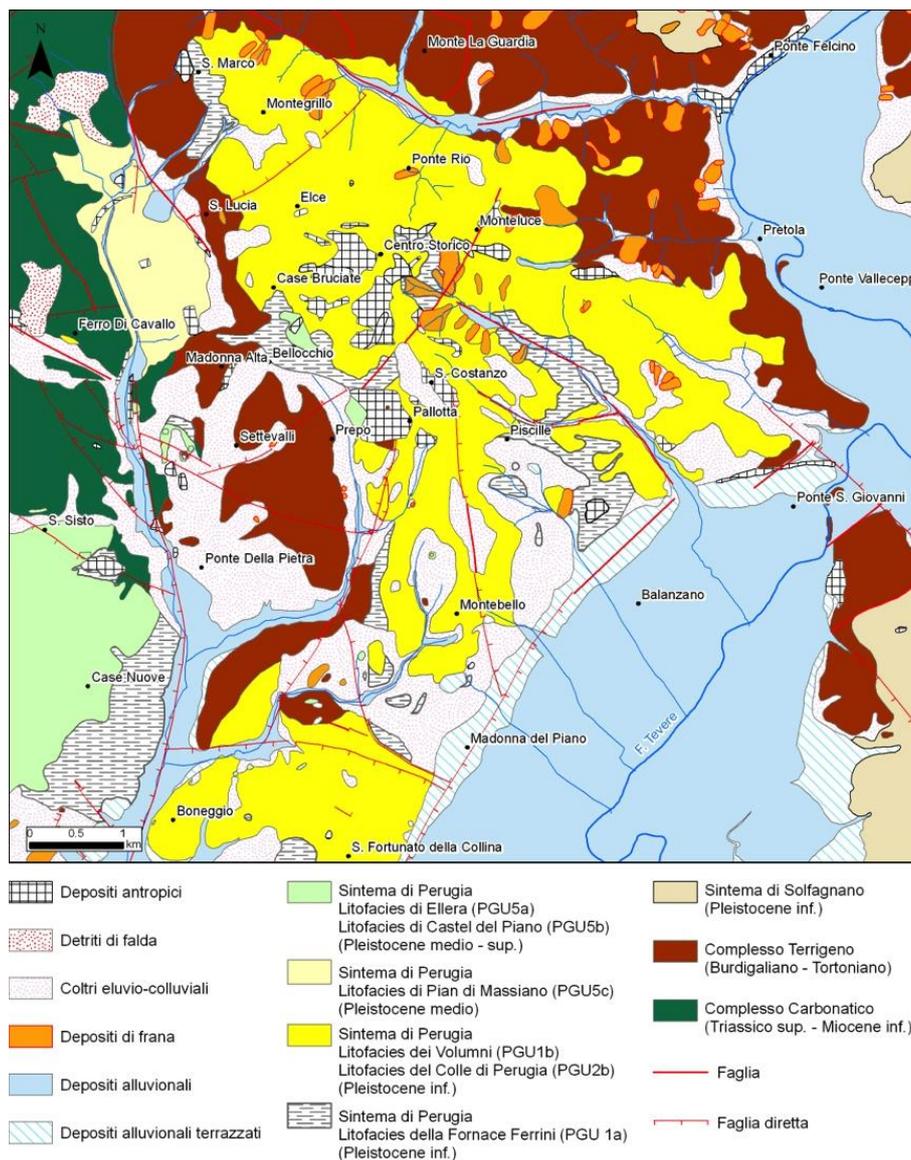


**Figura 1.** Localizzazione della città di Perugia nella regione Umbria

Lungo questi sistemi di faglie bordiere la rete idrografica, unitamente alla morfogenesi gravitativa, hanno lavorato erodendo le zone montuose del letto e depositando al margine del tetto, creando potenti sequenze deposizionali di terre a differente composizione granu-

lometrica. In seguito, perdurando gli sforzi distensivi in aggiunta a veloci e importanti sollevamenti isostatici che hanno dislocato i livelli di base del reticolo idrografico, le sequenze sedimentarie fluvio-lacustri Plio-Pleistoceniche sono state soggette a importanti fenomeni di smantellamento, in particolare quelle poste lungo i margini delle conche intermontane. Per questo motivo, l'attuale conformazione morfologica di queste zone ne ha fatto sedi privilegiate per l'insediamento umano in tempi storici essendo rilievi con posizione elevata rispetto alle zone pianeggianti e contemporaneamente di più facile accessibilità in confronto a quelle montuose interne. Le zone pianeggianti, infatti, se da una parte erano scartate come centri insediativi per gli occasionali o permanenti impaludamenti che favorivano la diffusione di malattie, rimanevano contemporaneamente le poche aree di facile percorribilità, sia su acqua (sistemi fluviali) che per l'impianto di sedi stradali. Pertanto i centri abitati alla sommità dei rilievi collinari traevano i benefici dalla loro posizione strategica di vicinanza alle grandi arterie di comunicazione senza subire gli svantaggi connessi alla conformazione morfologica delle aree montuose adiacenti. Perugia, Montone, Todi e Montefalco sono solo alcuni esempi di città umbre accomunate da questa medesima ragione geologica.

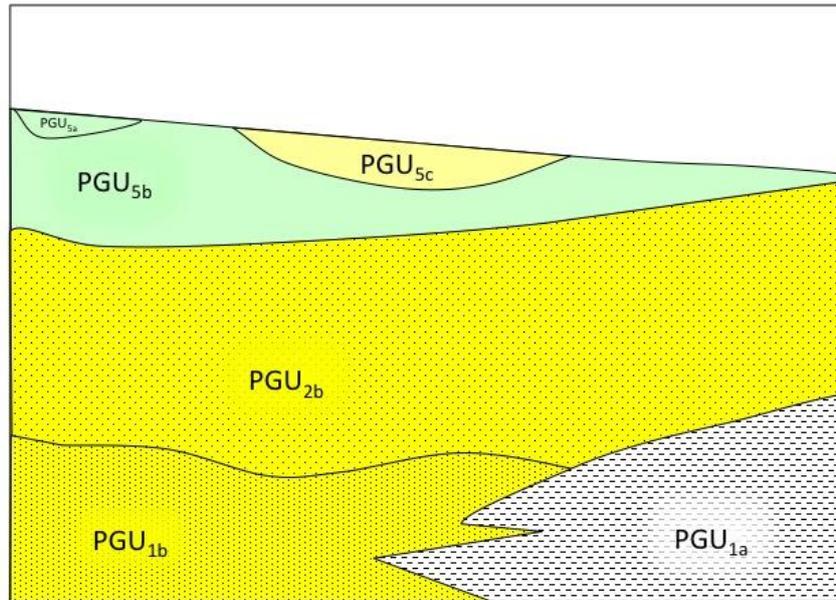
I depositi su cui sorge l'acropoli perugina e le aree limitrofe sono stati depositi a partire dal Pleistocene inferiore (circa 2,58 milioni di anni fa) da un sistema di canali fluviali intervallati ad aree lacustri e paludose (Fig. 2).



**Figura 2.** Carta geologica del Colle di Perugia

Nel lungo periodo di tempo si sono alternate fasi climatiche molto diverse che hanno condizionato la portata della rete idrografica superficiale e la sua capacità di erosione e sedimentazione. Il risultato è una successione stratigrafica spessa decine di metri organizzata in lenti di argilla, sabbia e conglomerato (Fig. 3).

I depositi sono stati inclusi nel Sintema di Perugia e nelle litofacies della Fornace Ferrini (PGU 1a), Litofacies del Colle di Perugia (PGU 2b), Litofacies dei Volumni (PGU 1b). Dal punto di vista morfologico nel volume "Messaggi perugini" di Bruno Zevi (1971), la forma del Colle di Perugia è sintetizzata nel titolo "I crinali e il vuoto", cogliendo appieno i due caratteri morfologici fondamentali del rilievo.



**Figura 3.** Schema dei rapporti stratigrafici dei depositi del Colle di Perugia. PGU 1a Litofacies della Fornace Ferrini, PGU 1b Litofacies dei Volumni, PGU 2b Litofacies del Colle di Perugia, PGU 5a Litofacies di Ellera, PGU 5b Litofacies di Castel del Piano, PGU 5c Litofacies di Pian di Massiano

Perugia nasce tra due colli, il Colle Landone e il Colle del Sole. Da qui si distribuisce lungo cinque crinali: tre, molto ben definiti, che si prolungano verso nord, NE, SE e due dai contorni sfumati che si diramano verso ovest e SO mimando le cinque dita di una mano o le punte di una stella, entrambe efficaci metafore utilizzate anche in passato.

I versanti digradano in quota verso la valle del Fiume Tevere che la circonda per buona parte del suo perimetro. A nord-est i versanti si raccordano con il Torrente Rio mentre a sud-ovest con la depressione di Pian di Massiano e la valle del Torrente Genna. I versanti rivolti verso est e nord-est mostrano le pendenze maggiori (Fig. 4), quelli con esposizione nei quadranti sud-occidentali sono più blandi (Figg. 5 e 6).

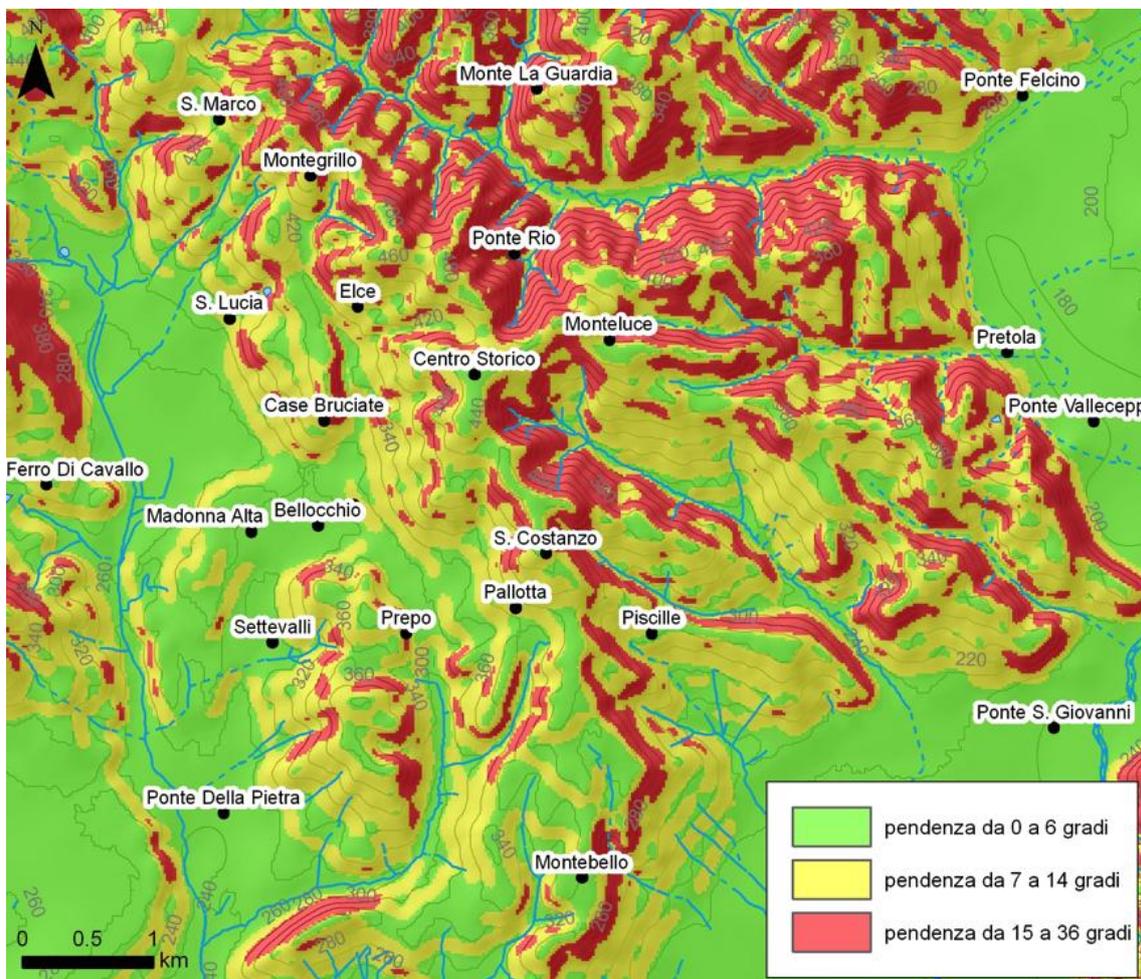


**Figura 4.** Panorama da Porta Sole sul Fosso del Bulagaio con i caratteri morfologici dei versanti con esposizione a nord e NE: elevate pendenze, forte incisione del reticolo idrografico e scarso sviluppo urbanistico.

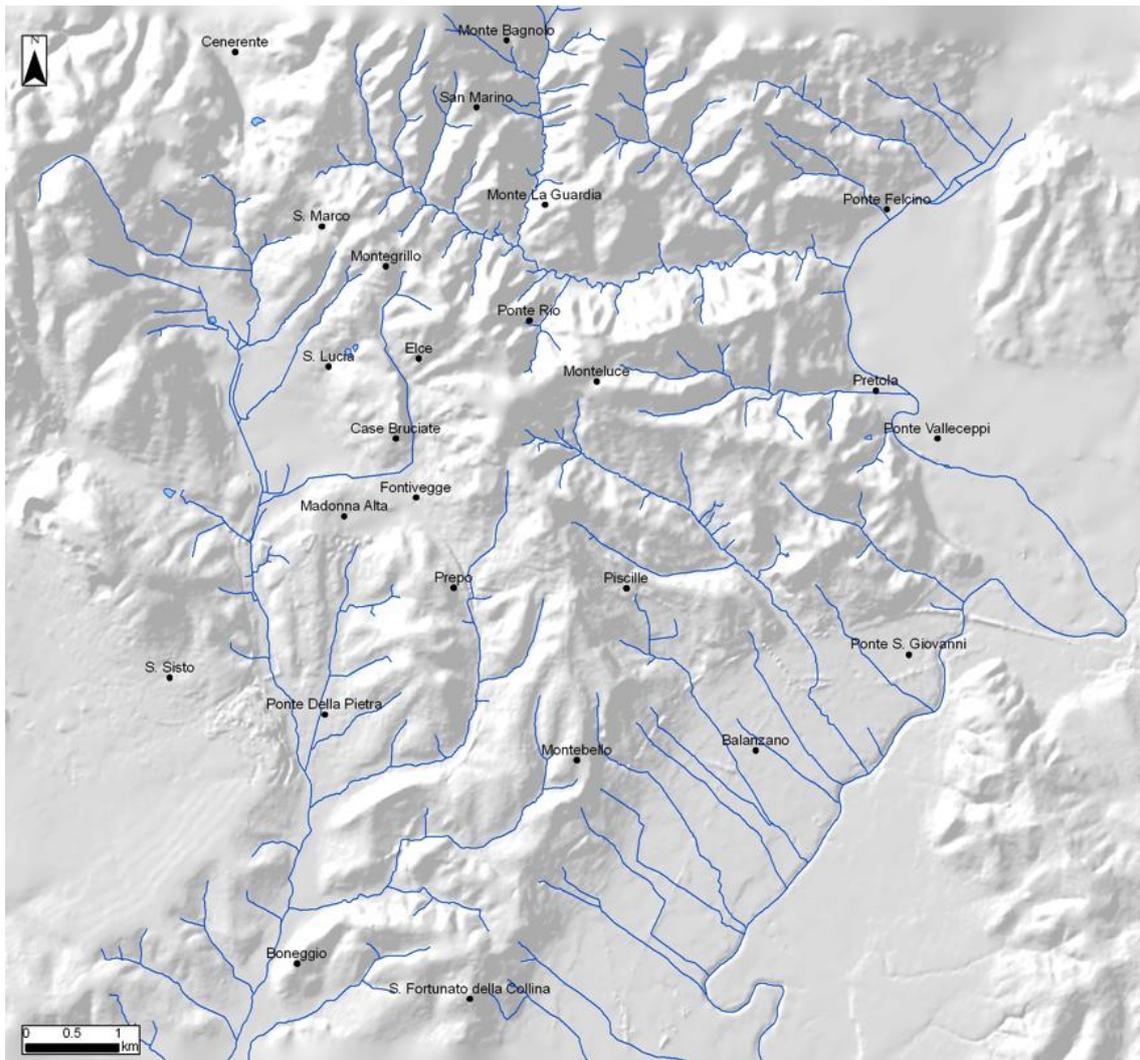


**Figura 5.** Panorama dal parco della Città della Domenica caratteri morfologici dei versanti con esposizione a Sud e SW: scarse pendenze, debole incisione del reticolo idrografico e forte sviluppo urbanistico.

Tale conformazione è il risultato dell'assetto dei depositi e dell'azione della tettonica più recente. I corsi d'acqua si diramano in un reticolo centrifugo dall'acropoli cittadina (Fig. 7). Corti, ripidi e dritti impluvi solcano i versanti nordorientali immettendosi nel Torrente Rio, mentre i collettori che scendono lungo i versanti occidentali mostrano percorsi più lunghi con pronunciate curve a gomito condizionate da faglie e litoselezione.

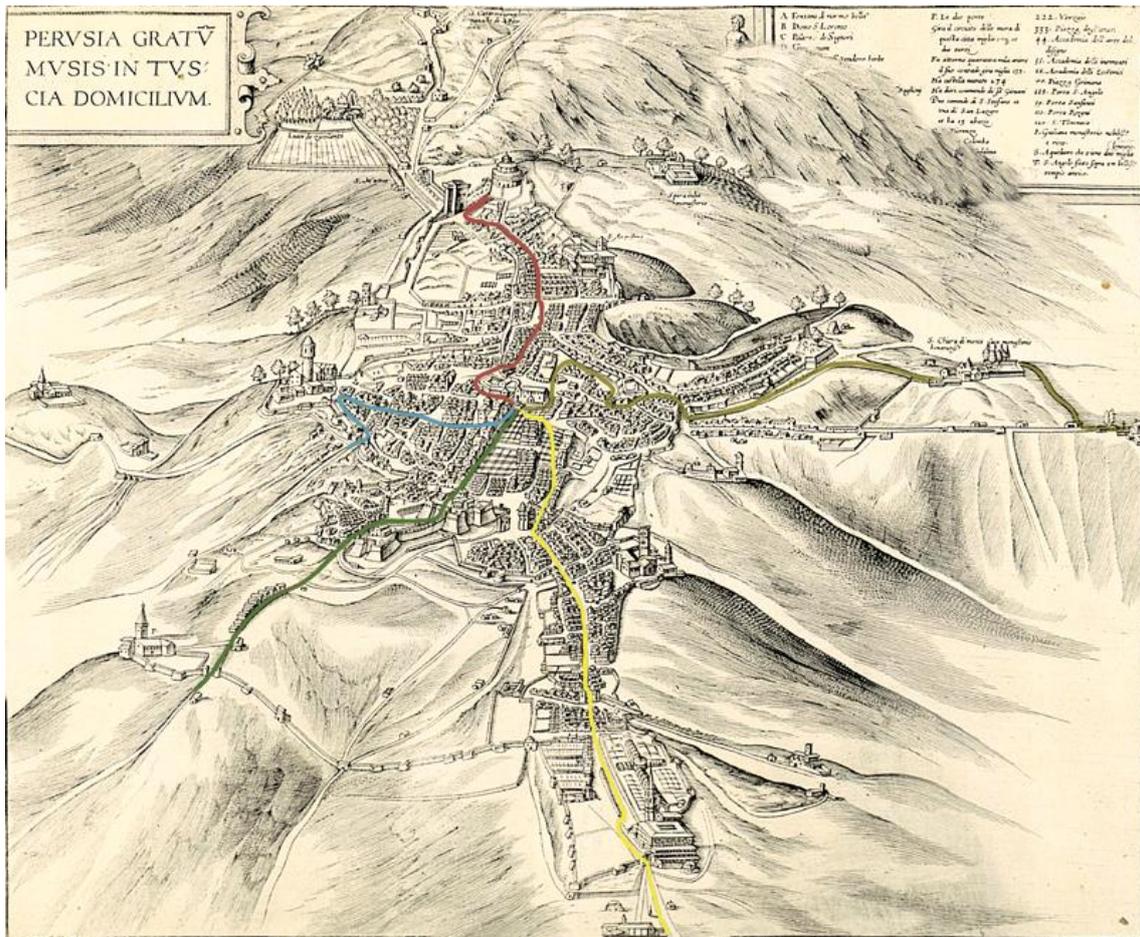


**Figura 6.** Carta delle pendenze del Colle di Perugia con i versanti ad esposizione nord e NE più acclivi e quelli che espongono verso Sud e SO più blandi



**Figura 7.** Carta del reticolo idrografico del Colle di Perugia.

Nonostante i diversi tracciati, la maggior parte dei corsi d'acqua mostra erosione lungo le aree di testata. Perugia è sorta come primo insediamento in epoca Villanoviana (XI-X sec. a.C.) per poi assumere una vera e propria configurazione di centro abitato in età etrusca (VI-III sec. a.C.) e poi romana (dal I sec. a.C.). Dal primo insediamento sulle due alture di Colle Landone e Colle del Sole fino al secondo dopoguerra, la distribuzione geografica del tessuto urbano è stata sempre condizionata dalla conformazione morfologica del Colle, a sua volta eredità della storia geologica che ne ha creato l'ossatura. Il perimetro delle mura etrusche riproduce il profilo morfologico della sommità del colle marcando il passaggio ai versanti scoscesi che si raccordano con il fondovalle. Anche in epoca medioevale, i cinque rioni che caratterizzavano la vita perugina (Porta Eburnea, Porta San Pietro, Porta Sant'Angelo, Porta Santa Susanna, Porta Sole) e che ancora sono parte integrante della vita culturale della città, pongono i propri limiti lungo i fossi e le vie regali lungo la sommità dei crinali (Fig. 8).



**Figura 8.** Pianta di Perugia, sec. XVI, elaborazione grafica (fonte: Dufour, 2002)

Nei secoli, i tentativi dell'uomo di adattarsi all'evoluzione morfologica del Colle hanno reso necessario mettere in atto ripetute opere di consolidamento lungo i versanti e regimazione delle acque superficiali per arrestare l'erosione del reticolo idrografico.

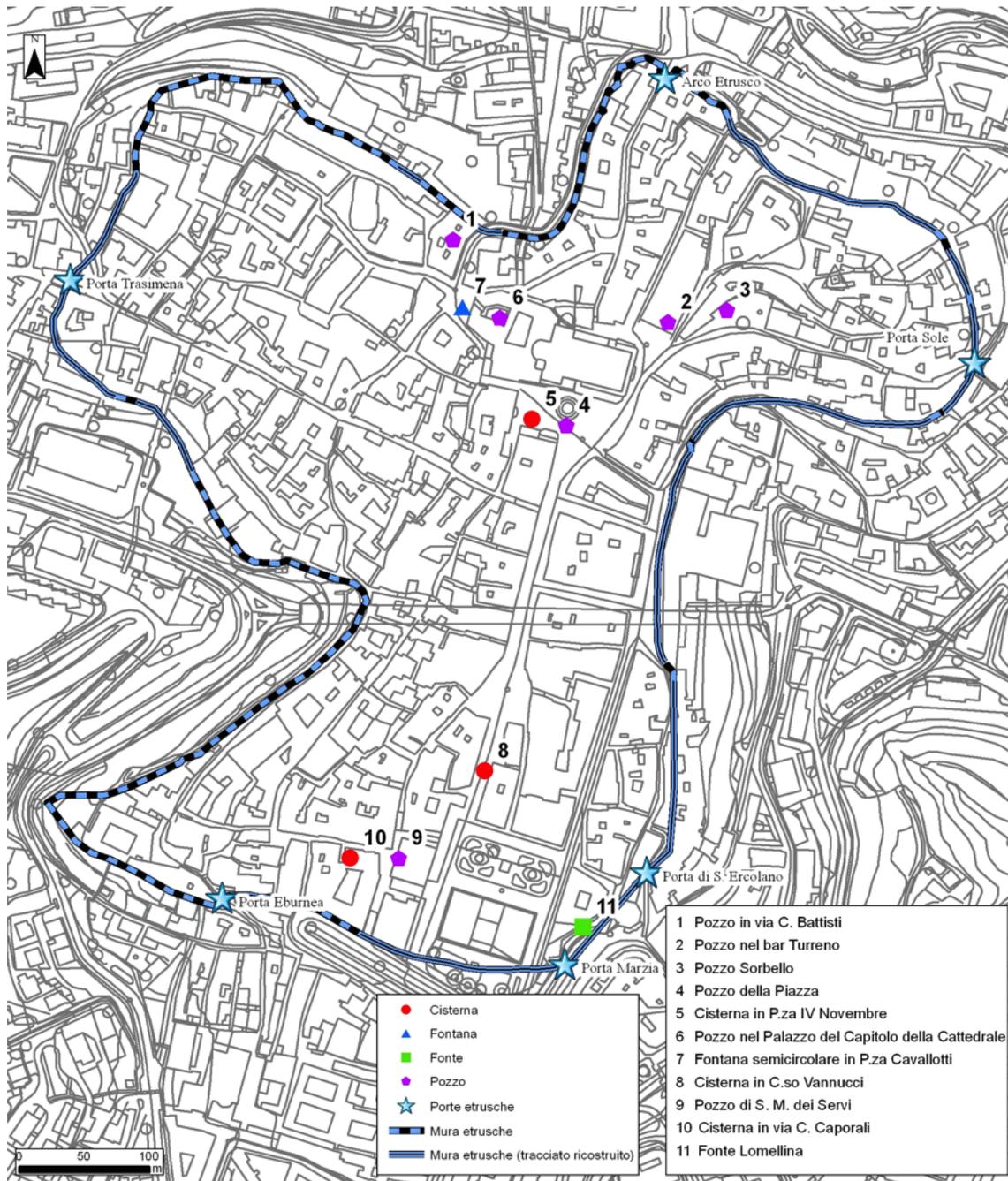


Figura 9. Carta delle cavità sotterranee del centro storico di Perugia

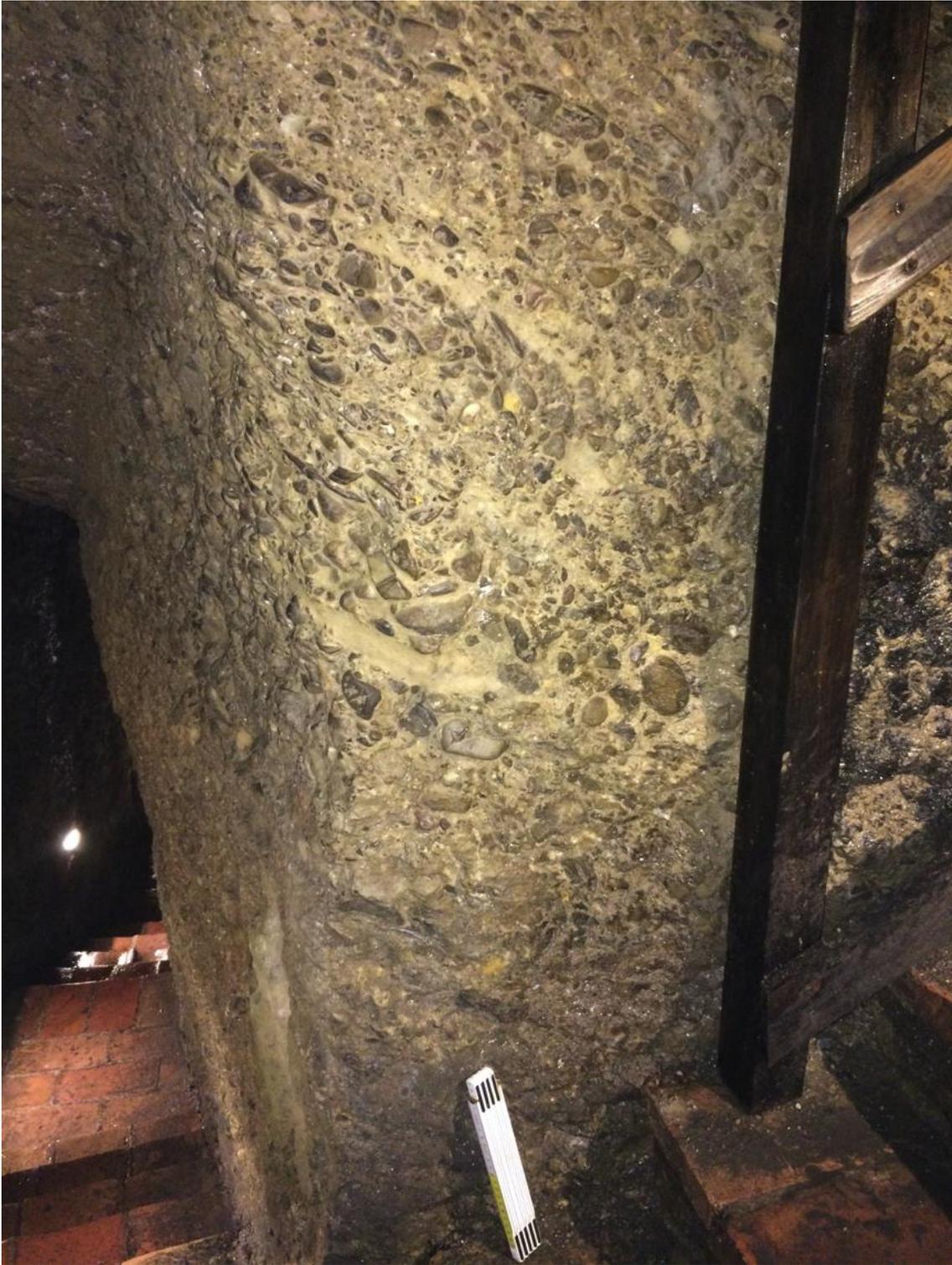
#### 4. Perugia sotterranea e la Necropoli del Palazzone

Il sottosuolo della città di Perugia mostra una fitta rete di cunicoli la maggior parte dei quali noti da secoli (Fig. 9).

L'architetto Serafino Calindri iniziò nel 1807 una mappatura sistematica delle cavità sotterranee (Calindri, 1807) che solo recentemente è stata oggetto di aggiornamenti e migliorie (Cenciaioli 1991, Melelli and Venanti 2007, Piro 1991, Stopponi 1973). La natura dei cunicoli è estremamente eterogenea, cunicoli di drenaggio, gallerie di collegamento, pozzi, cisterne, cavità per la messa a dimora di beni personali e derrate alimentari, necropoli, rifugi antia-

erei, che ricoprono un intervallo temporale ampio, dall'epoca etrusca (V-VI sec. a.C.) al secondo dopoguerra.

La quasi totalità delle cavità ha le pareti perimetrali prive di rivestimenti lapidei e pertanto mostra i depositi di scavo nel loro assetto originario dove è frequentemente possibile osservare strutture sedimentarie e differenti indizi riconducibili a particolari condizioni di sedimentazione con elevato valore didattico. Tuttavia manca un approccio scientifico che in modo sistematico e rigoroso colleghi tali cavità alla natura geologica e idrogeologica del sottosuolo e a successive verifiche di stabilità, pur essendo noti, almeno per alcuni casi, evidenti problemi di infiltrazione e dissesto. La maggior parte dei cunicoli storici è compresa all'interno della cinta muraria etrusca e medioevale. Essendo entrambe le strutture fortificate poste alla sommità del colle, i cunicoli mostrano lungo le pareti di scavo depositi con caratteristiche litostratigrafiche abbastanza simili. Anche per motivi di stabilità gli scavi storici prediligevano depositi a granulometria prevalentemente grossolana (Fig. 10). Tuttavia non sono infrequenti gallerie realizzate all'interno di potenti coltri sabbiose (Fig. 11).



**Figura 10.** Affioramento di conglomerato all'interno della via di accesso al Pozzo Etrusco



**Figura II.** Affioramento di sabbie nei sotterranei della chiesa di Santa Maria Nuova in Perugia (foto archivio personale Enrico Rosati)

### 3.1 La Necropoli del Palazzone

La Necropoli del Palazzone sorge lungo le pendici sud-orientali del Colle di Perugia, nella frazione di Ponte San Giovanni. Intitolata alla vicina Villa del Palazzone è uno dei più significativi siti funerari di epoca etrusca del centro Italia (Fig. 12).

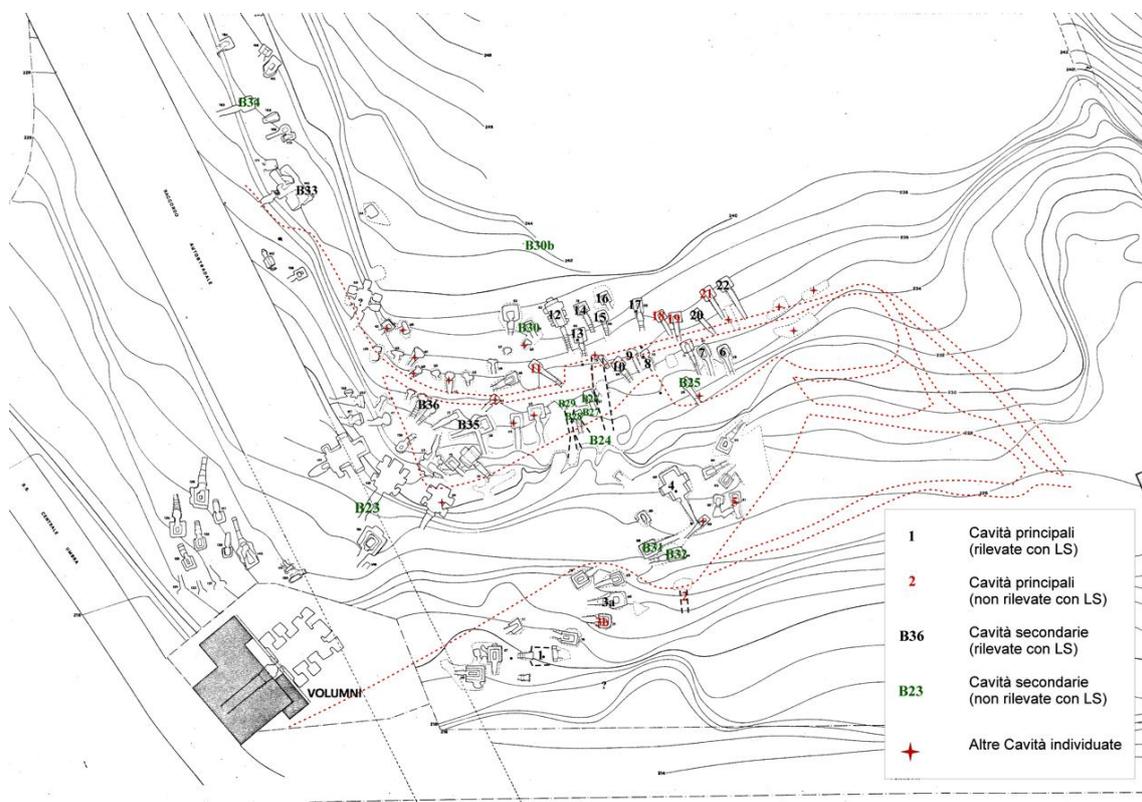
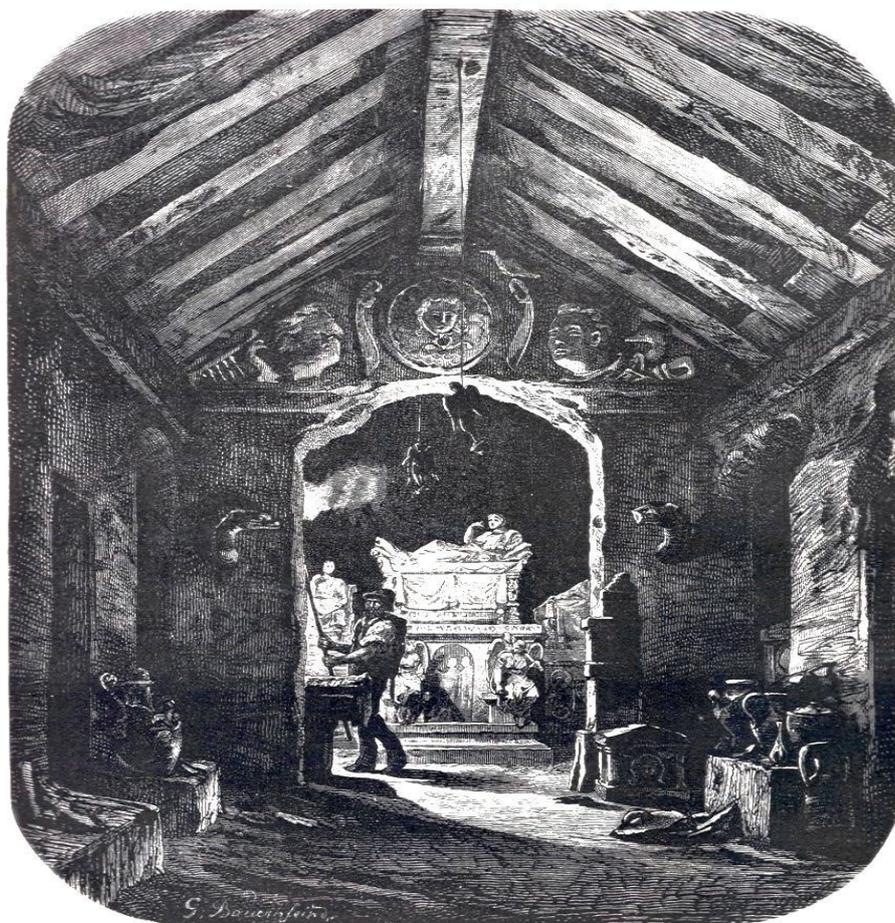


Figura 12. Pianta delle tombe della Necropoli del Palazzone (tratto da Cencetti and Melelli, 2018)

Nel 1840 venne alla luce in modo fortuito la tomba pi  famosa e significativa dell'intera necropoli, l'Ipogeo dei Volumni, intitolato all'omonima famiglia etrusca committente (Fig. 13).

Nei decenni successivi, nuove campagne di scavo e i movimenti terra necessari alla realizzazione del soprastante raccordo stradale, hanno portato alla luce ulteriori cavit  funerarie per un totale di circa duecento tombe. L'et  delle tombe   in gran parte ellenistica e solo cinque sono di et  arcaica (seconda met  del VI sec. a.C. – inizi V sec. a.C.).



**Figura 13.** Stampa storica raffigurante il rinvenimento dell'Ipogeo dei Volumni, disegno da "Interior of an Etruscan tomb near Perugia" Stieler (1877)

L'Ipogeo dei Volumni è di datazione incerta (III sec. a.C. – I sec. d.C.) e mostra una pianta simile alla disposizione di una casa romano-italica con un dromos di accesso e un atrio centrale circondato da tre camere centrali e quattro minori laterali. Il soffitto è a forma di tetto spiovente. Lungo le pareti delle camere e dell'atrio affiora il terreno naturale, interamente rientrante nella Litofacies dei Volumni (la litofacies prende il nome dal sito a conferma delle caratteristiche significative che i depositi assumono all'interno della cavità funeraria). In particolare, studi più recenti, (Bizzarri et al., in stampa) hanno identificato due ulteriori unità litostratigrafiche, in basso l'Unità dei Volumni (Vol) e sovrapposta a questa con passaggio lungo una superficie inclinata verso SO quella del Palazzone (Plz). La tomba dei Volumni rientra nella prima e ne mostra tutte le principali caratteristiche distintive (Fig. 14).



**Figura 14.** L'Ipogeo dei Volumni

Nella parte più elevata della necropoli invece, dove affiora l'Unità del Palazzone, la "Tomba Bella" rappresenta un'altra rara testimonianza dell'elevato valore estetico e architettonico raggiunto dagli Etruschi nell'arte funeraria. Scavata anch'essa nel terreno, inizia con un dromos tramite il quale si accede a una stanza centrale con tetto a doppio spiovente. Lungo le pareti perimetrali sono presenti nicchie con estremità alternate a forma di semicerchio o triangolari, abbellite da lesene e capitelli. A differenza dell'Ipogeo, nella "Tomba Bella" la granulometria dei depositi è esclusivamente sabbiosa, rendendo lo stato di conservazione della stessa più fragile. La "Tomba Bella" e le tombe ad essa laterali mostrano tutte sedimenti sabbiosi.

#### **4. La valenza geoturistica della Necropoli del Palazzone**

Un sito archeologico come la Necropoli del Palazzone ha evidenti e molteplici valenze culturali e didattiche ed è un indiscusso polo di attrazione turistica. L'unicità del sito è espressa dall'alto numero di tombe, dall'ottimo stato di conservazione delle cavità di maggior pregio come l'Ipogeo dei Volumni e dalle strutture di ricezione a corredo dei siti funerari (all'interno della necropoli è aperto al pubblico un Antiquarium che conserva importanti reperti di provenienza areale prossima alla zona del perugino sugli aspetti della vita quotidiana e sociale degli Etruschi). Oltre al valore archeologico però la Necropoli del Palazzone può diventare un esempio di archeogeosito e un vero e proprio prototipo di fruizione multidisciplinare di un sito.

La disposizione delle tombe, in particolare delle due di maggior pregio che sono una tappa obbligata durante le visite al sito, ne fanno laboratori “sul campo” per una didattica interattiva delle discipline delle Scienze della Terra.

Le pareti dell’Ipogeo mostrano depositi in una successione sedimentaria dove si alternano conglomerati e sabbie a rari e sottili livelli di argilla. Lungo diverse pareti si possono individuare punti di osservazione davanti ai quali è facile e intuitivo illustrare le caratteristiche dell’ambiente di deposizione di un sistema fluviale con canali ben individuabili. Evidenziando le differenze tra sezioni longitudinali e trasversali, è possibile ricostruire la direzione del flusso di provenienza e i meccanismi di messa in posto. Così, per quanto riguarda l’Ipogeo dei Volumni le evidenze litostratigrafiche suggeriscono un ambiente fluviale con canali ben individuabili, la cui continuità longitudinale è facilmente leggibile, mentre l’estensione laterale non è sempre valutabile. In entrambe le unità, il paleoambiente è di tipo fluviale a canali intrecciati o braided.

Collegare i depositi a un paleoambiente deposizionale significa “costringere” il visitatore a un viaggio a ritroso nel tempo e ampliare la percezione geografica a espandersi oltre i confini del singolo sito per una visione più ampia del Colle di Perugia.

La Necropoli è quindi un archeogeosito ovvero un sito con caratteristiche di unicità per le valenze archeologiche e geologiche. Tali aree offrono in chiave turistica diverse opportunità di fruizione. Attraverso una qualificata preparazione delle guide turistiche o per mezzo di pannelli e materiale divulgativo cartaceo e digitale è possibile trasmettere ai visitatori non solo le notizie storico archeologiche ma anche ampliare la visione geografica e storica in molteplici intervalli. La Necropoli del Palazzone diventa un pretesto per dialogare con cittadini, turisti e scolaresche di ogni ordine e grado sulla Perugia “prima dell’Uomo” in un intervallo temporale che dilata la percezione del nostro Paesaggio a eventi remoti e trasmette la nozione di Paesaggio che cambia. Tale visione, se è praticamente scontata per chi si occupa di Geologia, non lo è altrettanto per i non addetti ai lavori. Un archeogeosito come la Necropoli del Palazzone “allena” la percezione del Paesaggio come entità “dinamica” e aumenta la consapevolezza della necessità di rispettare un ambiente che non è per sua natura né immutabile né incorruttibile.

Il contributo delle Scienze della Terra nella percezione, fruizione e valorizzazione del Paesaggio, troppo spesso ingiustamente sottovalutato, assume quindi in un archeogeosito il ruolo primario che ci si augura possa ricoprire in ogni percorso di trekking urbano dove la componente scientifica venga giustamente valorizzata.

## **Bibliografia**

Bathrellos G.D., Skilodimou H.D., Chousianitis K., Youssef A.M., Pradhan B. (2017) - Suitability estimation for urban development using multi-hazard assessment map. *Science of the Total Environment*, 575, 119-134.

Bizzarri R., Melelli L., Cencetti C. (in stampa) – Archeo-geosites in urban areas: outstanding outcrops of Quaternary age. *Alpine and Mediterranean Quaternary Journal*.

Boncio P., Lavecchia G. (2000) - A structural model for active extension in Central Italy. *Journal of Geodynamics*, 29(3-5), 233-244.

Calindri S. (1807) - Cunicoli, Perugia, dattiloscritto.

Carreno M.L., Cardona O.D., Barbat A.H. (2007) - Urban seismic risk evaluation: a holistic approach. *Natural Hazards*, 40(1), 137-172.

Cencetti C., Melelli L. (2018) - SILENE Un Sistema Lidar per l'Esplorazione della Necropoli del Palazzone. *Telerilevamento e Geologia per la valorizzazione dei siti archeologici*. Centromoduli Ed.

Cenciaioli L. (1991) - Cunicoli di drenaggio a Perugia. *Gli Etruschi maestri di idraulica*, 97-104.

Chester D.K., Degg M., Duncan A.M., Guest J.E. (2000) - The increasing exposure of cities to the effects of volcanic eruptions: a global survey. *Global Environmental Change - Part B: Environmental Hazards*, 2(3), 89-103.

Christenson E., Elliott M., Banerjee O., Hamrick L., Bartram J. (2014) - Climate-related hazards: A method for global assessment of urban and rural population exposure to cyclones, droughts, and floods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(2), 2169-2192.

Del Monte M., Fredi P., Pica A., Vergari F. (2013) - Geosites within Rome City center (Italy): a mixture of cultural and geomorphological heritage. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 36(2), 241-257.

Dufour F. (2002) - Perugia città d'arte. Perugia, Effe Fabrizio Fabbri Editore, 2002.

Gisotti G. (2016) - La fondazione delle città. Le scelte insediative da Uruk a New York. pp. 559, Carocci Ed., Roma.

Guneralp B., Guneralp İ., Liu Y. (2015) - Changing global patterns of urban exposure to flood and drought hazards. *Global Environmental Change*, 31, 217-225.

Melelli A., Venanti L.D. (2007) - Umbria sotterranea: archeologia e idraulica urbana. Quattroemme.

Orsi G., Di Vito M.A., Isaia R. (2004) - Volcanic hazard assessment at the restless Campi Flegrei caldera. *Bulletin of Volcanology*, 66(6), 514-530.

Piro V. (1991) - I cunicoli di drenaggio a Perugia. *Gli Etruschi maestri di idraulica*, 105-113.

Reynard E., Pica A., Coratza P. (2017) - Urban geomorphological heritage. An overview. *Quaestiones geographicae*, 36(3), 7-20.

Sorbini A. (1994) - Perugia: nei libri di viaggio dal Settecento all'unità d'Italia. Ed. Umbra.

Stopponi S. (1973) - Il pozzo Sorbello in Perugia. Quaderni dell'Istituto di Archeologia dell'Università di Perugia, 2.

Zevi B. (1970) - Messaggi perugini. Industrie Buitoni Perugina.

*Il progetto SILENE. Un Sistema Lidar  
per l'Esplorazione della Necropoli del Palazzone*  
a cura di C. Cencetti, M. Cecconi, L. Melelli  
*Culture Territori Linguaggi*, 15, 2019, pp. 59-78  
ISBN 9788894269789

### III

## IL RILIEVO SEDIMENTOLOGICO E STRATIGRAFICO DELLA NECROPOLI DEL PALAZZONE

**ROBERTO BIZZARRI**

Dipartimento di Fisica e Geologia dell'Università di Perugia

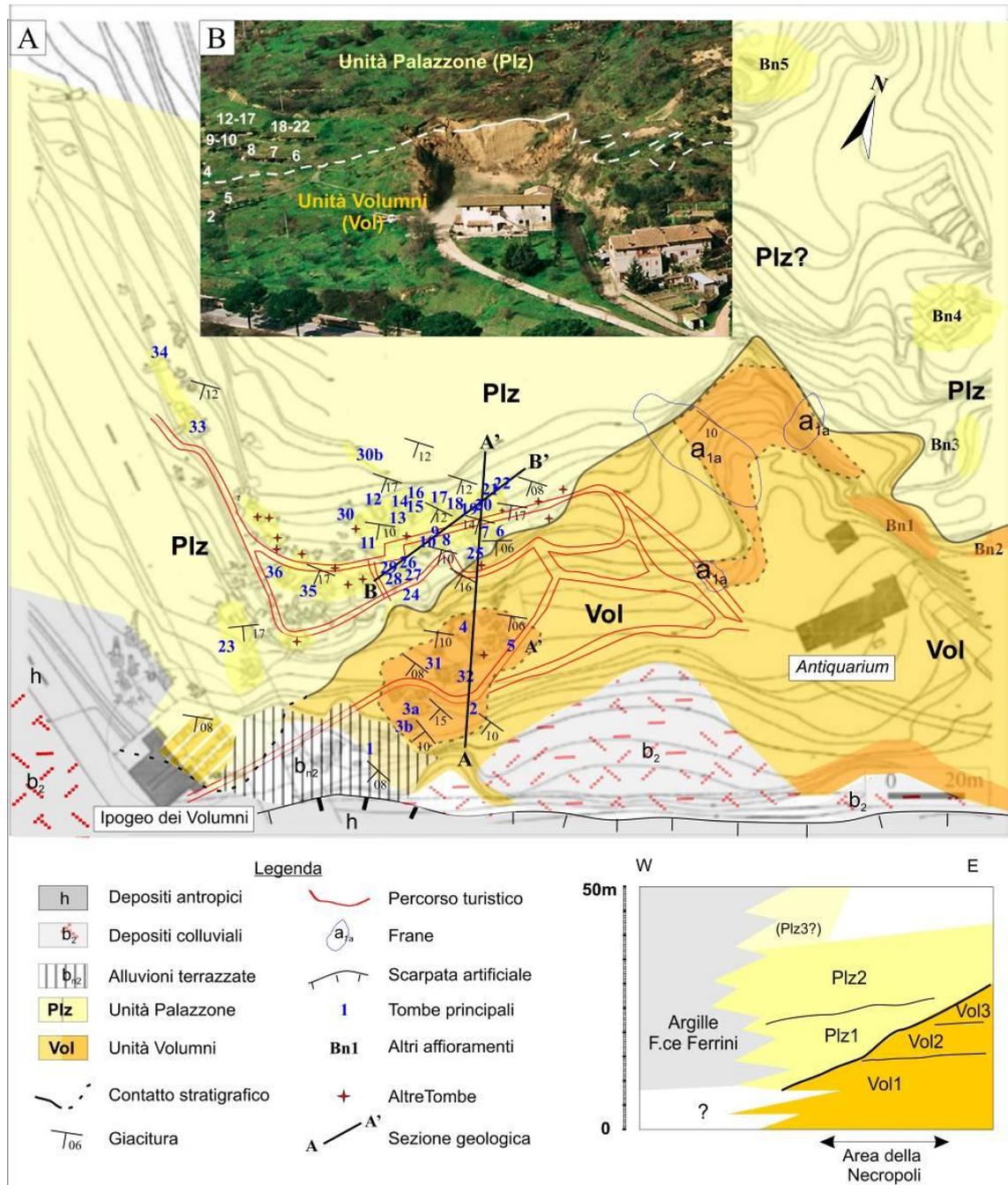
#### ABSTRACT

The Necropolis of Palazzone, one of the most well-known Etruscan necropolis in central Italy, is a good starting point in the restoration of the sedimentological and paleo-environmental evolution of the Perugia Hill. The sedimentary fluvial and lacustrine sequence outcropping on the perimeter walls of the tombs in the necropolis show a very articulated palaeogeographic evolution with at least two fluvial systems. The lower, named Volumni Unit is in a regressive phase, while the second one (Palazzone Unit) advances towards the Tiber River valley. An unconformity divides the two overlapping fluvial systems, indicating both significantly different ages, and/or an important change in the river regime. This last hypothesis may suggest relevant climatic changes or tectonics, being a key point for the comprehension of the Quaternary evolution of the Perugia hill.

#### **1. Introduzione**

L'area archeologica dell'Ipogeo dei Volumni e Necropoli del Palazzone, sotto la gestione e responsabilità diretta della Soprintendenza Archeologica dell'Umbria, rappresenta uno dei siti etruschi più importanti e visitati della Regione. Collocata alla periferia NW di Ponte S. Giovanni, immediatamente all'esterno dell'abitato, e inserita nell'omonimo parco archeologico, la Necropoli del Palazzone si estende su un'area principale di quasi 19000 m<sup>2</sup>. Un ideale confine è costituito verso W dal cavalcavia sul Raccordo Perugia-Bettolle e verso S dal tracciato della Ferrovia (Terontola-Foligno). La presenza di tombe nei terreni limitrofi, nota alla Soprintendenza fin dagli anni '60, lascia supporre un'estensione complessiva quasi doppia. Scoperta e scavata nell'Ottocento (scavi poi ripresi tra il 1963 e il 1983), è costituita da quasi duecento tombe documentate (Fig. 1A), molte delle quali purtroppo oggi non più visibili e/o accessibili. Le sepolture sono tutte scavate nel terreno naturale, anche se in molti casi è stata realizzata una copertura artificiale in cemento armato a salvaguardia della stabilità strutturale. Secondo quanto reperibile da varie fonti, [...] *sono tutte tombe*

a camera, precedute da un piccolo dromos, e si inquadrano per lo più di età ellenistica, ma in parte sono riferibili anche ad età arcaica e perciò di eccezionale interesse per la storia della città di Perugia nell'antichità.



**Figura 1.** A) Carta geologica dell'area del Parco dell'Ipogeo dei Volumni e Necropoli del Palazzo, con schema dei rapporti stratigrafici tra le diverse unità cartografate. È indicata anche l'ubicazione delle tombe (principali e secondarie) e degli altri affioramenti considerati. B) Vecchio fronte di cava, non più visibile dopo la costruzione dei magazzini della Soprintendenza: è visibile l'andamento del contatto tra le due unità cartografate (da Cencioli L., 2011, modificato).

All'interno del complesso sono inoltre presenti l'Ipogeo dei Volumni (angolo SW), l'Antiquarium e i Magazzini (lato E), questi ultimi ricavati dal ripristino di un fronte di cava dismesso (Figg. 1A, 1B: Cenciaioli, 2011): secondo quanto ricostruibile dalla documentazione fotografica, erano esposte alternanze di corpi ghiaiosi e sabbiosi, a geometria canalizzata, del tutto assimilabili a quanto ancora visibile all'interno del percorso turistico e nella restante area della Necropoli.

L'analisi stratigrafico-sedimentologica dei sedimenti plio-quadernari della Necropoli del Palazzone, effettuata nell'ambito del Progetto SILENE (un Sistema Lidar per l'Esplorazione della Necropoli del Palazzone. Telerilevamento e Geologia per la valorizzazione dei siti archeologici), cofinanziato dalla Fondazione Cassa di Risparmio di Perugia, ha permesso di indagare alcuni aspetti circa le caratteristiche geologico/stratigrafiche e sedimentologiche del sito, diversamente non facilmente rilevabili. L'esecuzione di questo lavoro è proceduta di pari passo, seppure in maniera indipendente, con i rilievi topografici e l'acquisizione di immagini con Laser Scanner, effettuate dagli altri gruppi coinvolti nel progetto, costituendone sia la base preliminare per la pianificazione dei rilievi stessi, sia un supporto durante la fase esecutiva.

Ciò va ad integrarsi perfettamente nella definizione del complesso archeologico come "Archeo-Geosito", permettendo di fornire una più ampia offerta turistica e didattica.

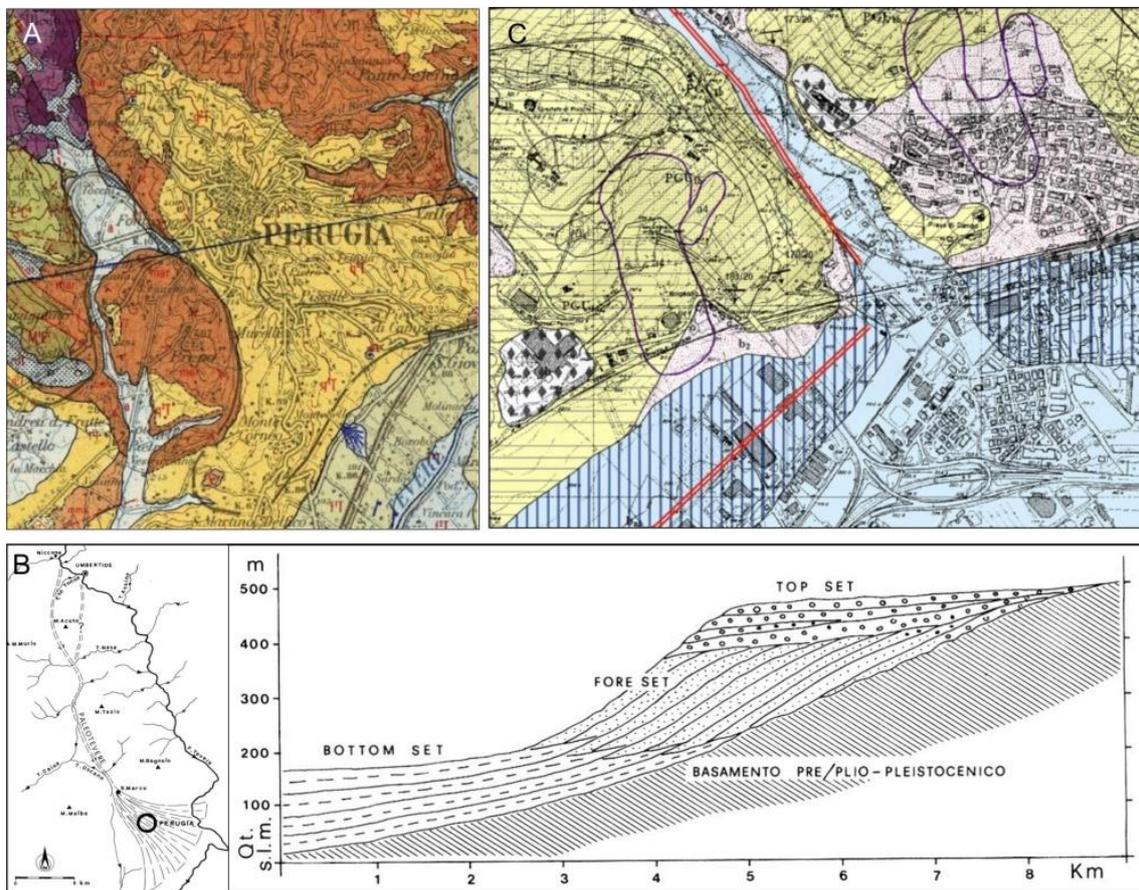
I dati qui di seguito riportati, nonché le interpretazioni geologiche, sedimentologiche e litostratigrafiche, gli schemi e i disegni permettono di considerare l'area studiata un vero e proprio punto chiave per la comprensione della geologia della collina su cui è edificata la città di Perugia.

## 2. Studi precedenti

Fin da lavori pionieristici (McLaren, 1946), l'assetto geologico del Colle di Perugia è stato schematizzato in termini di alternanze di argille, sabbie e ghiaie, presumibilmente di età pliocenica e/o pleistocenica, poggianti in discordanza sia su porzioni di substrato arenitico oligo-miocenico (a tratti affiorante anche nel centro cittadino), sia sulle unità della successione carbonatica Umbro-Marchigiana dei retrostanti Massici Perugini. Pliocene e Pleistocene continentali (Fig. 2A) sono stati in larga parte associati a depositi fluviali terrazzati (antichi e recenti), e riferiti ad un generico ambiente fluviale o fluvio-deltizio (Jacobacci et al., 1970). Il versante meridionale, in cui è ricompresa l'area analizzata, ben si colloca all'interno di questo scenario, e ha da sempre rappresentato uno dei punti chiave nella comprensione dell'assetto geologico del Colle di Perugia; tuttavia, la letteratura a riguardo è limitata. La prima vera interpretazione di tipo geologico-sedimentologico e geomorfologico (Cattuto and Gregori, 1988), ipotizza che la città sia edificata sulla parte più alta del Paleo-delta "pliocenico" del Fiume Tevere (Fig. 2B). Tale apparato (identificato come delta o fan-delta di tipo Gilbert) avrebbe disegnato una geometria a ventaglio, con apice in corrispondenza dell'attuale quartiere di S. Marco e zona distale che raggiunge il centro abitato di Ponte San Giovanni. I depositi conglomeratici più grossolani (top set) andrebbero collocati così nella porzione sommitale del rilievo perugino, seguiti verso valle da sedimenti alternati ma a prevalenza limoso-sabbiosa (foreset), mentre i depositi argillosi (bottomset)

si troverebbero nella porzione più distale e nei fondivalle. Tanto la Necropoli del Palazzo-  
ne, quanto l'Ipogeo dei Volumni, scavati all'interno di corpi conglomeratici alternati a  
sabbie fini e limi cementati, sono stati quindi associati ai depositi medio-distali, in corri-  
spondenza del passaggio tra il foreset e il bottomset del paleo-delta (Cattuto and Gregori,  
1988; Gregori, 2007).

Nella cartografia geologica più recente (Fig. 2C: Regione Umbria, 2010), l'area è compresa  
all'interno del **Sintema di Perugia - Subsintema di Ponte San Giovanni (PGU1)**; in parti-  
colare, la Necropoli risulterebbe totalmente all'interno della **Litofacies dei Volumni  
(PGU1b)**, sebbene venga cartografato un passaggio litologico circa suborizzontale tra con-  
glomerati prevalenti (porzione inferiore della collina) e sabbie prevalenti (verso l'alto).  
Questa unità è considerata eteropica alla **Litofacies della Fornace Ferrini (PGU1a)**, affio-  
rante invece nelle aree immediatamente a W (vari fronti di scavo della ex F.ce Ferrini) e N  
(cimitero e complesso scolastico di Piscille) rispetto alla collina della Necropoli.



**Figura 2.** A) Carta geologica del Colle di Perugia (da Jacobacci et al., 1970). B) Modello interpretati-  
vo dell'assetto geologico del Colle di Perugia come delta pliocenico del paleoTevere, secondo il  
modello di delta di tipo Gilbert (Cattuto and Gregori, 1988). C) Stralcio della nuova carta geologica  
dell'area di Perugia (Regione Umbria, 2010).

Come recentemente evidenziato (Melelli et al., 2016), nessuna delle interpretazioni prece-  
denti risulta completamente soddisfacente, sia dal punto di vista sedimentologico che

nell'ottica di una collocazione dei depositi all'interno del quadro complessivo dell'evoluzione geologica dell'area perugina. L'assetto geologico è probabilmente più complesso di quanto precedentemente ipotizzato, con la presenza di più Unità Litostratigrafiche sovrapposte e dai rapporti verticali e laterali articolati (Manassei, 2014; Melelli et al., 2016). Anche solo considerando l'Ipogeo dei Volumni (Melelli et al., 2016), sono ben individuabili due principali unità deposizionali, riconducibili a sistemi fluviali con caratteristiche diverse ma nessuno di questi facilmente inseribile all'interno di un sistema deltizio di tipo Gilbert.

Un aspetto particolarmente delicato nella letteratura riguarda senz'altro l'età dei depositi. L'attribuzione pliocenica (Cattuto and Gregori, 1988; Gregori, 2007) è legata ad un ragionamento di tipo geologico-evolutivo, ma manca di supporti cronologici certi. I resti di vertebrati presenti tra Villa Spinola, F. ce Ferrini, Piscille e S. Costanzo indicano, almeno per una parte dei depositi, un'età pleistocenica inferiore (Argenti and Sardella, 2003). Purtroppo, si tratta di ritrovamenti spesso antichi, mancanti di indicazioni certe sulla provenienza topografica e litostratigrafica, riferiti in larga parte alle "Argille ad Helix" (De Angelis D'Ossat, 1918), unità riconducibile in prima approssimazione alla Litofacies della Fornace Ferrini (PGU1a) della recente cartografia. Tuccimei (1895) durante il recupero dei reperti di "Villa Spinola" descrive la sezione geologica di S. Martinello, di cui oggi non è possibile definire con certezza l'ubicazione (si sa solo che era esposta sul lato sud della collina, tra Ponte S. Giovanni e il Tevere): argille azzurre, passanti verso l'alto a sabbie argillose azzurre, a sabbie gialle e infine a ghiaie non cementate. Come illustrato in seguito, una simile descrizione è associabile, almeno in parte, alle caratteristiche delle sezioni rilevate in questo lavoro nella porzione SW della Necropoli. I reperti paleontologici sono attualmente in fase di restauro e studio: seppure il dato sia molto preliminare, le caratteristiche morfometriche delle parti anatomiche sembrerebbero confermarne l'attribuzione tardo villafranchiana e, di conseguenza, pleistocenica inferiore (Argenti and Sardella, 2003; Cherin, com. pers.).

### 3. Materiali e metodi

L'attività di terreno ha permesso di individuare, analizzare e descrivere, all'interno dell'area della Necropoli (Fig. 1A) 35 punti di affioramento (di cui 23 tombe principali e 12 affioramenti secondari), con la realizzazione di 32 log (o sezioni) sedimentologici-litostratigrafici.

A questi si aggiunge la sezione ricostruita in precedenza all'interno dell'Ipogeo dei Volumni (Melelli et al., 2016). Sono stati inoltre individuati vari altri punti di affioramento, parzialmente appartenenti a tombe non più visibili e/o accessibili, che sono stati presi in considerazione ma utilizzati solo per la cartografia (Fig. 1A).

Per ciascuno dei log realizzati, sono state valutate in modo qualitativo granulometria, morfometria e composizione mineralogico-petrologica dei depositi; ove possibile, sono stati raccolti dati quantitativi, nonché effettuate misure di paleocorrente. Il prelievo di campioni per analisi granulometriche di tipo volumetrico è stato scartato fin dall'inizio, poiché la natura litologica dei depositi avrebbe richiesto l'asportazione di quantità elevate

di materiale per ogni singolo campione, operazione incompatibile con l'importanza del sito archeologico e la necessità di una sua preservazione. Anche la realizzazione di griglie di campionamento, tecnica applicabile ai depositi più grossolani, avrebbe condotto all'effettuazione di misure in situ senza asportazione di materiale dalle pareti, a scapito della sistematicità ed oggettività del risultato. Per i livelli sabbiosi, l'analisi visiva è apparsa comunque sufficiente sia per evidenziarne le variazioni granulometriche che la sostanziale uniformità mineralogico-petrologica e morfometrica dei granuli. Per quanto riguarda i corpi ghiaiosi, sono state comunque realizzate due griglie di campionamento (25x25 cm), senza asportazione di materiale, al fine di verificare la fattibilità del metodo e di validare i risultati della descrizione qualitativa (vedi capitolo 4). Ogni ciottolo situato in corrispondenza di un nodo è stato misurato senza distaccarlo dalla sua originaria posizione, individuandone ove possibile la litologia (prevalentemente distinguendo tra Arenaria e Carbonato). A fronte di un'operazione lunga e non agevole da realizzare, il metodo non aggiunge nulla alla descrizione puramente qualitativa, e comunque il dato raccolto non è esente da limiti ed errori.

**Tabella 1.** Sigle utilizzate nella descrizione sedimentologica, in accordo con Miall (1982, 1985, 1988, 1991) ed Einsele (1992).

GEOMETRIE		FACIES	
Ch	Canale	Gm, Gh	Ghiaie massive o poco stratificate
GB	Gravel Bedform (forme di fondo ghiaiose)	Gp	Ghiaie a stratificazione incrociata a set paralleli
SB	Sandy Bedform (forme di fondo sabbiose)	Gt	Ghiaie a stratificazione incrociata a set concavi
DA	Downstream Accretion	Sp	Sabbie a stratificazione incrociata a set paralleli
LA	Lateral Accretion	St	Sabbie a stratificazione incrociata a set concavi
OF	Overbank Fine (piana di esondazione)	Sh	Sabbie a stratificazione piana
		Sr	Sabbie con ripple
		Fl	Argille e silt massivi e/o laminati
		Im	Embriciature

In questo studio si fa riferimento alla scala granulometrica di Udden-Wentworth, come modificata da Blair and McPherson (1999), per le granulometrie maggiori, a tabelle di comparazione visiva, a formule e grafici comunemente usati in ambito sedimentologico (Folk and Ward, 1957; Pettijohn, 1957; Powers, 1953; Zingg, 1935); le sigle utilizzate per la descrizione sintetica delle facies e dei corpi sedimentari (sintetizzate in Tabella 1) fanno riferimento a Miall (1982, 1985, 1988, 1991) ed Einsele (1992).

Data la difficoltà di individuare l'esatta posizione di molti punti di scavo, riportati in carta ma oggi non più visibili e/o fortemente modificati, si è scelto di adottare una numerazione diversa da quella riportata nel rilievo del 1983. Questa numerazione ha fatto da ri-

ferimento sia per il posizionamento di tutte le altre analisi effettuate nell'intero progetto, sia per la restituzione grafica tridimensionale e tutti gli elaborati prodotti.

L'area indagata è stata in seguito leggermente ampliata, prendendo in considerazione alcune situazioni limitrofe (Cimitero di M.na del Tufo-Pieve di Campo, Piscille, area ex F.ce Ferrini), solo da un punto di vista esplorativo e non cartografico di dettaglio. I dati raccolti sono stati infine confrontati con quelli derivanti da alcune analisi pregresse svolte, in aree contigue, durante il progetto di Microzonazione Sismica della Città di Perugia (2008-2009). Tale materiale è parte del report complessivo pubblicato dalla Regione Umbria e facilmente reperibile in rete (Regione Umbria, 2010).

#### 4. Analisi dei dati e risultati preliminari ottenuti

Sia all'interno che al di fuori del percorso turistico, le tombe appaiono scavate su almeno 5 livelli principali sovrapposti, con quote comprese tra  $\cong 210$  m s.l.m. (pavimento dell'Ipogeo dei Volumni) e  $\cong 238$  m s.l.m. (tombe 12, 16). Ad eccezione dell'Ipogeo, solo le tombe situate nei livelli superiori del percorso turistico mantengono la copertura originaria a volta, che risulta invece totalmente mancante nelle tombe inferiori e in quelle sul lato E (verso il Raccordo Perugia-Bettolle), dove è visibile direttamente la copertura in cemento armato. Secondo la documentazione delle fasi di scavo nel periodo 1963-1983 (Cenciaioli, comm. pers.), le tombe inferiori erano per lo più riempite dal materiale di crollo delle volte originarie. Non è dato sapere, al momento, se la copertura di molte di queste fosse già in partenza realizzata in depositi meno competenti (colluvioni, alluvioni terrazzate, etc.) e, di conseguenza, più facilmente soggetti a cedimenti.

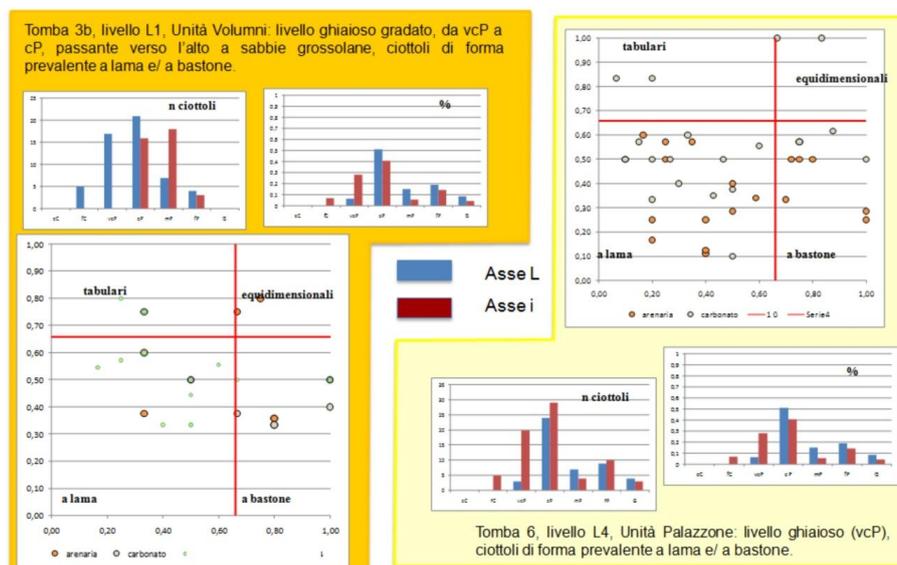
Così come riportato in lavori pregressi (Regione Umbria, 2010), l'area della Necropoli è caratterizzata dalla presenza di depositi ghiaioso-conglomeratici, prevalenti nella porzione inferiore, e sabbiosi, ben rappresentati nella porzione superiore della collina e che diventano prevalenti nel lato occidentale (Fig. 3).



Figura 3. Caratteristiche litologiche dei depositi presenti nell'area rilevata

Entrambe le litologie risultano piuttosto coerenti, tanto da supportare la persistenza di pareti verticali e soffitti a volta. Un po' in tutte le tombe, il materiale tende a subire distacchi di piccola entità; dove, soprattutto per incuria e scarsa manutenzione, si sono verificati cedimenti importanti (es.: tomba 33), i depositi tendono a distaccarsi a blocchi mantenendo comunque una certa compattezza. A queste litologie si associano livelli e lenti di depositi più fini, spesso localmente rielaborati e presenti come frammenti (clay chips) all'interno delle sabbie. Pur con le variazioni granulometriche riscontrate da un livello all'altro, e ben evidenziate nei singoli log, i depositi mantengono alcune caratteristiche sedimentarie costanti lungo tutta la successione stratigrafica.

I livelli ghiaiosi/conglomeratici, a diverso grado di cementazione, hanno tessitura clasto-sostenuta, con abbondante presenza di matrice sabbiosa grossolana ( $0,5\text{mm} < \phi < 2\text{mm}$ ), talvolta al limite dei granuli ( $2\text{mm} < \phi < 4\text{mm}$ ), e un moderato grado di selezione ( $\sigma = 1,00 \Phi$  *sensu* Folk and Ward, 1957). I ciottoli sono in prevalenza da arrotondati/subarrotondati a subangolosi (rounding 0.6 - 0.8: Pettijohn, 1957; Powers, 1953), con forme prevalentemente a lama (blade) e a bastone (rod), subordinatamente equidimensionali, in accordo con il diagramma di Zingg (1935). Da un punto di vista petrologico, i ciottoli sono prevalentemente calcareniti di colore grigio o avana, di Serie Toscana, e areniti a grana medio-grossolana; sono presenti anche ciottoli monomineralogici quarzitici e/o calcitici, micriti avana e occasionalmente vulcaniti di colore verde (presumibilmente ofioliti), queste ultime documentate soprattutto all'interno dell'Ipogeo. Molti clasti mostrano una superficie di ossidazione di colore marrone scuro o rossiccio (Fig. 3). Per quanto riguarda le due griglie di campionamento, citate in precedenza, sono stati scelti come punti di analisi il livello L1 della tomba 3b e il livello L4 della tomba 6. Il risultato ottenuto è mostrato in Figura 4, insieme alla descrizione qualitativa dei due livelli, operata durante la realizzazione del log: come si può notare, le caratteristiche litologiche e morfometriche dei ciottoli sono del tutto confrontabili per i due livelli, mentre la distribuzione granulometrica è comparabile con la valutazione preliminare operata.



**Figura 4.** – Analisi granulometrica e morfometrica statistica su due livelli esemplificativi.

Le sabbie hanno un prevalente colore giallo chiaro, talvolta grigio, sono da moderatamente a ben classate ( $1.00 < \sigma < 0.5 \Phi$  sensu Folk and Ward, 1957), con elementi angolosi/subangolosi e a sfericità variabile, in prevalenza granuli di quarzo ad elevata sfericità e frammenti litici di forma più irregolare. Quando presenti, sia come livelli, lenti o frammenti, i depositi più fini sono rappresentati da silt argillosi/argille di colore grigio, mediamente plastici.

Questa complessiva uniformità può essere indicativa della provenienza del materiale da un'area di alimentazione stabile nel tempo, o della rielaborazione in più fasi dello stesso materiale. Tuttavia, attraverso l'area studiata è possibile identificare la presenza di due Unità Litostratigrafiche sovrapposte (Figg. 1A, 5, 6, 7), distinte su base sedimentologico-litostratigrafica e interpretativa; le due unità vengono provvisoriamente indicate (in successione stratigrafica) come Unità Volumni (Vol) e Unità Palazzone (Plz).

Il contatto è osservabile direttamente solo all'interno delle tombe 6, 7, 17 e 25, mentre è intuibile a cavallo delle scale di accesso all'Ipogeo dei Volumni. Questo contatto è però piuttosto chiaro nelle foto del vecchio fronte di cava (Fig. 1B).

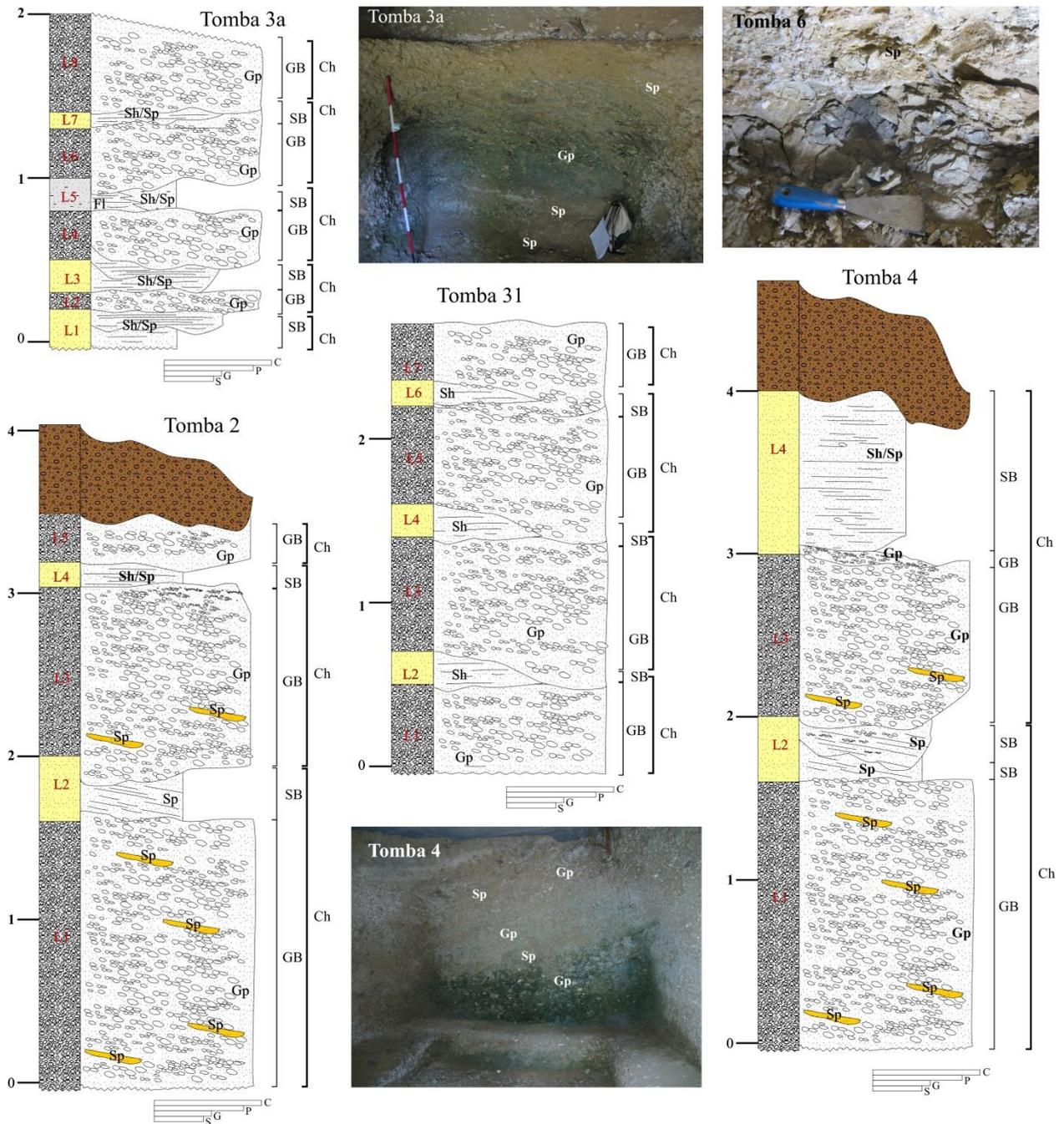


Figura 5. Caratteri sedimentologici dell'Unità Volumni

#### 4.1 Unità Volumni (Vol)

Contraddistingue l'Ipogeo (ad eccezione dell'ingresso esterno), le tombe 2, 3a, 3b, 4, 5, 31, 32, 32b, affiora nella parte inferiore delle tombe 6, 7, 17e 25, e caratterizzava quasi totalmente il fronte di cava nel lato E (Fig. 1B). All'interno della tomba 1, l'Unità scompare al di sotto di depositi probabilmente appartenenti ad un antico terrazzo fluviale (sigla  $b_{n2}$  in carta).

L'unità è caratterizzata da canali ben individuabili, con una continuità longitudinale facilmente leggibile e un'estensione laterale non valutabile in queste condizioni di affioramento. Il riempimento dei canali (Fig. 5) avviene per gravel bedforms (GB) nella parte inferiore e sopracorrente, passanti verso l'alto e sottocorrente a sandy bedforms (SB). In en-

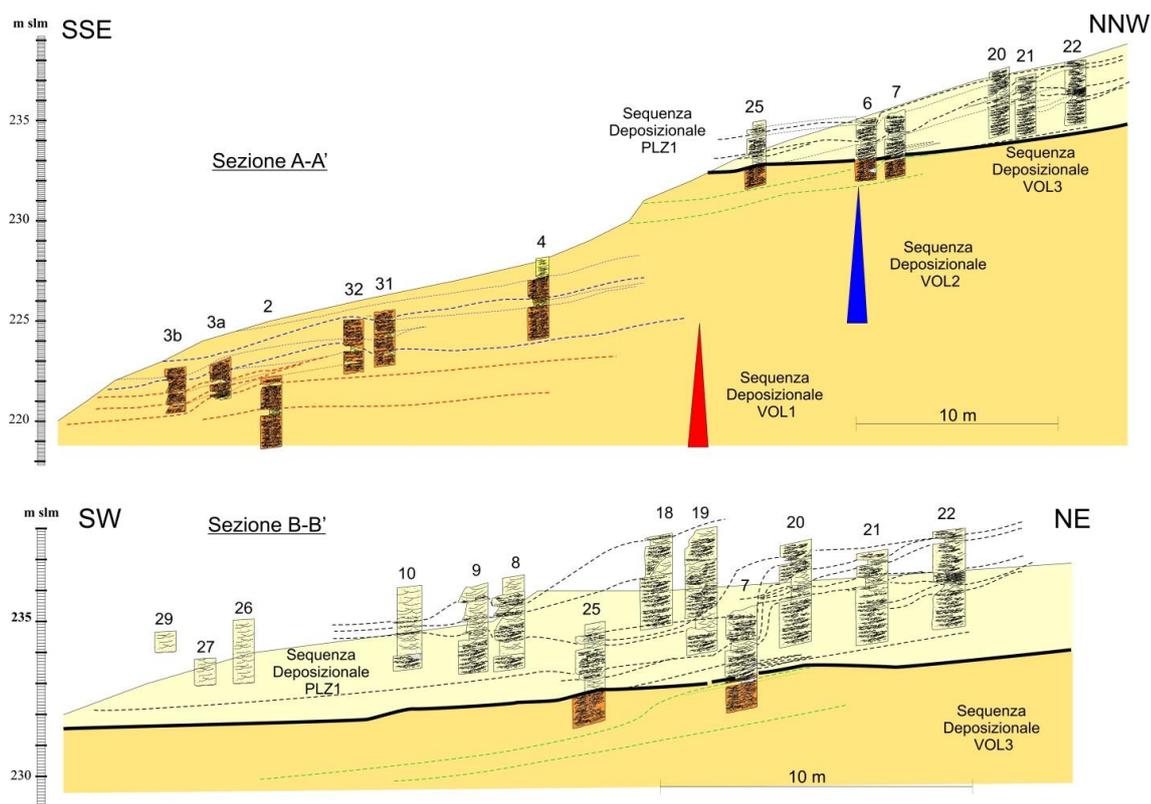
trambi i casi, prevalgono barre longitudinali e/o trasversali migranti sottocorrente con stratificazioni incrociate di tipo Gp ed Sp; facies Gm, Gt, St e Sh sono meno frequenti e solo localmente visibili, in particolare all'interno dell'Ipogeo, così come livelli, a probabile geometria lenticolare, di argille/silt con facies Fl. Progradazione delle barre, assi di canali e flussi secondari, individuati dalla misura di embriciature in più livelli, individuano direzioni di trasporto disperse tra SSE e SSW.

Dal rilevamento effettuato e come ben evidenziato nelle sezioni interpretative (Fig. 7), sono individuabili tre intervalli sovrapposti (sequenze deposizionali), indicati rispettivamente come Vol<sub>1</sub>, Vol<sub>2</sub> e Vol<sub>3</sub>. La porzione inferiore (ma non la base) dell'intervallo Vol<sub>1</sub> è visibile esclusivamente all'interno dell'Ipogeo (Ch 1 – Ch 4: Melelli et al., 2016), mentre gli altri due intervalli affiorano soltanto nelle tombe della Necropoli del Palazzone. I primi due mostrano una chiara tendenza fining-upward, mentre il terzo viene interrotto nella porzione grossolana dalla sovrapposizione dei corpi dell'Unità sovrastante.

#### **4.2 Unità Palazzone (Plz)**

Costituisce completamente l'interno delle tombe da 8 a 16, da 18 a 22, 23, 24, da 26 a 30b e da 33 a 36; affiora inoltre nella parte superiore delle tombe 6, 7, 17e 25, e al di sopra della scala di accesso all'Ipogeo dei Volumni. Era infine visibile nella porzione sommitale del fronte di cava oggi ripristinato (Fig. 1B). A differenza della sottostante Unità, l'architettura deposizionale appare qui più complessa (Fig. 6), con canali a riempimento misto, prima ghiaioso/sabbioso (alternanze di GB e SB) poi nettamente sabbioso (SB prevalenti), con sistemi di barre a stratificazione incrociata Gt, St e Sp che si sovrappongono e si intersecano lateralmente, spesso con scarsa continuità laterale (riempimento di tipo multistorey), intercalate a livelli e lenti siltoso/argillose con facies Fl, spesso parzialmente o totalmente rielaborate all'interno delle strutture precedenti. Le condizioni di affioramento non permettono quasi mai di seguire agevolmente la continuità e/o l'eteropia laterale di facies. È comunque riconoscibile una progradazione delle strutture nel verso della corrente (downstream accretion), secondo un asse principale di trasporto (asse dei canali) verso SW e direzioni di corrente disperse tra NW e S. La variazione laterale di facies è molto marcata trasversalmente rispetto a tale asse (circa in direzione NW-SE). Similmente a quanto rilevato per la sottostante Unità, anche all'interno dell'Unità Palazzone possono essere identificati due intervalli (sequenze deposizionali) sovrapposti, indicati come Plz<sub>1</sub> e Plz<sub>2</sub>. Il passaggio tra i due è marcato da una superficie erosiva canalizzata molto estesa sia nella direzione principale di trasporto che trasversalmente alla stessa (Fig. 7), che sembra tagliare indifferentemente sia depositi siltosi e argillosi di overbank sia canali e barre dell'intervallo sottostante. L'intervallo Plz<sub>1</sub> è parzialmente visibile sopra le scale di ingresso all'Ipogeo e nella porzione inferiore delle tombe 33 e 35-36, mentre la porzione superiore di queste ultime e tutte le altre situazioni di affioramento dell'Unità Palazzone sono riconducibili all'intervallo Plz<sub>2</sub>.





**Figura 7.** Profili geologico-stratigrafici attraverso la collina e la Necropoli del Palazzo: A-A'=sezione SSE-NNW; B-B'=sezione SW-NE. La traccia delle due sezioni è riportata in Figura 1.

### 4.3 Assetto Geologico ed architettura deposizionale

Nonostante le giaciture siano piuttosto costanti, con una minima dispersione dell'immersione tra SSE e SSW (Fig. 1A), le due Unità mostrano una seppur minima differenza di inclinazione, con Plz mediamente 2-4° più inclinata di Vol; la superficie di discordanza che le separa assume le caratteristiche di una disconformity o di una blanda angular unconformity (Figg. 1A, 6). Entrambe le unità scompaiono verso valle, in direzione sud e sud-ovest, al di sotto di depositi recenti (coltri eluvio-colluviali  $b_2$ , depositi alluvionali terrazzati e recenti, depositi antropici). I profili sismici nella zona industriale di Ponte S. Giovanni e tra Colonna e M.na del Piano (Regione Umbria, 2010), in sponda destra del Tevere e in un raggio di pochi chilometri dalla Necropoli, evidenziano la presenza di depositi argillosi mediamente a 10-15 m di profondità, immediatamente al di sotto delle alluvioni recenti. Non appare chiaro al momento se questi depositi siano riconducibili al substrato plio-pleistocenico (Argille della F. ce Ferrini e/o altra Unità sottostante), marcando quindi un'eteropia laterale anche con l'Unità Volumni, oppure se lo spessore di alluvioni al di sotto della valle sia ben più consistente di quanto supposto. Una perforazione ubicata sempre nella zona industriale di Ponte S. Giovanni (Regione Umbria, 2010), ma in sponda sinistra del Tevere, intercetta il substrato (F. ne del Macigno auct.) già a 10 m di profondità, a diretto contatto con le alluvioni recenti e senza la presenza di argille interposte. Nel complesso, questa situazione è riconducibile alla presenza di faglie bordiere su entrambi i lati del profilo vallivo, con geometrie ed estensione non valutabili in questa fase. Diverso è il caso del profilo sismico Piscille (Regione Umbria, 2010), dove al di sotto delle argille ricompaiono

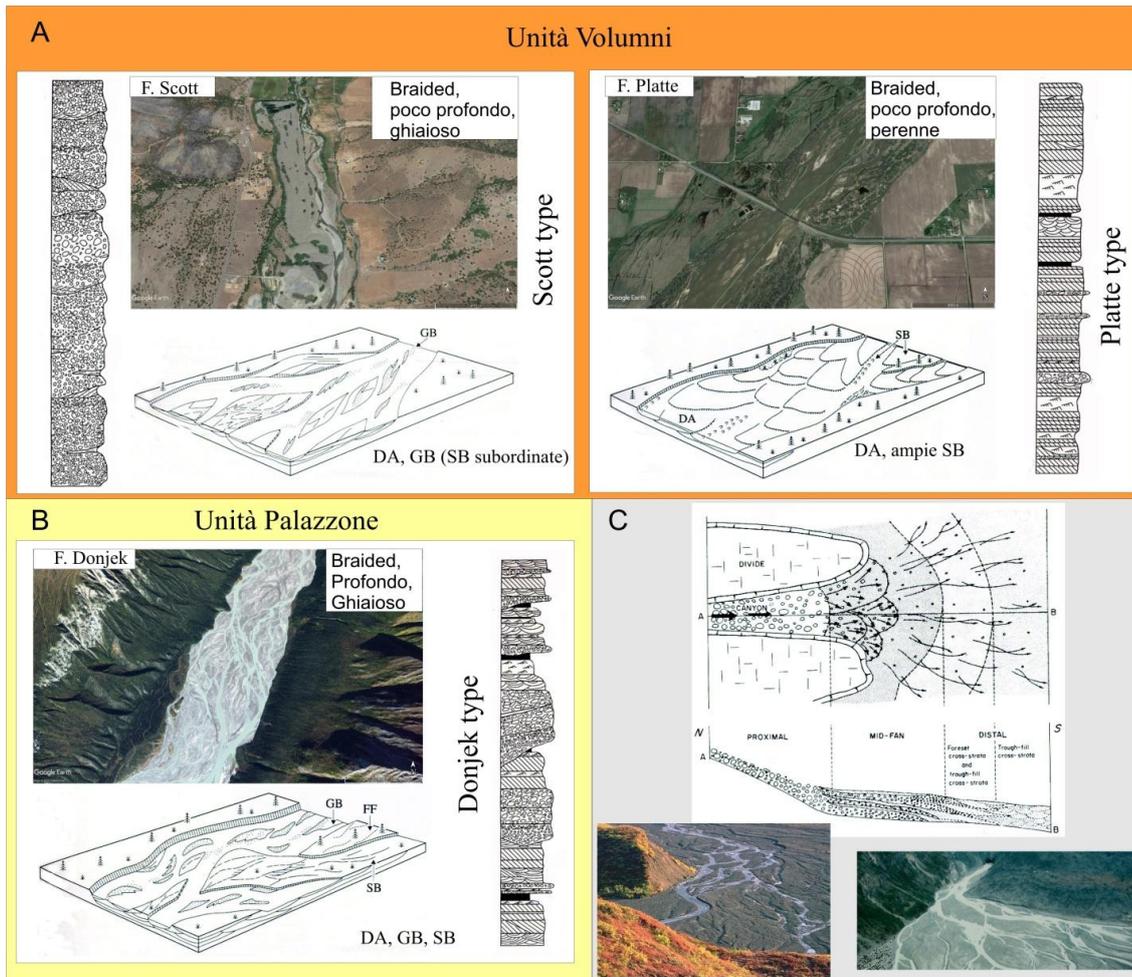
depositi più grossolani, a riprova di una transizione laterale e verticale tra l'Unità Palazzone e le Argille della F. ce Ferrini.

## 5. Discussione e conclusioni

### 5.1 Ricostruzione paleodeposizionale e paleogeografica

In base alle facies sedimentarie descritte, tutti i depositi analizzati possono essere facilmente ricondotti a trasporto e sedimentazione prodotti ad opera di correnti trattive, in larga misura canalizzate, e/o a decantazione, e ad un contesto deposizionale fluviale. Dominano quindi processi di tipo Fluid Flow, mentre depositi da processi gravitativi o da Sediment Gravity Flows (Lowe, 1979; Nemec and Steel, 1984) risultano totalmente assenti. La mancanza di forme di accrezione laterale (LA: Miall, 1985, 1988, 1991), le caratteristiche geometriche dei corpi ghiaiosi e sabbiosi, e la dispersione delle paleocorrenti permette di associare i depositi di entrambe le Unità a sistemi fluviali a canali intrecciati, di tipo braided. L'architettura deposizionale assume tuttavia caratteristiche diverse per le due Unità, indicando chiaramente la sovrapposizione di due distinti sistemi fluviali. I depositi dell'Unità Volumni indicano la migrazione sottocorrente di barre ghiaiose prevalenti, subordinatamente sabbiose o miste, facilmente interpretabili attraverso i modelli deposizionali classici (Bluck, 1976; Hein and Walker, 1977; Rust, 1984; Southard et al., 1984; Steel and Thompson, 1983 etc.).

Più articolata appare invece la situazione per i depositi dell'Unità Palazzone: la marcata variabilità laterale di facies può essere interpretata con la variazione laterale dei flussi, indotta dalla presenza di barre precedentemente deposte, o come costruzione progressiva di strutture durante diverse fasi di alluvionamento e caduta della corrente. Entrambi i casi fanno riferimento ai modelli proposti da Bridge (1993). Volendo fare riferimento ai classici modelli fluviali proposti da Miall (1982, 1985), come già proposto anche in Melelli et al. (2016), la porzione inferiore degli intervalli Vol<sub>1</sub> e Vol<sub>2</sub>, così come la parte visibile di Vol<sub>3</sub>, possono essere associati a canali braided a prevalenza ghiaiosa, poco profondi, simili al modello Scott Type (Fig. 8A). Entrambi gli intervalli Vol<sub>1</sub> e Vol<sub>2</sub> sembrano evolvere verso l'alto a sistemi fluviali braided sabbiosi, sempre di bassa profondità, in accordo ad alcune caratteristiche del Platte Type (Fig. 8A). Nel loro insieme, i depositi dell'Unità Palazzone individuano un sistema fluviale ancora braided, con canali maggiori più profondi e notevole presenza di canali secondari e strutture di ordine minore, qualcosa confrontabile col modello Donjek Type (Fig. 8B).



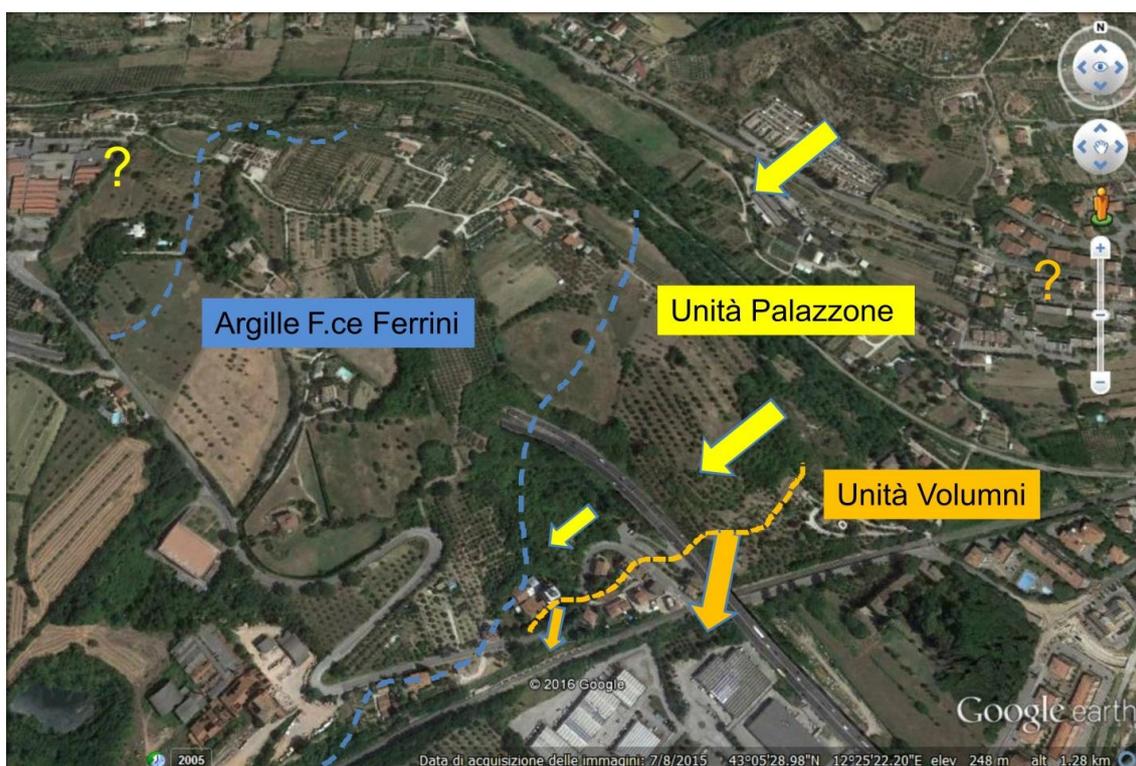
**Figura 8.** Interpretazione paleoambientale e paleodeposizionale delle unità rilevate, secondo i modelli fluviali di Miall (1982, 1985). A) Ambiente deposizionale per l'Unità Volumni. B) Ambiente deposizionale per l'Unità Palazzone. C) Interpretazione delle due unità come evoluzione all'interno di un contesto di conoide alluvionale.

Va comunque notato che un tale parallelismo può essere esclusivamente descrittivo, in quanto questi modelli sono ispirati a casi reali in contesti morfoclimatici specifici e non comparabili con quanto caratterizzava le nostre latitudini durante il Plio-Pleistocene. In tal senso, ogni fiume costituisce un modello a sé, spesso solo in parte riconducibile entro gli schemi di letteratura.

Le facies descritte e la loro associazione verticale e laterale, tanto per l'Unità Volumni che per l'Unità Palazzone, si associano probabilmente a reticoli di canali sviluppati nella porzione esterna del mid-fan di un conoide (Fig. 8C), al passaggio alla porzione distale (transizione piede intermedio-esterno). Nel caso dell'Unità Volumni, l'ipotesi di canali al topset di un apparato di Fan-delta non può essere ancora totalmente esclusa, non avendo alcun riscontro documentato sulle Unità originariamente in eteropia laterale. Tuttavia, questa interpretazione risulta sempre meno solida, alla luce di un sistema fluviale sovrastante (identificato nell'Unità Palazzone) laterale ad una piana alluvionale o comunque ad un overbank subaereo. Ancora una volta, la presenza di facies prossimali già a bassa quota sulla valle attuale, che si vanno ad aggiungere a quelle descritte in passato alla sommità del

Colle di Perugia, sembra rimandare ad un sistema di apparati sovrapposti e ad un'evoluzione geologica articolata.

I dati raccolti in questo lavoro permettono di individuare un primo sistema fluviale (Unità Volumni) chiaramente in fase di regressione, con retrogradazione delle facies distali su quelle più prossimali ed un secondo sistema (Unità Palazzone) che invece avanza verso valle. Tale situazione appare evidente, estendendo l'osservazione alle zone limitrofe: spostandosi verso l'originaria direzione di provenienza del corso d'acqua, le caratteristiche di questo secondo sistema fluviale appaiono nuovamente in corrispondenza dell'affioramento di Pieve di Campo, a meno di 2 km di distanza verso NE.



**Figura 9.** Possibile andamento in pianta dei due tracciati fluviali sovrapposti ed ubicazione della piana di esondazione (overbank)

Tali caratteristiche sono comparabili con quanto visibile nella Necropoli, (canali multistorici con facies Gt, St prevalenti, subordinate Gp e Sp, direzione di trasporto dispersa tra S e SW), tuttavia le granulometrie sono più grossolane e i canali prevalentemente ghiaiosi. Inoltre, l'affioramento di Pieve di Campo evidenzia l'espressione prossimale del passaggio Plz1 - Plz2, come descritto all'interno della Necropoli (Fig. 7). Spostandosi nell'altra direzione, si incontrano facies distali e la transizione (documentata nei sondaggi: Regione Umbria, 2010) alla piana di esondazione. I due sistemi fluviali sovrapposti hanno inoltre assi di trasporto prevalente orientati in direzioni leggermente diverse (Fig. 9). Per entrambi, l'area della Necropoli mette in evidenza la zona dei canali, a scapito dell'esposizione della piana alluvionale.

Il fatto che la sovrapposizione tra i due sistemi fluviali avvenga con un rapporto discordante può indicare sia età significativamente diverse, sia un cambiamento importante nel

regime fluviale, conseguenza di modificazioni climatiche importanti o di tettonica. Si può infatti pensare il primo sistema come un apparato costruito allo sbocco di una valle principale, in un momento di progressiva riduzione dell'energia del rilievo per stabilità tettonica o innalzamento del livello di base locale. Quest'ultimo, data la mancanza di dati definitivi, potrebbe essere individuato tanto in una piana alluvionale, quanto in un bacino lacustre non necessariamente di grande estensione. L'accresciuta energia, marcata dalla progradazione verso valle, del secondo sistema si accompagna probabilmente ad una fascia pedemontana più ampia e debolmente inclinata verso la piana fluviale principale, drenata da un reticolo fluviale di tipo braided (braid-plain). In questa fase, è possibile sia una significativa attività tettonica, sia l'impostazione di un drenaggio in senso meridiano della valle principale (proto- o paleo-Tevere).

## 5.2 Implicazioni per l'assetto geologico del Colle di Perugia

Una prima questione che sembra nascere dai risultati preliminari riguarda l'applicabilità delle unità litostratigrafiche proposte nella letteratura, più o meno recente. "Litofacies del Colle di Perugia", "Litofacies dei Volumni", così come descritte nella cartografia recente (Regione Umbria, 2010), non trovano una facile corrispondenza con quelle identificate sulla base dei dati raccolti ed interpretati in questo lavoro, tanto più per il loro significato paleo-ambientale. Una parziale eccezione riguarda la corrispondenza tra Argille della F.ce Ferrini e Litofacies della F.ce Ferrini, sia per le caratteristiche descritte che per il rapporto di parziale eteropia laterale: in questo caso, può essere accettata l'interpretazione proposta nella cartografia (Regione Umbria, 2010), ove si consideri l'Unità Palazzone (Plz) parzialmente sovrapponibile alla Litofacies dei Volumni (PGUrb). Una conseguenza diretta è la necessità di riconsiderare le unità descritte per il Colle di Perugia, in un'ottica non puramente descrittiva ma geologico-interpretativa. In questo approccio, datare con sufficiente affidabilità i depositi descritti appare rilevante ma, purtroppo, di non facile soluzione.

Nell'ottica dei ragionamenti sopra esposti, l'età ipotizzabile per i due sistemi risulta al momento un problema aperto. I dati biocronologici già citati, riferiti in particolare ai reperti fossili della F.ce Ferrini e secondariamente a quelli di Villa Spinola, Piscille e S. Costanzo, permettono di attribuire comunque l'Unità Palazzone e il suo ambiente fluviale al Pleistocene inferiore (probabilmente U.F. Tasso). Tale attribuzione collocherebbe l'Unità in eteropia laterale con l'Unità di S. Maria di Ciciliano (Ambrosetti et al., 1995; Argenti and Sardella R., 2003; Basilici G., 2000) verso sud, con il Subsistema di S. Biagio (Argenti et al., 2013; Pazzaglia, 2007; Regione Umbria, 2010) verso ovest, e verso nord ed est con il Sistema di Fighille o unità equivalenti (Argenti, 2004; Piali et al., 2009; Plesi et al., 2010). Meno chiaro appare invece il quadro cronologico relativo all'Unità Volumni, il cui sistema fluviale potrebbe rappresentare tanto una fase evolutiva immediatamente precedente e in continuità con quella marcata dall'Unità Palazzone, oppure una fase totalmente scollegata e anche di molto antecedente. I dati sin qui raccolti e i ragionamenti esposti sembrano indirizzare per la prima ipotesi piuttosto che per la seconda; tuttavia, solo l'inserimento delle due Unità nel quadro più generale e indubbiamente più complesso dell'evoluzione del Colle di Perugia potrà permettere una corretta ed esaustiva valutazione.

### 5.3 Indicazioni conclusive e prospettive di ricerca

I dati raccolti e proposti in questa sezione vanno ad integrarsi con i risultati derivanti dagli altri studi, offrendo così un quadro di per sé ben articolato e sufficientemente affidabile dell'assetto geologico e sedimentologico/stratigrafico dell'area del Palazzone. Gli aspetti riguardanti l'andamento geometrico dei corpi e la loro restituzione tridimensionale si allineano bene con l'elaborazione dei dati del rilievo con Laser Scanner e topografici. I dati, nel loro insieme, offrono nuove prospettive sia per la salvaguardia del sito, sia per la sua valorizzazione turistica, didattica e scientifica.

La realizzazione di una campagna di analisi sedimentologiche quantitative sarebbe senz'altro auspicabile, previo accordo con la Soprintendenza e pianificazione dettagliata di indagini non o solo parzialmente invasive, fermo restando il primario interesse di tutela del bene archeologico.

Seppure in embrione, in un contesto più generale, i risultati esposti indicano nella Necropoli del Palazzone un punto chiave nella ricostruzione e/o ridefinizione dell'assetto geologico complessivo del Colle di Perugia, e del suo significato nel quadro dell'evoluzione del Bacino Tiberino durante il Pliocene ed il Pleistocene inferiore.

### Bibliografia

Ambrosetti P., Basilici G., Capasso-Barbato L., Carboni M.G., Di Stefano G., Esu D., Gliozzi E., Petronio C., Sardella R., Squazzini E. (1995) - Il Pleistocene inferiore nel ramo sudoccidentale del bacino tiberino (Umbria): aspetti litostratigrafici e biostratigrafici", *Il Quaternario*, 8, 19-36.

Argenti P. (2004) - Plio-Quaternary mammal fossiliferous sites of Umbria (Central Italy), *Geologica Romana*, 37, 67-78.

Argenti P., Bizzarri R., Pazzaglia F. (2013) - IV.5 Successioni dei Bacini sedimentari plio-pleistocenici", in BARCHI M., MARRONI M. (a cura di), *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - Foglio 310 "Passignano sul Trasimeno"*. ISPRA, Regione Umbria, 74-99.

Argenti P., Sardella R. (2003) - Early Pleistocene large mammals from Villa Spinola (Perugia, Central Italy), *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 42, 3, 315-321.

Basilici G. (2009) - Floodplain lake deposits on an early Pleistocene alluvial plain (Tiberino Basin, Central Italy)", in GIERLOWSKI - KORDESCH E.H., KELTS K.R. (a cura di.), *Lake basins through space and time. AAPG Studies in Geology*, 46, 535-542.

Blair T.C., McPherson J.G. (1999) - Grain size and textural classification of coarse sedimentary particles, *Journal of Sedimentary Research*, 69, 6-19.

Bluck B.J. (1976) - Sedimentation in some Scottish rivers of low sinuosity, *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 69, 425-456.

Bridge J.S. (1993) - The interaction between channel geometry, water flow, sediment transport and deposition in braided rivers, in BEST J.L., BRISTOW C.S. (a cura di), *Braided Rivers*, London, Special Publication of the Geological Society, 75, 16-71.

Cattuto C., Gregori L. (1988) - Il colle di Perugia: note di geologia, idrogeologia e geomorfologia, *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 107, 131-140.

Cenciaioli L. (2011) - Perugia, i magazzini di Ponte San Giovanni, *Bollettino di Archeologia on line - Direzione Generale per le Antichità*, estratti da II, 2011/1 a II, 2011/2-3, 63-68.

De Angelis D'Ossat G. (1918) - Rinvenimento di mammiferi fossili nel Pliocene lacustre e salmastro umbro", *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 37, 39-45.

Einsele G. (1992) - *Sedimentary Basins. Evolution, Facies, and Sediment Budget*. Berlino, Springer-Verlag, 1992.

Folk R.L., Ward W. (1957) - Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters, *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-26.

Gregori L. (2007) - L'Ipogeo dei Volumni nel Colle di Perugia, *La Cartografia*, VII, n. 23, 7-23.

Hein F.J., Walker R.G. (1977) - Bar evolution and development of stratification in the gravelly, braided, Kicking Horse River, British Columbia, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 14, 562-570.

Jacobacci A., Bergomi C., Centamore E., Malatesta A., Malferrari N., Martelli G., Pannuzzi L., Zattini N. (1970) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100000; fogli 115 "Città di Castello", 122 "Perugia", 130 "Orvieto". Roma, Servizio Geologico d'Italia.

Lowe D.R. (1979) - Sediment gravity flows: Their classification and some problems of application to natural flows and deposits, in DOYLE L.J., PILKEY D.H. (a cura di), *SEPM special publication*, 27, 75-82.

Manassei D. (2014) - Siti archeologici nella geologia del Colle di Perugia, in Melelli L., Pauselli C., Cencetti C. (a cura di), *Atti del Convegno Nazionale "Dialogo intorno al Paesaggio"* (Perugia, 19-22 febbraio 2013). *Culture Territori Linguaggi*, 4, 2014, t. 2, 246-257.

Mc Laren D.J (1946) - Cenni geologici sulla collina di Perugia, *L'Universo*, 2, 111-117.

Melelli L., Barchi M., Brozzetti F., Lupattelli A., Mirabella F., Pazzaglia F., Pucci S., Saccucci L. (2010) - Morphotectonic evolution of High Tiber Valley (Umbria, Italy) related to an active low angle normal fault segmentation", *Rendiconti online della Società Geologica Italiana*, 11, 629-630.

Melelli L., Bizzarri R., Baldanza A., Gregori L. (2016) - The Etruscan "Volumni Hypogaeum, Archeo-geosite: new sedimentological and geomorphological insights on the tombal complex", *Geoheritage*, 8, 4, 301-314.

Miall A.D. (1982) - Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary", in Miall A.D. (a cura di), *Fluvial Sedimentology*. CSPG Memoir, 5, 597-604.

Miall A.D. (1985) - Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits, *Earth Science Reviews*, 22, 261-308.

Miall A.D. (1988) - "Facies architecture in clastic sedimentary basins", in Kleinspehn K.L., Paola C. (a cura di), *New Perspectives in Basin Analysis*, Berlin, Springer-Verlag, 1988, 67-81.

Miall A.D. (1991) - Hierarchies of architectural units in clastic rocks, and their relationship to sedimentation rate, in Miall A.D., Tyler N. (a cura di), *The Three-Dimensional Architecture of Terrigenous Clastic Sediments, and its Implications for Hydrocarbon Discovery and Recovery*. SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology, 3, 6-12.

Nemec W., Steel R.J. (1984) - Alluvial and coastal conglomerates: their significant features and some comments on gravelly mass-flow deposit, in Koster E.H., Steel R.J. (a cura di), *Sedimentology of gravels and conglomerates*, CSPG Memoir, 10, 1-31.

Pazzaglia F. (2007) - Evoluzione tettonico-sedimentaria dei bacini quaternari minori tra la Val di Chiana e il bacino Tiberino. Tesi di Dottorato, Università di Perugia.

Pettijohn F.J. (1957) - *Sedimentary rocks*. New York, Harper & Row.

Pialli G., Plesi G., Damiani A.V., Brozzetti F., Boscherini A., Bucefalo Palliani R., Cardinali M., Checcucci R., Daniele G., Galli M., Luchetti L., Motti A., Nocchi M., Ponziani F., Rettori R. (2009) - Note illustrative del Foglio 289 "Città di Castello" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000. Roma, Servizio Geologico d'Italia.

Plesi G., Arcaleni A., Bartoccini P., Boscherini A., Botti F., Checcucci R., Damiani A.V., Daniele G., Del Gaia F., Felicioni G., Galli M., Luchetti L., Motti A., Palandri F., Ponziani F., Preziosi E., Rettori R., Sabatini S., Simone G., Tosti S., Tuscano F., Uffredduzzi T., Merangola S. (2010) - Note illustrative del Foglio 299 "Umbertide" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000. Roma, Servizio Geologico d'Italia.

Powers M.C. (1953) - A new roundness scale for sedimentary particles, *Journal of Sedimentary Petrology*, 23, 117-119.

Regione Umbria (2010) - Progetto di microzonazione sismica delle aree urbane - 1° intervento: Città di Perugia. Perugia, Regione Umbria.

Rust B.R. (1984) - Proximal braidplain deposits in the Middle Devonian Malbaie Formation of eastern Gaspé, Quebec, Canada, *Sedimentology*, 31, 5, 675-695.

Steel R.J., Thompson D.B. (1983) - Structures and textures in Triassic braided stream conglomerates ('Bunter' Pebble Beds) in the Sherwood Sandstone Group, North Staffordshire, England, *Sedimentology*, 30, 3, 341-367.

Southard J.B., Smith N.D., Kuhnle R.A. (1984) - Chutes and lobes: newly identified elements of braiding in shallow gravelly streams, in Koster E.H., Steel R.J. (a cura di), *Sedimentology of gravels and conglomerates*, CSPG Memoir, 10, 51-59.

Tuccimei G. (1985) - Sopra i resti fossili di mammiferi trovati alla Villa Spinola presso Perugia, *Atti dell'Accademia Pontificia Nuovi Lincei*, 48, 44-46.

Zingg T. (1935) - Beitrag zur Schotteranalyse", *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 15, 39-140.

*Il progetto SILENE. Un Sistema Lidar  
per l'Esplorazione della NEcropoli del Palazzone*  
a cura di C. Cencetti, M. Cecconi, L. Melelli  
*Culture Territori Linguaggi*, 15, 2019, pp. 79-87  
ISBN 9788894269789

## IV

# IL CONTRIBUTO DELLA GEOTECNICA NELLA CONSERVAZIONE DELLE CAVITÀ IPOGEE MONUMENTALI

**MANUELA CECCONI**

Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Perugia

### ABSTRACT

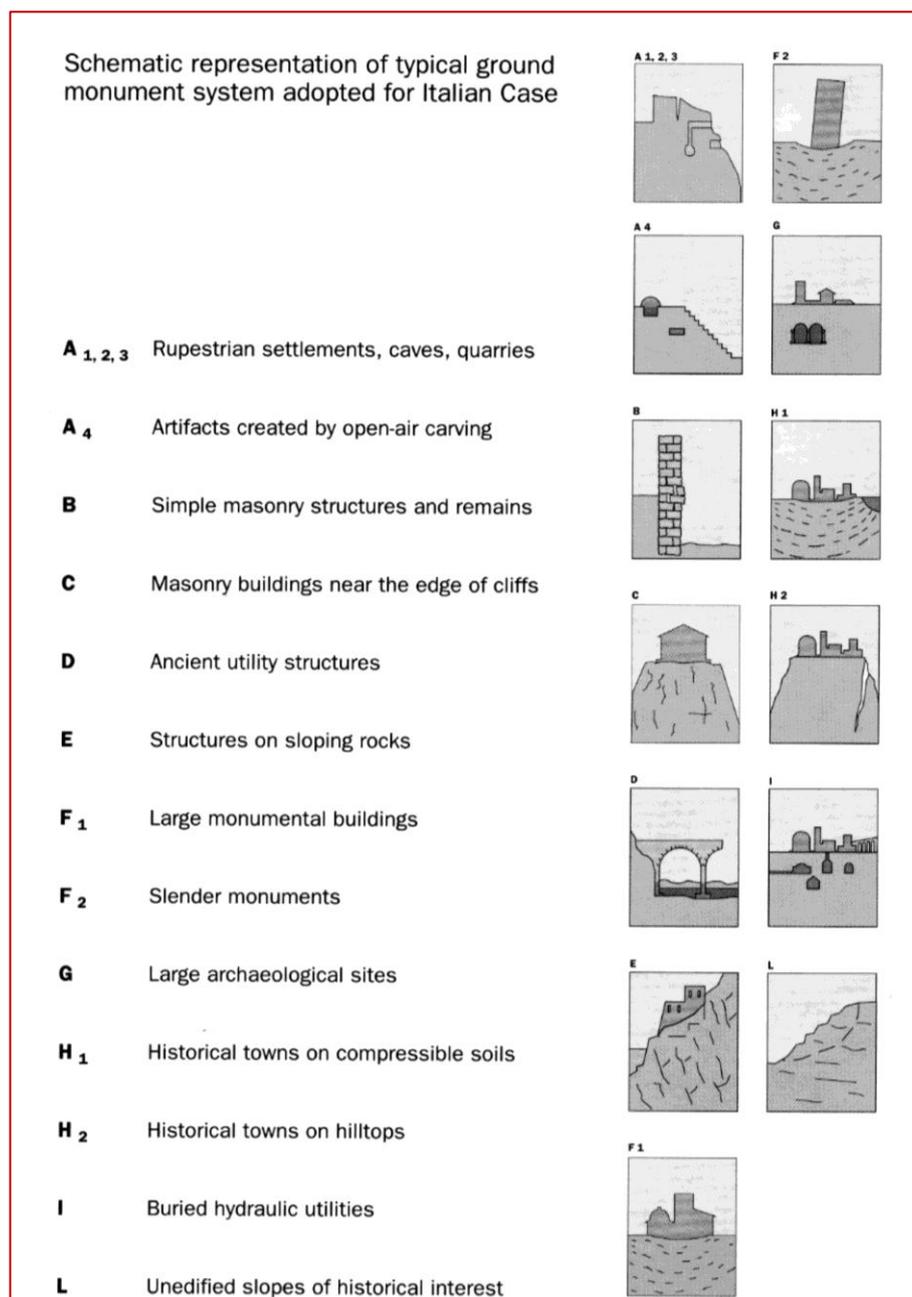
The Hypogeum is a large underground cavity excavated in a partially saturated alluvial soil deposit located in the outskirts of Perugia city. The physical properties of the material in which the Hypogeum was excavated, such as, natural water content, soil suction, relative humidity of the rooms, temperature, as well as the groundwater conditions undoubtedly influence the state of conservation of the site itself. The variations of these properties may significantly affect the geotechnical behaviour of the soil-materials and, in turn, the stability conditions of the ceiling/walls. In this brief note a multi-scale approach is proposed as a possible research methodology aiming at the preservation and protection of the soil/monument system.

### **1. Considerazioni generali**

L'attenzione e l'interesse dei Ricercatori di Geotecnica alle tematiche di prevenzione, protezione, conservazione di siti storici e più in generale del patrimonio artistico-storico monumentale, già certamente molto vivi e affermati nel passato, si sono recentemente ancor più sviluppati. Già negli anni '80 la Società Internazionale di Meccanica delle Terre di Ingegneria Geotecnica (ISSMGE) istituì un Comitato Tecnico permanente TC19 (oggi TC301) on "Preservation of Historical Sites". Sono stati istituiti e organizzati diversi Simposi internazionali tra i quali due a Napoli, "Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites", nel 1996 e più recentemente nel 2013. Nell'ambito di queste tematiche il territorio italiano rappresenta un'eccezione nella scena mondiale per motivi diversi, legati alla complessità del territorio stesso: su di esso coincidono elementi antropici di grande valore culturale e artistico, ma altamente vulnerabili, insieme ad eventi naturali di estrema pericolosità (sismi, alluvioni, frane, attività vulcaniche). Ne consegue un rischio elevato del territorio e dei suoi insediamenti urbani ( $Rischio = Pericolosità \times Vulnerabilità \times Esposizione$ ), con effetti significativi ed impattanti, a cui si aggiungono le azioni dell'uomo.

Probabilmente, il centro Italia merita ancora più attenzione a motivo della sua stessa connotazione geo-morfologica e per la presenza di opere d'arte di tutto il patrimonio artistico anche nelle città più piccole.

Tra i beni monumentali si annoverano molte delle cavità Ipogee diffuse in Italia, da preservare. Ne sono un esempio le bellissime latomie a Siracusa; le necropoli rupestri di Pantalica sono patrimonio dell'Unesco, così come le necropoli etrusche di Tarquinia e Cerveteri. Nel 1991, l'Associazione Geotecnica Italiana propose una classificazione sistematica del complesso-terreno-monumento (*Ground Monument System*, GMS Jappelli, 1991), concepito in base a quanto presente esclusivamente sul territorio italiano. Il sottosuolo, la fondazione e la struttura in elevazione devono essere considerati un tutto unico. La classificazione è basata sulla geometria del terreno (pianeggiante, acclive), sul tipo di costruzioni (superficie o sotterraneo), sulla presenza di acqua (superficiale o non), sulla presenza di manufatti sotterranei, sulla tipologia stessa dei manufatti.

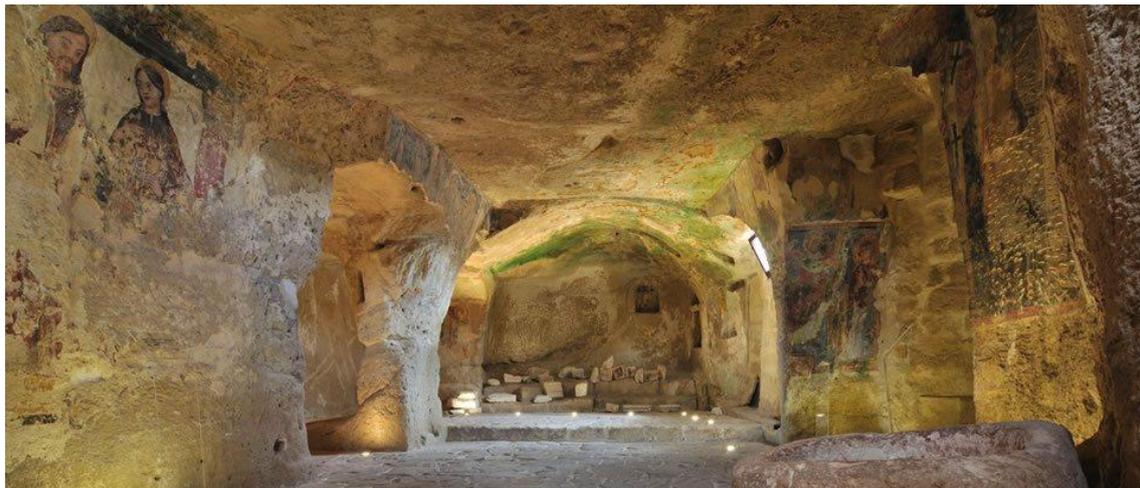


**Figura 1.** Classificazione GMS (AGI, Jappelli, 1991)

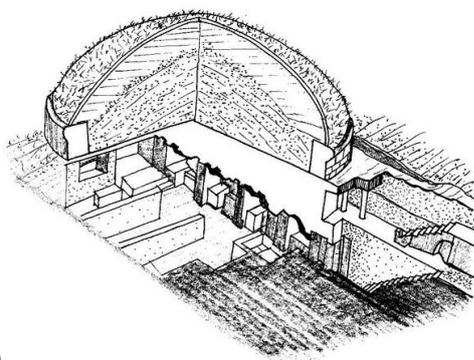
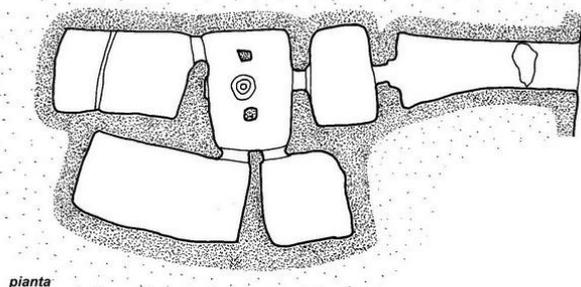
Al gruppo A afferiscono le cavità sotterranee, habitat ipogei, ambienti che si sviluppano sottoterra, cavità realizzate dall'uomo o ambienti naturali riadattati per usi diversi (Figg. 2, 3) Le cavità sotterranee in Italia e nel mondo sono numerosissime. Rimanendo in Italia, basti solo citare Matera e le sue chiese rupestri, le bellissime necropoli etrusche a Cerveteri e in Sardegna. E guardando ora al centro-sud, la presenza di cavità sotterranee nelle piccole grandi città è anch'essa elevatissima (Orvieto, Roma, Napoli). Nelle città di Roma e Napoli, sono frequenti i casi di sprofondamenti antropogenici, già rilevabili in epoca romana, la cui causa è spesso attribuibile al crollo delle coperture di tali cavità, spesso in terreni vulcanici, anche a seguito di processi erosivi, legati alle acque di infiltrazione provenienti da reti fognarie, a seguito di disfunzioni, ecc....

Ciò premesso, nell'affrontare una qualunque attività di studio e ricerca mirata alla salvaguardia del sito, l'indagine conoscitiva intrapresa nella fase iniziale è assolutamente

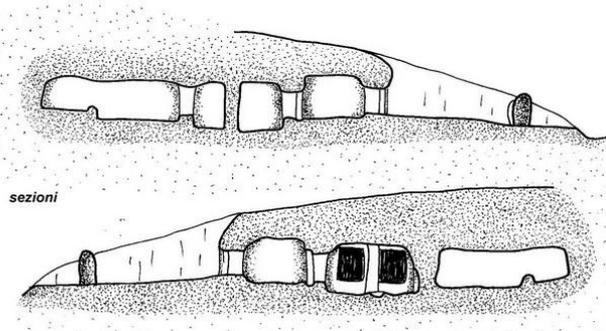
fondamentale. Dovrà essere un'indagine storica, mirata a individuare materiali tecniche costruttive e le sue trasformazioni nel tempo, analizzare gli interventi già effettuati nel passato, la loro efficacia. Dovrà essere un'indagine basata sul rilievo del complesso terreno/fondazione/struttura-monumento. L'indagine conoscitiva dovrà permettere di localizzare e quantificare in prima analisi eventuali dissesti; seguirà la fase di interpretazione e quindi di analisi delle cause e successiva eventuale pianificazione degli interventi. L'obiettivo di questa fase iniziale potrà essere allora anche quello di stabilire se è necessario davvero intervenire, e se necessario, in quale misura.



a)

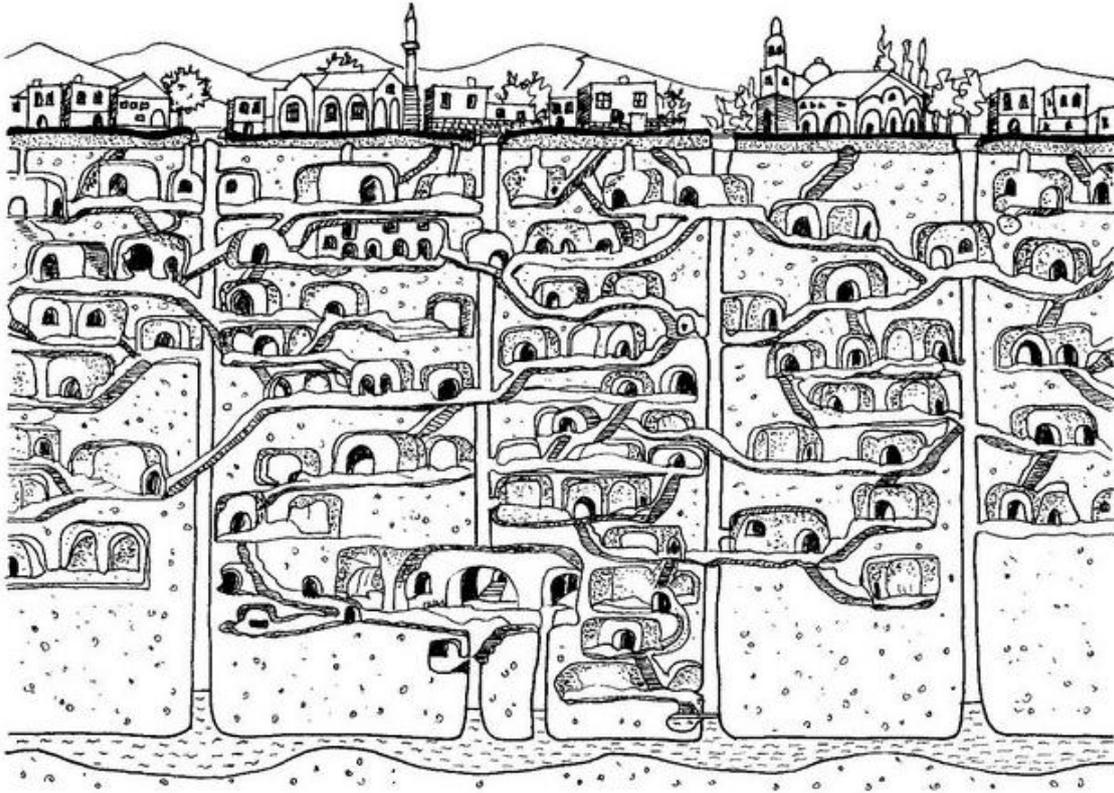


b)



c)

**Figura 2.** Esempi di necropoli in Italia: a) chiesa rupestre (Matera); b) Tomba a tumulo (Cerveteri, VT, dal VIII al II secolo a.C.); c) Santu Pedru (Alghero, SS), Complesso archeologico costituito da camere ipogee. La necropoli è stata utilizzata a partire dal Neolitico recente fino al Calcolitico evoluto (<http://www.pangea-project.org/>)



**Figura 3.** Esempio, di città sotterranee (Derinkuyu, Cappadocia)  
scavate nella roccia, uniche al mondo

Nella necessità di dover intervenire, il ruolo della geotecnica è quello di pianificare, ideare soluzioni progettuali, progettare interventi fino alle fasi realizzative e di controllo del comportamento delle opere. Quest'attività deve essere condotta nel rispetto dell'integrità del bene, monumento storico, sito, cavità e - contestualmente - nel rispetto della sua sicurezza sul territorio in cui è situato, nei confronti di azioni statiche, sismiche, e più in generale carichi ambientali, ecc...

Come riportato in un importante lavoro di Viggiani (2018) pubblicato recentemente sulla Rivista Italiana di Geotecnica, [...il concetto di integrità è un concetto elusivo, con molte sfumature e molti aspetti: integrità formale o iconica, integrità storica, integrità materiale, rapporto armonioso con l'ambiente. Certamente il concetto di integrità non è definito in modo univoco, e può essere visto in modi diversi in epoche o in regioni diverse].

Nel contempo, al concetto di integrità deve essere anche associato il concetto di sicurezza, un concetto proprio dell'ingegneria, e dell'ingegneria geotecnica. La valutazione della sicurezza deve esser improntata su opportune verifiche delle condizioni di sicurezza attuale e di progetto di eventuali interventi di salvaguardia, messa in sicurezza, consolidamento, etc...Il controllo del cosiddetto "carico ambientale" merita certamente attenzione, perché può avere un effetto significativo sulle caratteristiche meccaniche geotecniche dei terreni e condizionare la risposta meccanica nel sistema terreno/monumento, nel suo complesso. E ancora in merito al concetto di integrità storica, il testo seguente - estratto dalla *Kerisel Lecture* di Calabresi (2013) - è molto significativo:

[“...there is a long list of monumental buildings that, owing to the slow or very slow displacements in the foundation planes, suffer progressive instability. In these cases a conflict sets in between the purely technological approach (aimed at reinstating the safety of the monument with structural interventions which, while ensuring that the external aspects are preserved, modify the original structural design), and a softer approach, on the other hand, that begins with a study of the phenomena underlying the instability and makes a long and perhaps uneventful search of the causes that need to be removed to stop the instability and if possible save the monument without substantial alterations so as to respect its historic integrity. It is worth recalling that the search for the causes is always a time-consuming exercise that is often much more expensive than ordinary, obvious structural and geotechnical engineering interventions].

## 2. Ipogeo dei Volumni

Nel corso dell'attività di ricerca Progetto SILENE si è maturato l'interesse di avviare uno studio a carattere interdisciplinare mirato:

- alla valutazione delle condizioni di sicurezza della cavità costituenti la Necropoli del Palazzone ed in particolare l'Ipogeo dei Volumni, nella configurazione attuale, in termini di stabilità della copertura e delle pareti degli scavi, pressoché verticali. Le condizioni esaminate dovranno necessariamente contemplare anche la presenza delle azioni sismiche.
- alla conservazione, manutenzione, valorizzazione del sito, ai fini di una sua funzione e fruibilità (geo-sito).

Nell'ambito di questo secondo aspetto dello studio, l'analisi delle proprietà fisico-chimiche dei materiali diventa fondamentale nella misura in cui queste proprietà vanno a condizionare le proprietà meccaniche e quindi la risposta meccanica del sistema nei confronti delle azioni statiche, sismiche, ambientali. Un siffatto approccio metodologico è proprio dell'ingegneria geotecnica. Nel caso specifico dell'Ipogeo e della Tomba Bella, e più in generale per tutta l'area della necropoli che ricopre un'area piuttosto estesa ( $\cong 0.2 \text{ km}^2$ ) il problema della conservazione del *bene* è strettamente legato alla conservazione del *materiale*: le tombe a camera sono scavate nel terreno naturale e presentano soffitti ornati scolpiti, ad imitazione del tetto ligneo a doppio spiovente.

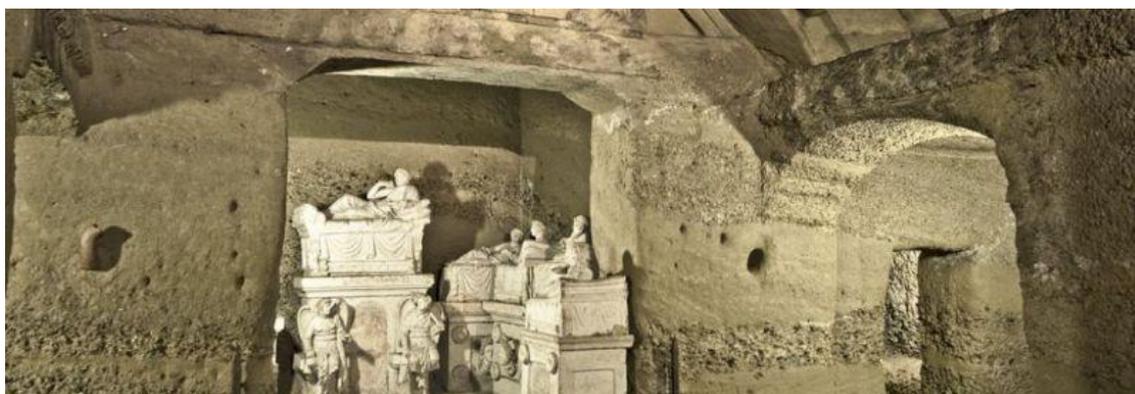


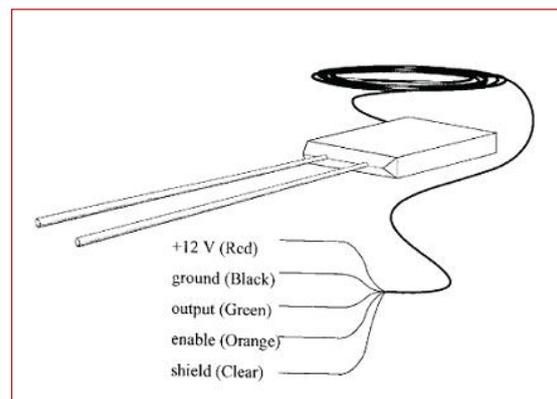
Figura 4. Ipogeo dei Volumni (da <http://www.sabap-umbria.beniculturali.it>)

Un possibile approccio metodologico è quello di analizzare il sistema nel suo complesso, a scale diverse (Cecconi et al., 2019). Analisi microstrutturali del materiale/terreno in cui è scavato l'Ipogeo consentiranno di verificare lo stato di conservazione attuale, in termini di caratteristiche fisico-chimico-microstrutturali dei terreni/rocce, ed in termini di evoluzione di tali caratteristiche e dei loro effetti sulle proprietà geotecniche (deformabilità e resistenza a taglio).

In primo luogo, si ritiene sia necessario poter disporre di misure *indipendenti* di contenuto d'acqua (TDR) e di suzione (mediante l'impegno di tensiometri), misure non invasive che potranno essere condotte in sito nel rispetto del luogo (Figg. 5, 6). Le misure di contenuto d'acqua e suzione consentiranno di costruire la curva di ritenzione idrica ovvero la relazione tra contenuto d'acqua (grado di saturazione) e suzione. Nei terreni non-saturi, la resistenza a taglio aumenta con la suzione.

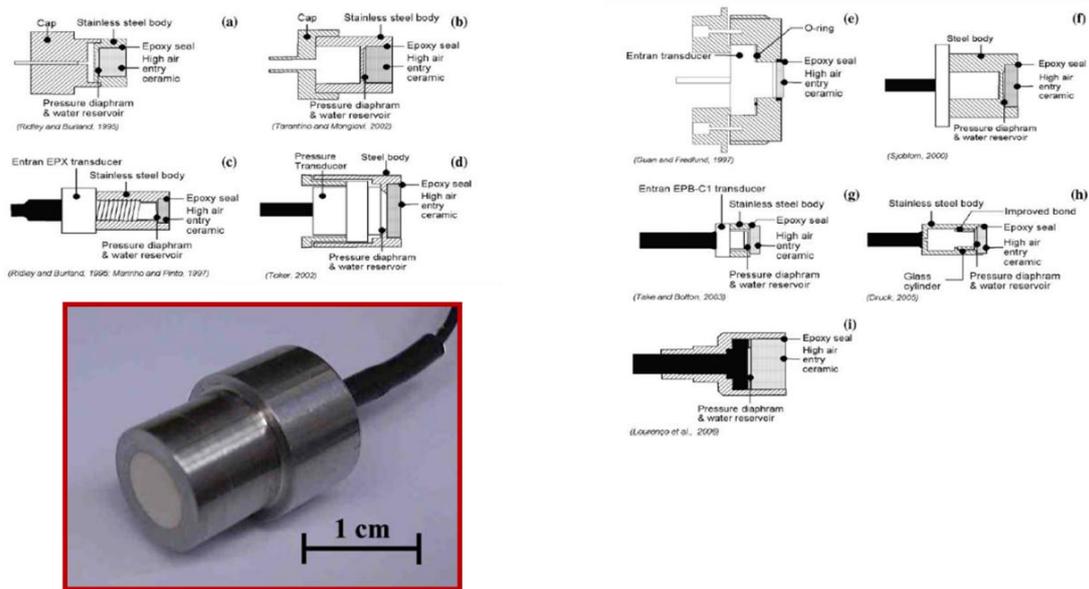
Esempio: Strumenti **TDR** (tecnica riflettometria nel dominio del tempo (TDR))

- proprietà dielettriche del terreno funzione del contenuto d'acqua
- disturbo minimo del terreno



**Figura 5.** Misure di contenuto d'acqua (adattata da Tarantino et al., 2008)

## Tipi di tensiometri riportati in letteratura (dal 1995)



**Figura 6.** Misure di suzione (adattata da Marinho et al., 2008)

In aggiunta a tali misure, potranno essere condotte indagini microstrutturali sul materiale/terreno, tra cui, a titolo di esempio: misure porosimetriche ad intrusione di mercurio (MIP), analisi diffrattometriche (XRD) per il riconoscimento dei minerali costituenti, analisi termogravimetriche (TGA, per l'acquisizione di informazioni relative a fenomeni fisici come transizioni di fase, fenomeni chimici, decomposizione), osservazioni al microscopio elettronico (SEM). Tale approccio è di per sé multidisciplinare, coinvolgendo competenze di ricercatori che operano anche nei campi della geologia, geochimica, oltre alla geotecnica. L'insieme di queste misure potrà fornire utili indicazioni sulle condizioni di parziale saturazione, lo stato di alterazione, degradazione e l'evoluzione di tali fenomeni al variare delle condizioni ambientali, tutte indicazioni utili alla comprensione del comportamento meccanico dei materiali (Cecconi et al., 2019).

Alla scala di osservazione più grande, l'attività di studio dovrà prevedere l'eventualità di poter condurre prove geotecniche di laboratorio, ai fini di una caratterizzazione geotecnica funzionale all'esame delle condizioni di stabilità della copertura, delle pareti di scavo in condizioni statiche ed in condizioni dinamiche, tenendo conto che l'area è oggetto di carichi dinamici per il solo fatto che risente delle vibrazioni da traffico veicolare ferroviario. Prove geofisiche e determinazione dei rapporti spettrali (HVSR) saranno molto utili nella definizione preliminare delle caratteristiche di rigidità dei materiali/terreni. Per ciò che riguarda la risposta dinamica delle cavità, e ai fini di una valutazione delle condizioni di stabilità in presenza di azioni sismiche, la definizione dettagliata della geometria degli ambienti di cava (ad oggi disponibile grazie al rilievo laser scanner condotto nell'ambito del presente studio), permetterà di impostare analisi numeriche della risposta dinamica mediante l'implementazione di modelli 2D e/o 3D da implementare in codici di calcolo (DFM), ai fini della valutazione della distribuzione dello stato di sollecitazione e della de-

terminazione di opportuni fattori di sicurezza nei confronti di eventuali fenomeni di instabilità.

## **Bibliografia**

- Calabresi G. (2013) - The role of Geotechnical Engineers in saving monuments and historic sites. Kerisel Lecture. Proc. of the 18<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 71-83, Paris.
- Cecconi M., Vecchiotti A., Pane V. Russo G., Cencetti C. (2019) - Geotechnical aspects in the assessment of stability conditions of the Volumni Hypogeum in Perugia, submitted for publication. CNRIG, VII Convegno Nazionale dei Ricercatori di Ingegneria Geotecnica, sede di Lecco del Politecnico di Milano, 3-5 luglio 2019.
- Jappelli R. (1991) - Contribution to a systematic approach, The Contribution of Geotechnical Engineering to the Preservation of Italian Historic Sites, Associazione Geotecnica Italiana, R. Jappelli (Ed.), 15-34.
- Marinho FA., Take WA., Tarantino A. (2008) - Measurement of Matric Suction Using Tensiometric and Axis Translation Techniques, *Geotechnical and Geological Engineering* 26(6):615-631.
- Tarantino A., Ridley A.M., Toll D.G. (2008) - Field measurement of suction, water content, and water permeability. *Geotechnical and Geological Engineering*, 26(6): 751-782.
- Viggiani C. (2018) - Geotechnical Engineering and the Conservation of Heritage in Italy, *Supplemento al n. 4/2017 Rivista Italiana di Geotecnica*, 73-86.



*Il progetto SILENE. Un Sistema Lidar  
per l'Esplorazione della NEcropoli del Palazzone*  
a cura di C. Cencetti, M. Cecconi, L. Melelli  
*Culture Territori Linguaggi*, 15, 2019, pp. 89-105  
ISBN 9788894269789

## V

# TECNICHE GEOMATICHE INTEGRATE PER IL RILIEVO DELL'IPOGEO DEI VOLUMNI E DELLA NECROPOLI DEL PALAZZONE

INQUADRAMENTO E GEO-REFERENZIAZIONE DEI SITI

**FABIO RADICIONI, AURELIO STOPPINI, ANDREA BROZZI, GRAZIA TOSI**

Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Perugia

### ABSTRACT

Some of the most innovative techniques of three-dimensional surveying were used to survey eighteen tombs and the Volumni Hypogeum in the Necropolis of Palazzone. The GNSS (acronym for Global Navigation Satellite System) was used to establish the relative 3D position of each tomb with respect to the others and to collect the data in a single cartographic reference system (European datum ETRF2000). The precision of the positions shows an accuracy of about 2 cm. The total optical-electronic station allow to position the tombs below the ground level not reachable by satellite signal. Used for GNSS network. The total station used in surveying the Necropolis was a Leica TSo6, characterized by an accuracy of about 2 mm over distances. With the total station, the framing network was completed, connecting the external points to the tombs previously measured with GNSS to the tops and inside targets of the tombs.

### 1. Introduzione

L'area della Necropoli del Palazzone è situata alla base sud-est del colle di Perugia, nei pressi del raccordo autostradale che si stacca dalla statale E45 a Ponte San Giovanni. L'estensione dell'area è di circa 4 ettari considerando anche gli edifici dell'Antiquarium, i depositi della Soprintendenza Archeologica e le loro pertinenze.

Nel progettare il rilievo si è stabilita una serie di obiettivi legati al duplice aspetto della ricerca e della documentazione:

- rilevare e modellare in 3D la geometria delle singole cavità ipogee e della loro posizione relativa, in modo che la stratigrafia rilevata all'interno di ciascuna tomba potesse esser

messa in relazione spaziale con quella delle altre cavità permettendo di ricostruire la geologia complessiva del colle;

- rilevare e modellare in 3D la geometria della superficie del suolo nello stesso sistema di riferimento tridimensionale delle cavità sotterranee, per completare la descrizione geometrica dell'area e l'analisi di cui al punto precedente;

- rilevare nel dettaglio in 3D le forme e superfici interne delle cavità (incluso l'Ipogeo) sia nella geometria tridimensionale sia nella tessitura superficiale, ai fini degli aspetti geologici della ricerca ma anche per ottenere una documentazione accurata dello stato di fatto del sito, utile per gli studi archeologici e per la conservazione del sito stesso.

Il rilevamento della necropoli presentava problemi particolari e specifici:

- le cavità ipogee non sono visibili dall'esterno se non in minima parte, per cui il rilevamento va condotto parte all'esterno e parte all'interno di esse, collegando le diverse stazioni e scansioni mediante una appropriata rete di inquadramento che comprende punti esterni e punti interni;

- le cavità salvo poche eccezioni (Ipogeo e Tomba Bella) non sono illuminate, quindi per l'esecuzione del rilievo è necessario realizzare un sistema temporaneo di illuminazione artificiale per poter vedere e rilevare le textures superficiali;

- varie tombe non sono accessibili in sicurezza e pertanto sono chiuse al pubblico; per alcune di esse è stato comunque possibile accedere ai fini del solo rilievo, mentre per quelle in condizioni più precarie si è dovuto rinunciare;

- l'area esterna è caratterizzata dalla presenza di estesa vegetazione (olivi e querce ma anche cespugli e roveti); la zona è in pendio con notevoli irregolarità altimetriche (scarpate, avvallamenti) e percorsa da sentieri e scale con parapetti in legno. Queste caratteristiche hanno creato problemi di intervisibilità per il collegamento tra le stazioni e la realizzazione della rete di inquadramento.

Per questi motivi, si è deciso di condurre il rilevamento con un impiego sinergico di più metodologie. Molte tra le tecniche più attuali e innovative della Geomatica sono state impiegate in modo integrato per eseguire un accurato e dettagliato rilievo tridimensionale dell'Ipogeo dei Volumni e di un rilevante numero di tombe (18) della Necropoli del Palazzone, ottenendo una precisione e un livello di dettaglio irraggiungibili dai tradizionali metodi topografici.

Gli elaborati ottenuti grazie a queste tecnologie hanno permesso di presentare i risultati del rilievo su supporto informatico attraverso nuvole di punti colorate e modelli 3D navigabili, viste dei modelli, animazioni e video: prodotti del rilievo più efficaci e fruibili rispetto ai classici disegni CAD bidimensionali, che comunque sono stati realizzati a partire dai modelli per fornire agli utenti tecnici anche una documentazione di tipo classico.

## **2. Tecniche e strumentazione**

Il rilievo 3D dell'Ipogeo dei Volumni e della Necropoli del Palazzone è stato eseguito con l'impiego integrato e sinergico di una serie di metodologie tra le più avanzate ed efficaci della Geomatica:

- a) Posizionamento satellitare GNSS;

- b) Stazione totale ottico - elettronica;
- c) Laser a scansione (LIDAR);
- d) Fotogrammetria digitale terrestre;
- e) Fotogrammetria digitale aerea (mediante drone).

Gli strumenti e i metodi vengono descritti di seguito nel dettaglio, illustrando come siano stati adattati e utilizzati nello specifico caso in oggetto, che prevedeva rilievi sia all'aperto sia nelle cavità sotterranee, integrati in un modello unico.

Le singole tecniche, ciascuna delle quali presenta degli specifici vantaggi e limiti, si sono integrate a vicenda realizzando un sistema di rilievo coordinato che ha portato ad una descrizione della geometria tridimensionale e delle superfici interne ed esterne del sito archeologico in grado di raggiungere pienamente gli obiettivi prefissati e supportare efficacemente futuri studi e ricerche sul sito.

Nel presente articolo si descrivono in particolare, con riferimento al caso di studio, le tecniche a) e b) che sono quelle funzionali alla realizzazione di una rete di inquadramento che permetta di riferire tutti i successivi rilievi di dettaglio a un sistema di riferimento unico e ben individuato.

Le metodologie c), d), e) ed il loro impiego nel caso specifico sono trattate nell'altro articolo degli stessi autori in questo volume (VI. *Rilievo tridimensionale mediante LIDAR e fotogrammetria digitale*).

### **3. Posizionamento satellitare GNSS per l'inquadramento del rilievo**

GNSS è l'acronimo di *Global Navigation Satellite System*, sistema globale satellitare di navigazione, ma anche di posizionamento e rilevamento di precisione. Questa metodologia comprende oggi un ampio spettro di tecniche e strumenti molto differenziati per caratteristiche e prestazioni, ed è utilizzata nei settori più vari dell'attività umana.

Si basa su costellazioni di satelliti artificiali realizzate a partire dalla fine degli anni 1980, inizialmente per impieghi militari, estesi poi sempre più alle applicazioni civili che sono oggi di gran lunga prevalenti.

Le principali costellazioni GNSS attualmente utilizzabili in Europa sono quattro:

- GPS (*Global Positioning System*, Stati Uniti): la prima ad essere realizzata e a raggiungere la piena funzionalità; comprende oggi oltre 30 satelliti le cui caratteristiche vengono via via potenziate, e copre l'intero pianeta;
- GLONASS (Federazione Russa): adeguata progressivamente a caratteristiche simili a quelle del GPS, formata da 24 satelliti a copertura globale;
- GALILEO (Comunità Europea): in corso di completamento, comprende attualmente 26 satelliti di cui 14 pienamente operativi; ha caratteristiche in parte più avanzate del GPS, e una copertura globale;

- BEIDOU (o COMPASS, Cina): comprende attualmente 15 satelliti operativi che coprono prevalentemente l'Asia e in parte anche l'Europa.

I satelliti sono collocati su orbite non geostazionarie a circa 20.000 km<sup>1</sup> di altezza dalla superficie terrestre e hanno un periodo di rivoluzione di circa 12 ore<sup>1</sup> per cui “sorgono” e “tramontano” sull'orizzonte locale due volte al giorno, raggiungendo un'altezza angolare al culmine variabile e rimanendo visibili per alcune ore.

I satelliti GNSS emettono verso la Terra segnali radio su frequenze comprese tra i 1100 e i 1600 MHz<sup>1</sup>. I segnali sono modulati con varie tecniche sempre più articolate e complesse, ma in generale si distingue in essi una componente **codice** (segnale modulato) e una componente **fase** (fase dell'onda sinusoidale portante).

Gli strumenti utilizzati a terra per acquisire i segnali satellitari vengono detti ricevitori GNSS. I ricevitori più recenti sono in grado di acquisire segnali da tutte e quattro le costellazioni citate, e i software di elaborarli congiuntamente. Esistono varie tipologie di ricevitori, dai più semplici che acquisiscono il solo codice (come quelli incorporati negli smartphone) ai più complessi ricevitori geodetici in grado di ricevere tutti i segnali e frequenze disponibili. Le prestazioni ottenibili variano moltissimo a seconda del tipo di ricevitore utilizzato e delle modalità di impiego ed elaborazione: si va dai 5-10 metri di accuratezza con un dispositivo portatile in posizionamento assoluto e modalità standalone (senza correzioni), a precisioni fino a 1-2 cm ottenibili con correzioni RTK fornite da un ricevitore base o da una rete di stazioni permanenti (Network RTK), e alle accuratezze subcentimetriche raggiungibili con ricevitori geodetici in posizionamento relativo con elaborazione in post-processamento.

Con la tecnica GNSS, data la necessità di “vedere” i satelliti, è possibile solo rilevare punti sulla superficie del terreno in zone non troppo coperte dalla vegetazione; per estendere il rilievo all'interno delle cavità sono state utilizzate le altre tecniche descritte nei paragrafi successivi.

Nel caso in oggetto la tecnica GNSS è stata utilizzata per finalità diverse in due fasi distinte del lavoro di rilievo:

- 1) Nella fase iniziale, per stabilire una rete di inquadramento per l'area da rilevare, con vertici materializzati stabilmente sulla superficie del terreno esternamente alle cavità; questa rete, calcolata nel datum globale ETRF2000, costituisce un supporto stabile per tutti i rilievi successivi che collegandosi a tale rete vengono ad essere georeferenziati nello stesso datum ETRF2000.
- 2) Nella fase finale, per controllare, mediante la misura GNSS di un elevato numero di punti della superficie del terreno, l'accuratezza del rilievo della superficie stessa eseguito mediante fotogrammetria digitale da UAV.

Per entrambe le operazioni sopra citate sono stati impiegati due ricevitori geodetici Topcon GR-5 (Fig. 1) in grado di acquisire GPS e GLONASS, le due costellazioni pienamente operative, in tutte le frequenze e modulazioni disponibili. I due ricevitori possono essere impiegati sia in coppia, in modalità statica post-processata (i ricevitori restano fermi durante la sessione di misura), in modalità cinematica in tempo reale RTK base-rover (il rice-

---

<sup>1</sup> Dati variabili da una costellazione all'altra

vitore *base* resta fisso su un punto noto e il *rover* viene portato per alcuni secondi sui punti da determinare), sia individualmente in modalità NRTK (in cui la base è generata virtualmente da una rete di stazioni GNSS permanenti).



**Figura 1.** Ricevitore GNSS geodetico Topcon GR-5.  
È visibile l'antenna di tipo "fence" all'interno

Il sistema di riferimento è il datum europeo ETRF2000, adottato ufficialmente da Stato, Regioni e Enti Locali per tutta la cartografia e le progettazioni urbanistiche e infrastrutturali con Decreto della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 10 novembre 2011. Si tratta del sistema di riferimento oggi ufficialmente in vigore per l'Italia: i rilievi georeferenziati in questo datum risultano perfettamente sovrapponibili alla cartografia di produzione recente, e mediante opportune trasformazioni anche a cartografia più datata.

Le misure sono state eseguite in modo da collegare i vertici di inquadramento nell'area della necropoli con alcuni vertici di coordinate note nel datum ETRF2000. Come punti noti sono state utilizzate le stazioni permanenti della rete GNSS GPSUMBRIA<sup>2</sup>, realizzata a partire dal 2005 dall'Università degli Studi di Perugia e dalla Regione Umbria (Fig. 2).

---

2 Link: <http://www.umbriageo.regione.umbria.it/pagine/gpsumbria-001>

I rilevamenti GNSS sono stati eseguiti con le sopra accennate modalità in tempo reale RTK base-rover (Fig. 3) e NRTK (a rete) che consentono di ottenere posizionamenti plano-altimetrici con un'accuratezza di 1-2 cm nella posizione assoluta.

Questa elevata accuratezza, oltre 100 volte superiore a quella di alcuni metri ottenibile con un ricevitore GNSS non geodetico usato singolarmente (standalone), viene raggiunta grazie a uno stream di dati di correzione in formato RTCM inviato da una stazione base posta su un punto noto, o da una rete di stazioni permanenti (nel nostro caso GPSUMBRIA), al ricevitore rover che viene posizionato successivamente su ciascuno dei punti da determinare.

Nel primo caso (RTK base-rover) le correzioni vengono trasmesse mediante due radio-modem (uno incorporato nella base e uno nel rover), e nel secondo (NRTK) accedendo al portale servizi della rete con internet. Nella ricerca in oggetto sono state impiegate entrambe le modalità, la cui accuratezza è simile (1-2 cm come già riferito).

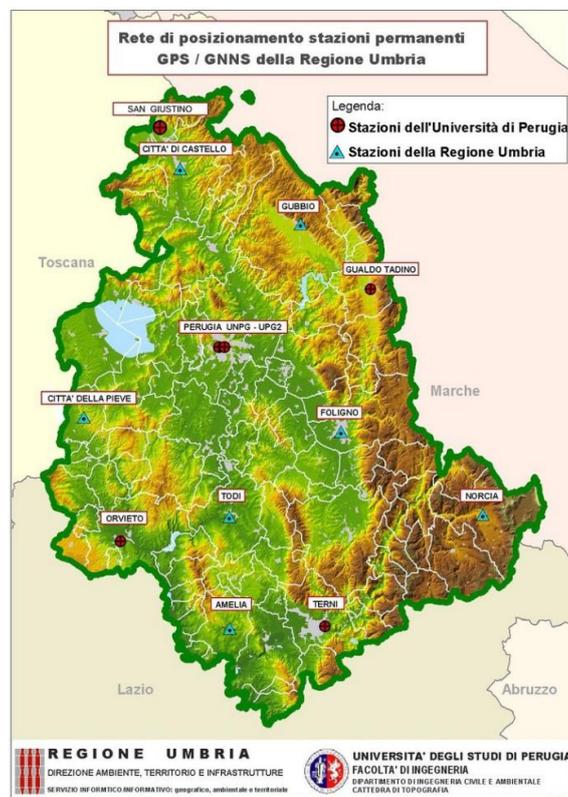
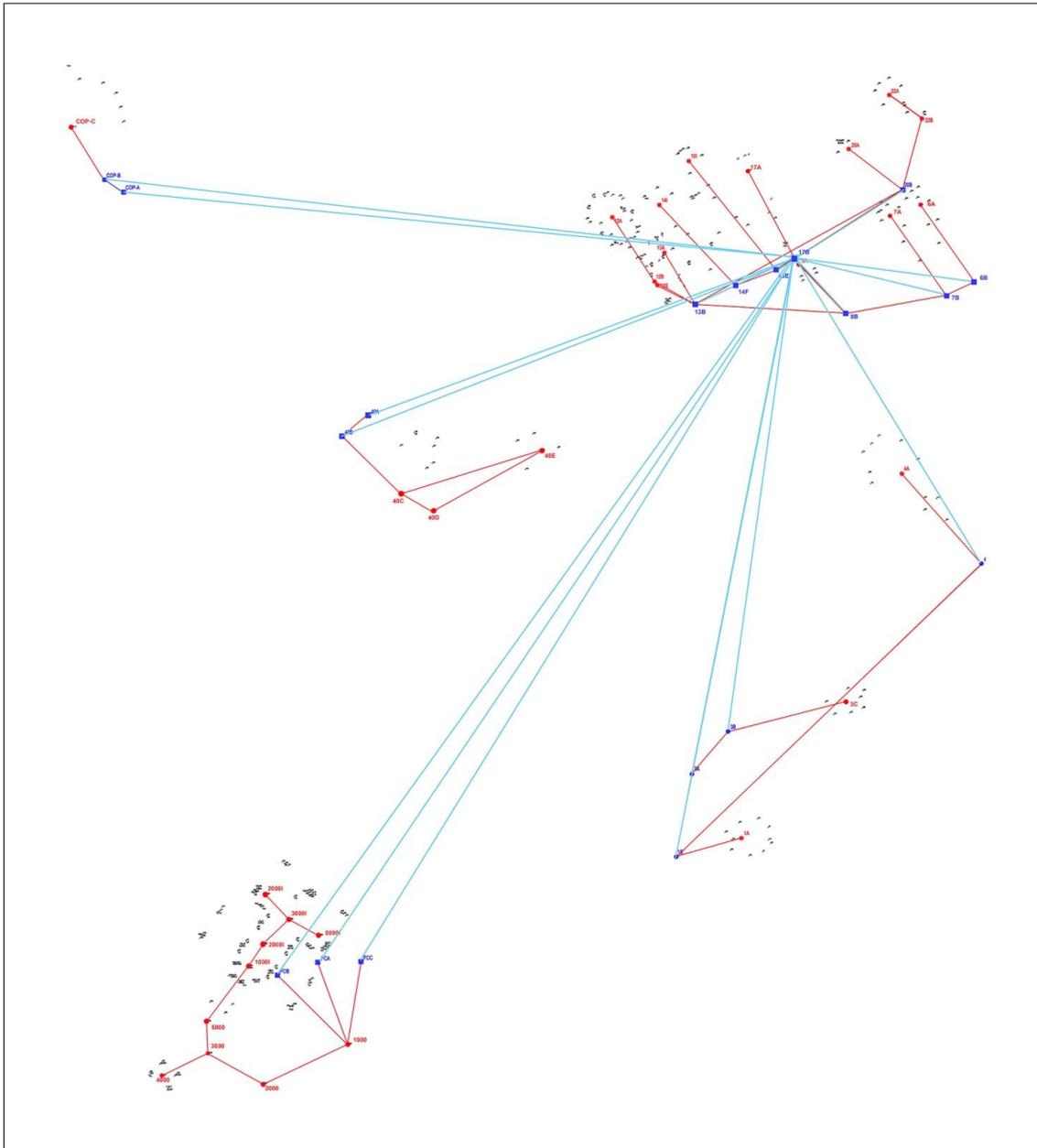


Figura 2. La rete di stazioni permanenti GPSUMBRIA



**Figura 3.** Misure in modalità RTK base-rover nella Necropoli del Palazzone

Lo schema complessivo della rete di inquadramento è riportato in Figura 4, nella quale i vertici e i collegamenti GNSS sono indicati in azzurro, mentre in rosso sono riportati i collegamenti effettuati con stazione totale (v. capitolo seguente). Oltre ai collegamenti GNSS base-rover sono stati effettuati anche i collegamenti alla rete GPSUMBRIA in modalità NRTK (non indicati in figura).



**Figura 4.** Schema complessivo della rete di inquadramento

La rete comprende complessivamente 19 vertici GNSS (in blu nella figura). Si può notare come la rete sia composta da 5 sottoreti locali (Ipogeo, Tomba Bella, e tre gruppi di tombe minori) collegate tra loro dalle misure GNSS. I collegamenti interni tra i vertici di ciascuna sottorete sono stati eseguiti con stazione totale (v. capitolo seguente).

I vertici determinati come sopra descritto sono stati materializzati, con un minimo impatto ambientale, mediante chiodi topografici infissi nella pavimentazione dei percorsi pedonali dell'area della necropoli, e hanno fornito l'inquadramento geometrico fondamentale nel datum ETRF2000 su cui si sono basati i successivi rilievi.

Oltre che nella rete di inquadramento, la tecnica GNSS è stata utilizzata, come già accennato, per controllare l'accuratezza del rilievo della superficie del terreno eseguito mediante UAV. Per questa fase del lavoro si rimanda al successivo capitolo 5.

#### 4. Completamento della rete e misura dei target con stazione totale

La tecnica GNSS di cui al capitolo precedente è vincolata alla visibilità dei satelliti, che risulta possibile solo negli spazi aperti mentre è impedita da ostacoli solidi (edifici, vegetazione, rupi e altre irregolarità del terreno). È evidente che nel caso in oggetto, anche prescindendo dall'impedimento della vegetazione, non sarebbe stato possibile rilevare con il GNSS i punti all'interno dell'Ipogeo e delle altre tombe della necropoli.

Per estendere la rete di inquadramento anche all'interno delle cavità (cosa necessaria per orientare e georeferenziare i successivi rilievi LIDAR e fotogrammetrici) è stata impiegata una stazione totale ottico-elettronica, strumento che deriva dal classico teodolite topografico e ne costituisce l'evoluzione moderna.

Si tratta di uno strumento a cannocchiale (circa 30 ingrandimenti) in grado di collimare con precisione, mediante un reticolo ottico o un sottile raggio laser, particolari e punti di varia natura (vertici di rete, target, punti di dettaglio dell'oggetto) e misurare con elevata accuratezza angoli azimutali, zenitali e distanze inclinate dallo strumento ai punti rilevati. La stazione totale utilizzata nel rilievo della Necropoli è una Leica TS-06 (Fig. 5) caratterizzata da un'accuratezza sugli angoli di circa 2" e sulle distanze di circa 2 mm.

Alcune caratteristiche di questo strumento rivelatesi molto utili nel caso in oggetto sono:

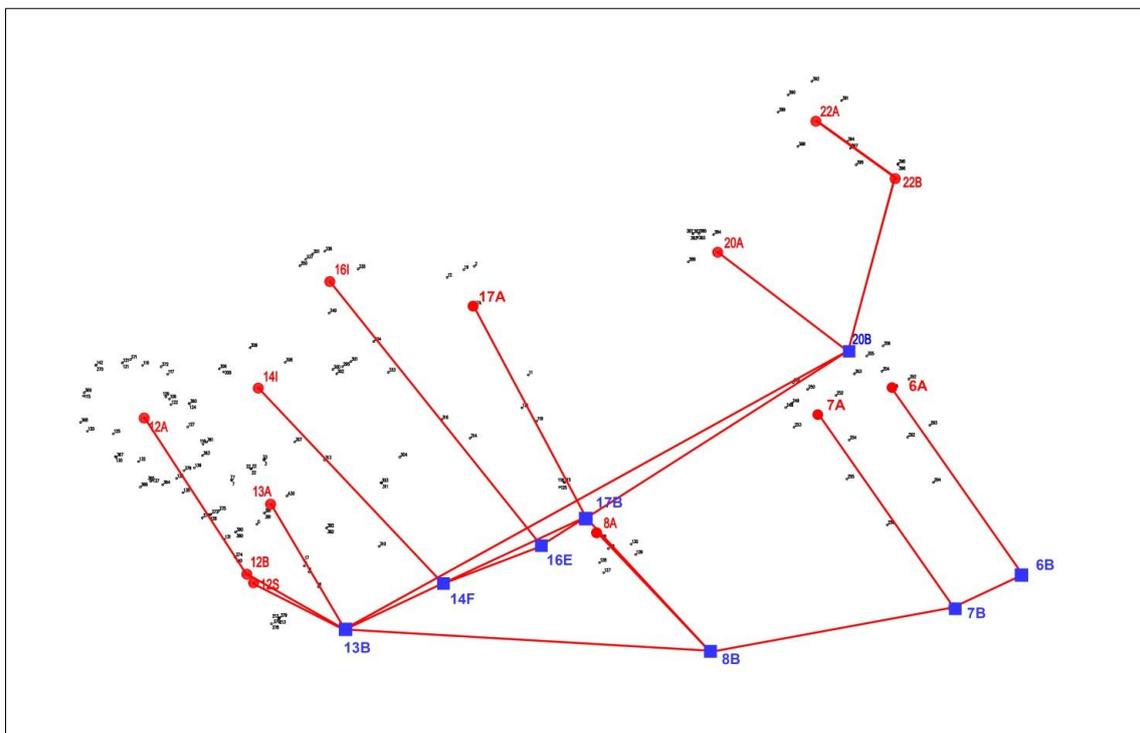
- La dotazione di due puntatori laser: il primo sostituisce il classico "piombino" per individuare verticalmente il vertice materializzato a terra sotto lo strumento; il secondo, in asse con il cannocchiale, può essere impiegato per collimare i punti da misurare. Funzionalità entrambe preziose in ambienti scarsamente illuminati come grotte, cavità ipogee o alcuni interni di edifici.
- La capacità di misurare sia prismi riflettori di precisione (usati per il collegamento tra vertici della rete), sia target (piastrine quadrate o rettangolari fissate alle pareti delle cavità e necessarie all'inquadramento delle scansioni laser) (Fig. 8), sia direttamente punti della superficie dell'oggetto del rilievo.
- La dotazione di un oculare ad asse spezzato, utile per collimazioni con forte inclinazione.



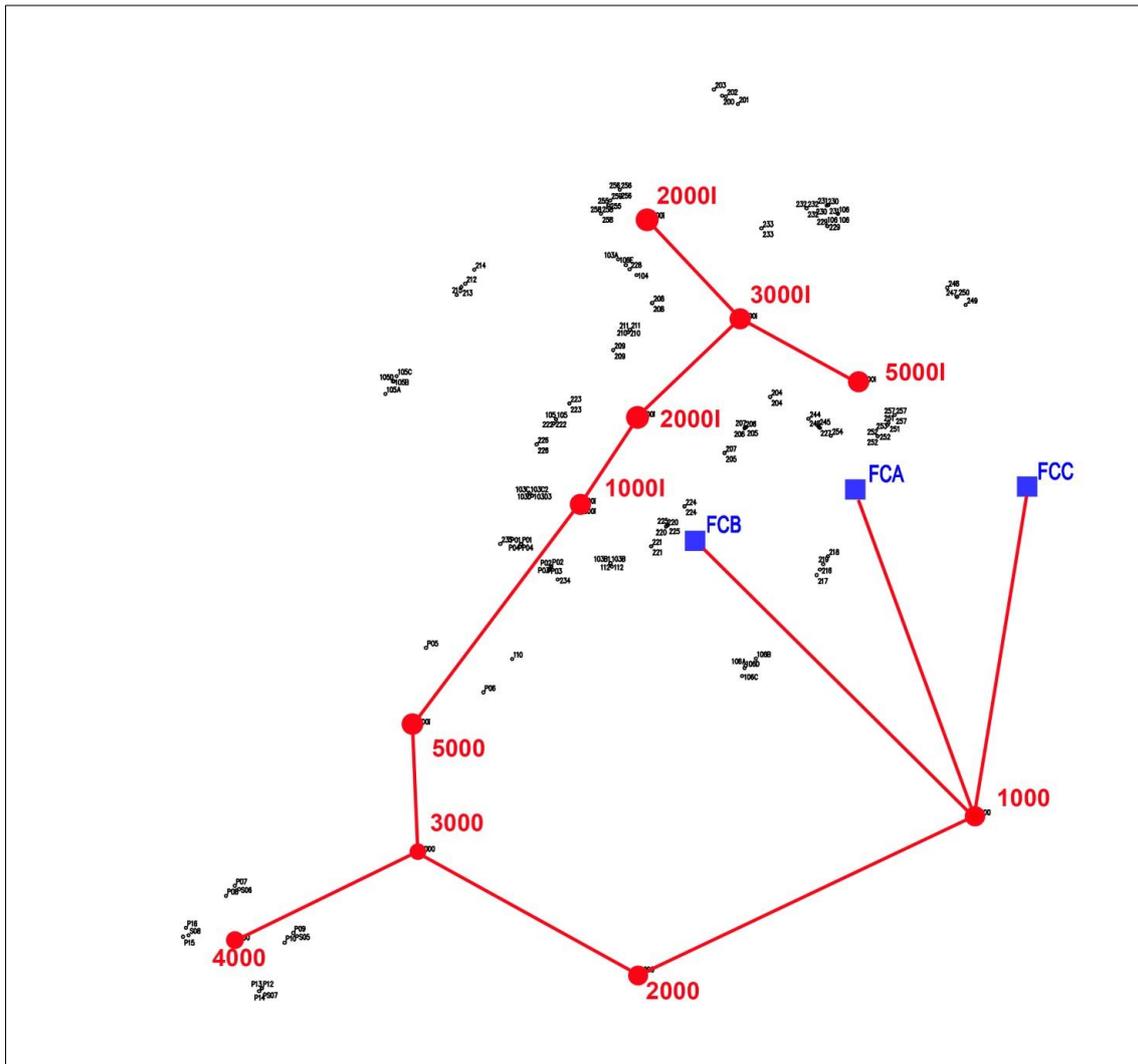
**Figura 5.** Stazione totale Leica Flexline TS-06

Con la stazione totale è stata completata la rete di inquadramento collegando i punti esterni alle tombe (misurati in precedenza con il GNSS – v. cap. 3) con i vertici delle 5 sottoreti, parte dei quali esterni e parte interni alle tombe, questi ultimi non misurabili con il GNSS.

Si riportano nelle Figg. 6 e 7 gli schemi delle due sottoreti relative al gruppo di tombe che comprende la “Tomba Bella” e all’Ipogeo dei Volumni. I vertici GNSS sono indicati con quadrati blu, quelli della stazione totale con cerchi rossi.



**Figura 6.** Sottorete del gruppo di tombe che comprende la Tomba Bella

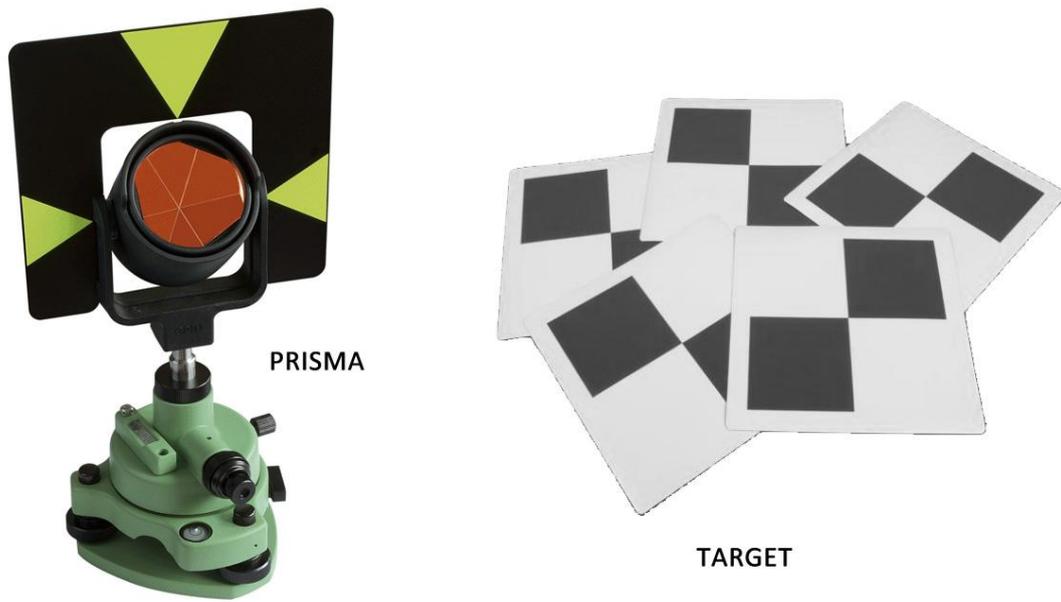


**Figura 7.** Sottorete dell’Ipogeo dei Volumni

I vertici misurati con stazione totale sono complessivamente 30, che si aggiungono ai 19 vertici GNSS, anch’essi stazionati con lo strumento ottico-elettronico per realizzare i collegamenti indicati nelle figure.

Dai vertici interni alle tombe sono stati misurati, sempre con la stazione totale, un elevato numero di target costituiti da placchette in materiale plastico o cartoncino con stampato un motivo a scacchiera (Fig. 8) che vengono utilizzati per georeferenziare le scansioni laser grazie alle coordinate determinate nella fase di inquadramento. Nelle Figure 4, 6 e 7 i target sono rappresentati in nero, omettendo i segmenti di collegamento con le stazioni che renderebbero poco leggibile la figura.

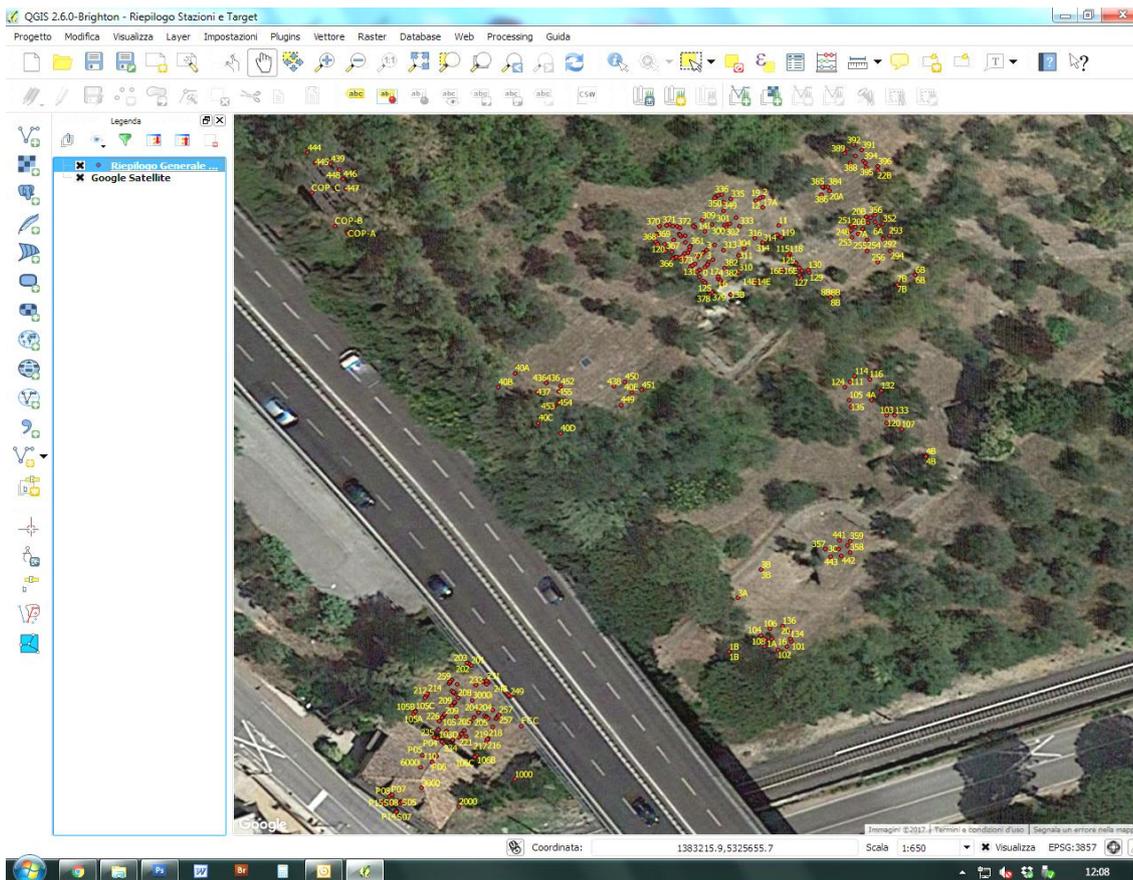
L’elaborazione delle misure della stazione totale e dei collegamenti ai vertici GNSS è stata eseguita con il software topografico Meridiana. Completato il calcolo, tutti i punti rilevati con la stazione totale (vertici e target) vengono ad essere georeferenziati plano-altimetricamente nel datum ufficiale ETRF2000 (Fig. 10); si tratta dello stesso sistema di riferimento dei punti GNSS, dei quali mantengono l’accuratezza media di 1-2 cm.



**Figura 8.** Prisma Leica e target a scacchiera



**Figura 9.** Misure con stazione totale all'interno dell'Ipogeo dei Volumni



**Figura 10.** Sovrapposizione dei vertici e target rilevati alla ortofoto regionale in ambiente QGis

## 5. Misure GNSS a supporto e verifica del rilievo con UAV

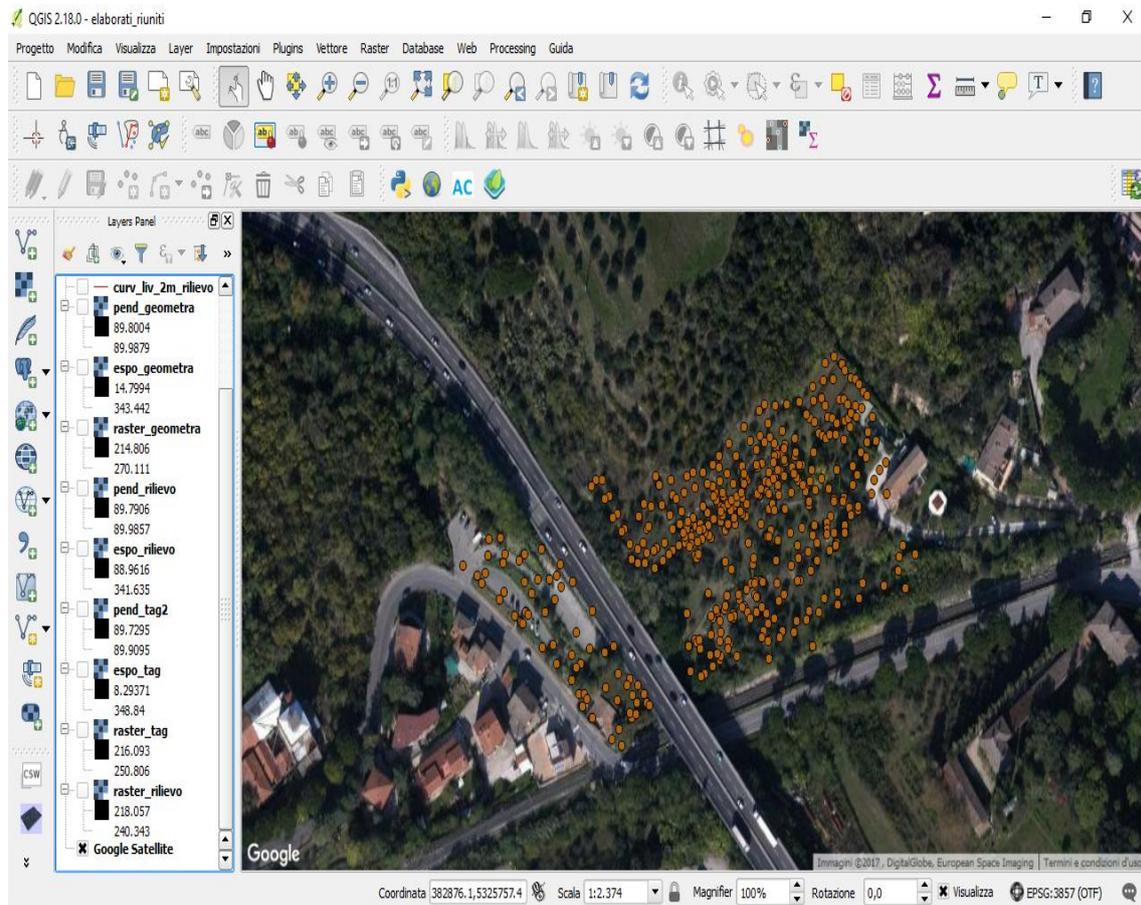
Oltre che per la rete di inquadramento, la tecnica GNSS è stata utilizzata anche nell'ambito del rilievo della superficie dell'area esterna della Necropoli eseguita con fotogrammetria digitale aerea (UAV).

Per l'orientamento relativo e assoluto dei fotogrammi digitali acquisiti mediante il drone (UAV) sono stati disposti sul terreno all'atto del volo ("pre-segnalizzazione") 25 target in materiale plastico di dimensione A3 (circa 30 x 42 cm) con disegno a scacchiera simile a quello di Fig. 8, per costituire punti di appoggio a terra (GCP, *Ground Control Points*).

Le coordinate dei centri dei target sono state determinate con misure GNSS RTK base/rover con un vertice base facente parte della rete di inquadramento GNSS generale. In questo modo i punti di appoggio, e conseguentemente lo stesso rilievo aerofotogrammetrico, vengono a essere georiferiti nello stesso datum (ETRF2000) della rete e delle scansioni laser, permettendo di sovrapporre in 3D le informazioni provenienti da diverse strumentazioni ma spazialmente perfettamente congruenti.

Successivamente, sempre nell'ambito del rilievo aerofotogrammetrico, la tecnica GNSS è stata impiegata anche per verificare l'attendibilità metrica e la georeferenziazione del modello digitale del terreno (DTM) ricavato dalla fotogrammetria digitale.

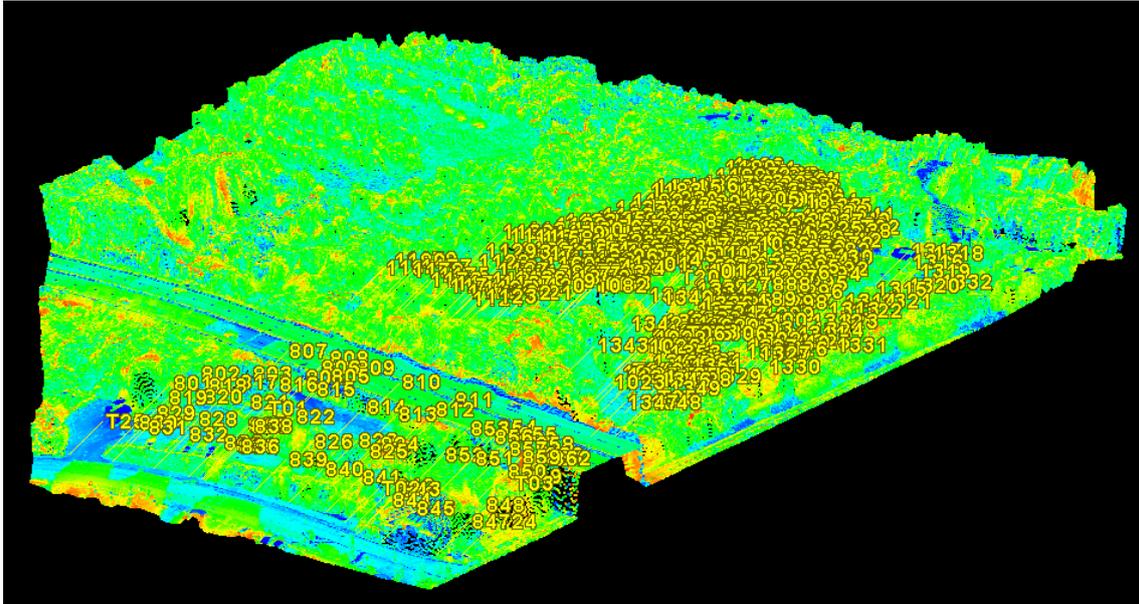
A tale scopo, in modo completamente indipendente dal processo fotogrammetrico, sono stati rilevati in modalità RTK base/rover alcune centinaia di punti della superficie esterna dell'area della necropoli, costituendo il "piano quotato" visibile in Fig. 11.



**Figura 11.** Piano quotato determinato con misure GNSS RTK base/rover sovrapposto alla ortofoto regionale in ambiente QGIS

Per verificare l'accuratezza metrica del DTM si è eseguito un confronto tra le quote del DTM e quelle del piano quotato misurato a terra. A tale scopo si è impiegato il software *Leica Cyclone 9.1.4*, un codice di calcolo sviluppato per l'analisi delle nuvole di punti da laser scanning ma utilizzabile anche per *point clouds* ottenuti per via fotogrammetrica.

Visualizzando su Cyclone il DTM fotogrammetrico e sovrapponendolo ai punti GNSS (Figg. 12 e 13) si nota che in generale i punti misurati a terra non coincidono con quelli della maglia quadrata (di circa 20 x 20 cm) del DTM. Ai fini del confronto, si sono considerati per ciascun punto GNSS i 4 punti della griglia del DTM che lo circoscrivevano, facendo una media delle 4 quote (media pesata inversamente alle distanze), verificando in precedenza che non vi fossero salti di quota consistenti (> 5 cm) nel rettangolo considerato.



**Figura 12.** Sovrapposizione del piano quotato GNSS al DTM da UAV (software *Cyclone*)



**Figura 13.** Sovrapposizione del piano quotato GNSS al DTM da UAV (software *Cyclone*)  
Particolare in cui si evidenzia la posizione di un punto GNSS rispetto alla griglia del DTM

Sugli scarti ottenuti è stata eseguita un'analisi statistica che ha dato i seguenti risultati:

- media degli scarti - 0,07 m
- mediana - 0,06 m
- scarto massimo negativo - 0,58 m

- scarto massimo positivo + 0,38 m

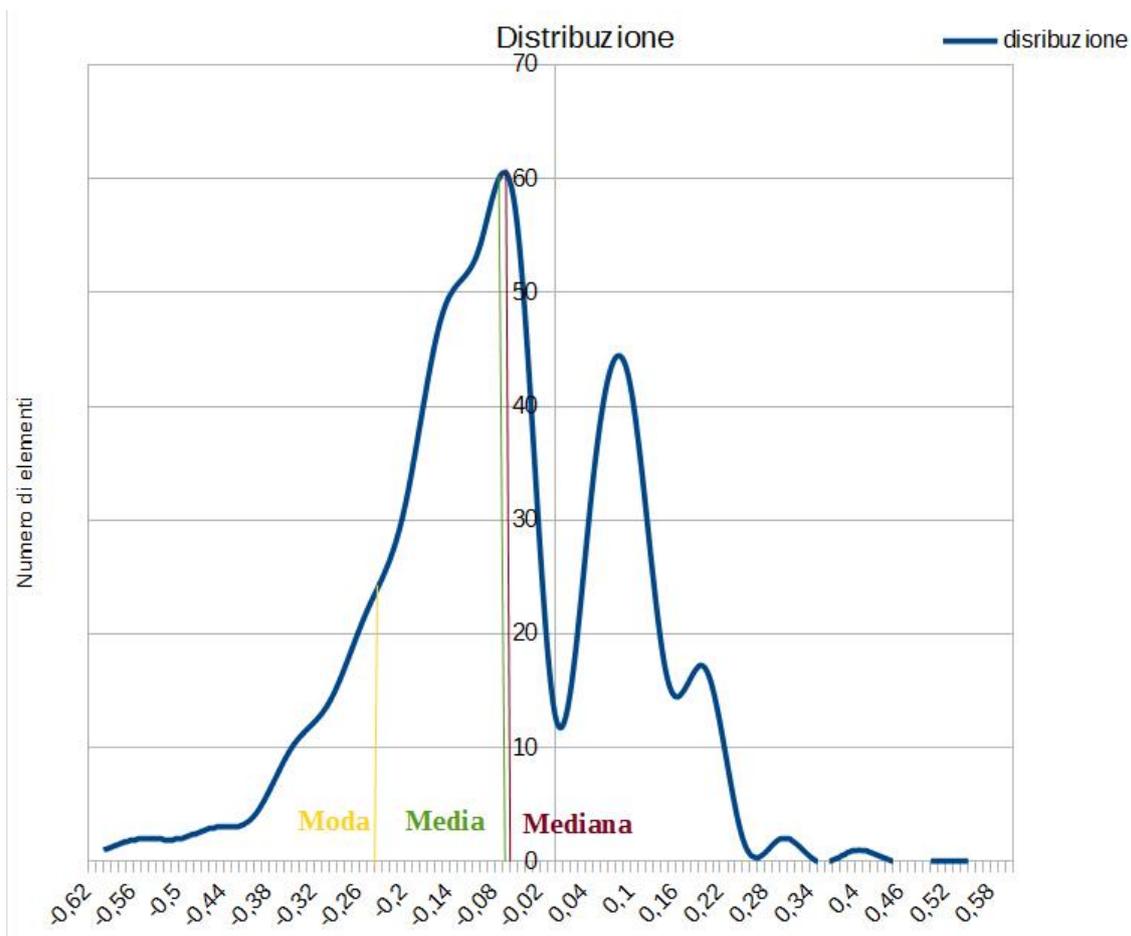


Figura 14. Distribuzione degli scarti tra DTM fotogrammetrico e misure GNSS RTK

La figura 14 riporta la distribuzione degli scarti. Si nota il sistematismo di qualche centimetro, peraltro contenuto entro l'accuratezza altimetrica del rilievo aerofotogrammetrico (stimabile in  $\pm 10$  cm). Gli scarti massimi positivi e negativi sono limitati a una percentuale molto bassa dei punti e sono imputabili a distorsioni del DTM dovute alla presenza di vegetazione.

## 6. Conclusioni

Nel presente articolo è stato descritto come è stato eseguito l'inquadramento geodetico del sito archeologico oggetto di rilievo, mediante una integrazione di tecniche satellitari (GNSS) e terrestri (stazione totale) per georeferenziare sia l'area esterna sia le cavità ipogee in un unico sistema (datum ETRF2000). I risultati (coordinate ETRF2000 dei vertici di rete, dei target LIDAR e dei punti di appoggio e di controllo aerofotogrammetrici) costituiscono il supporto per il rilievo di dettaglio che viene descritto in un altro articolo degli stessi autori in questo volume (VI. *Rilievo tridimensionale mediante LIDAR e fotogrammetria digitale*).

## Bibliografia

Radicioni F., Matracchi P., Brigante R., Brozzi A., Cecconi M., Stoppini A., Tosi G. (2017) - The Tempio della Consolazione in Todi: Integrated geomatic techniques for a monument description including structural damage evolution in time. In: volume XLII-5/W1, 2017 Geomatics & Restoration - Conservation of the Cultural Heritage in the Digital Era. ISPRS, ISSN: 1682-1777, Florence, Italy, 22-24 May, 2017, doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-433-2017.

Ercoli M., Brigante R., Radicioni F., Pauselli C., Mazzocca M., Centi G., Stoppini A. (2016) - Inside the polygonal walls of Amelia (Central Italy): A multidisciplinary data integration, encompassing geodetic monitoring and geophysical prospections. JOURNAL OF APPLIED GEOPHYSICS, vol. 127, p. 31-44, ISSN: 0926-9851, doi: 10.1016/j.jappgeo.2016.02.003.

Monti C., Selvini A. (2015) - Topografia, fotogrammetria e rappresentazione all'inizio del ventesimo secolo. Politecnica, Maggioli editore.

Cina A. (2014) - Dal GPS al GNSS (Global Navigation Satellite System). Per la Geomatica. CE-LID, 2014.

Brigante R., Dominici D., Fastellini G., Radicioni F., Stoppini A. (2009) - Confronto e integrazione fra tecniche geomatiche per la documentazione e il monitoraggio dei beni culturali. In: -. Atti della XIII Conferenza Nazionale Asita, 2009. Bari, dicembre 2009, p. 537-542, ASITA, ISBN: 9788890313226.

[http://www.topcon.co.jp/en/positioning/products/pdf/GR-5\\_E.pdf](http://www.topcon.co.jp/en/positioning/products/pdf/GR-5_E.pdf)

[https://w3.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/flexline%20ts06/brochures-datasheet/flexline\\_ts06\\_datasheet\\_it.pdf](https://w3.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/flexline%20ts06/brochures-datasheet/flexline_ts06_datasheet_it.pdf)



*Il progetto SILENE. Un Sistema Lidar  
per l'Esplorazione della NEcropoli del Palazzone*  
a cura di C. Cencetti, M. Cecconi, L. Melelli  
*Culture Territori Linguaggi*, 15, 2019, pp. 107-120  
ISBN 9788894269789

## VI

# TECNICHE GEOMATICHE INTEGRATE PER IL RILIEVO DELL'IPOGEO DEI VOLUMNI E DELLA NECROPOLI DEL PALAZZONE

RILIEVO TRIDIMENSIONALE MEDIANTE LIDAR E FOTOGRAMMETRIA DIGITALE

**FABIO RADICIONI, AURELIO STOPPINI, ANDREA BROZZI, GRAZIA TOSI**

Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Perugia

### ABSTRACT

In addition to GNSS satellite positioning improved with total optical-electronic station other techniques of three-dimensional surveying were used in order to complete the digital survey of the Necropolis of Palazzone. LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging, laser scanning) acquired more than sixty scans in the tombs producing a cloud of points for each of them and performing a real three-dimensional scan of objects. At the end a drone (eBee of the senseFly) allowed an aerophotogrammetric survey of the area resulting in a Digital Terrain Model of the ground surface "dressed" with digital colour orthophotos. These new approaches highlight accuracies and data not otherwise obtainable with the traditional survey methods.

### 1. Introduzione

Completato il rilievo di inquadramento geodetico-topografico dell'area in oggetto, sia in superficie che nelle cavità ipogee, come descritto nell'articolo degli stessi autori presente in questo volume (*V. Inquadramento e geo-referenziazione dei siti*) si è passati al rilievo di dettaglio delle cavità e della superficie del suolo.

Si tratta di una sequenza logica e non necessariamente cronologica: nel caso in oggetto le operazioni di inquadramento e di dettaglio sono state condotte a volte contemporaneamente, anche se da squadre di operatori distinte.

Per il rilievo di dettaglio tridimensionale si sono adottate, integrandole tra di loro, le seguenti tecniche della Geomatica:

- Laser a scansione (LIDAR);
- Fotogrammetria digitale terrestre;

- Fotogrammetria digitale aerea (mediante drone).

Le singole metodologie vengono descritte di seguito nel dettaglio, illustrando come siano state adattate e utilizzate nello specifico caso, che comprendeva sia rilievi all'aperto sia nelle cavità sotterranee, da integrare in un unico modello geometrico. Le diverse tecniche, ciascuna delle quali presenta dei vantaggi e dei limiti, si sono integrate realizzando un sistema di rilievo coordinato che ha portato a una descrizione geometrica e materica completa del sito archeologico.

## 2. Laser a scansione (LIDAR)

Il laser a scansione o LIDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*) è uno dei sistemi di rilievo locale tridimensionale più potenti, rapidi e produttivi della Geomatica.

Il concetto geometrico su cui si basa è simile a quello della stazione totale descritta nell'articolo sul rilievo di inquadramento (cap. V): lo strumento misura distanze inclinate stazione-punto associate ad angoli orizzontali e verticali, in modo da rilevare un oggetto in 3D mediante le coordinate polari di un insieme di punti.

A differenza della stazione totale, che quasi sempre viene utilizzata manualmente e permette il rilevamento di un numero limitato di punti, il laser scanner misura distanze ed angoli in quantità molto elevate e in tempi brevissimi (circa un milione di punti al secondo nel caso in oggetto), effettuando così una scansione tridimensionale molto densa della superficie del terreno, di vani o cavità, esterni ed interni di edifici, oggetti qualsiasi.

Lo strumento LIDAR utilizzato per il rilievo della necropoli del Palazzone è un CAM2 FARO FOCUS 3D X130, acquisito nell'ambito della presente ricerca come attrezzatura primaria per il rilievo delle cavità del sito archeologico. Questo strumento ha le seguenti caratteristiche principali:

- velocità di acquisizione fino a 976.000 punti/secondo;
- accuratezza sulle distanze  $\pm 2$  mm;
- accuratezza angolare  $\pm 20''$ ;
- portata fino a circa 80 m (su superfici di riflettività media);
- laser di classe 1 (utilizzabile senza protezioni agli occhi per gli operatori).

Le specifiche dello strumento sono descritte più in dettaglio nella brochure tecnica citata in bibliografia.

Con questo scanner è stato rilevato l'interno dell'Ipogeo dei Volumni e di altre 18 tombe della Necropoli del Palazzone (tra cui la cosiddetta Tomba Bella), effettuando complessivamente oltre 60 scansioni, ciascuna delle quali ha avuto una durata di acquisizione variabile dai 10 ai 30 minuti (Fig. 1). Ogni scansione ha prodotto una nuvola di punti, composta da centinaia di milioni di punti determinati in 3D nella loro posizione rispetto al centro dello strumento all'atto della scansione (Fig. 2).

Lo scanner FARO X130 oltre al laser per l'acquisizione della geometria comprende anche una fotocamera digitale che, terminata la scansione, provvede automaticamente a ripren-

dere dal centro dello strumento una serie di immagini che ricoprono interamente l'area coperta dalla scansione stessa, con un'adeguata sovrapposizione tra ogni immagine e quelle adiacenti.

In sede di elaborazione queste immagini digitali sono state associate alla geometria tridimensionale dell'oggetto determinata dal LIDAR: in pratica a ogni punto della nuvola 3D che descrive l'oggetto è stato assegnato dalle immagini (registrate spazialmente rispetto alle nuvole di punti) un valore di luminosità e colore RGB.

Per poter ottenere una buona qualità (nitidezza, contrasto, colore) delle immagini fotografiche digitali all'interno delle cavità (solo l'Ipogeo e la Tomba Bella sono fornite di impianto luce fisso ma con debole intensità luminosa), lo scanner è stato dotato di un sistema di corpi illuminanti a LED fissati al treppiede, visibili in fig. 2, che hanno prodotto una intensità di luce sufficiente considerate le limitate dimensioni (inferiori ai 10 m) dei vani ipogei rilevati.

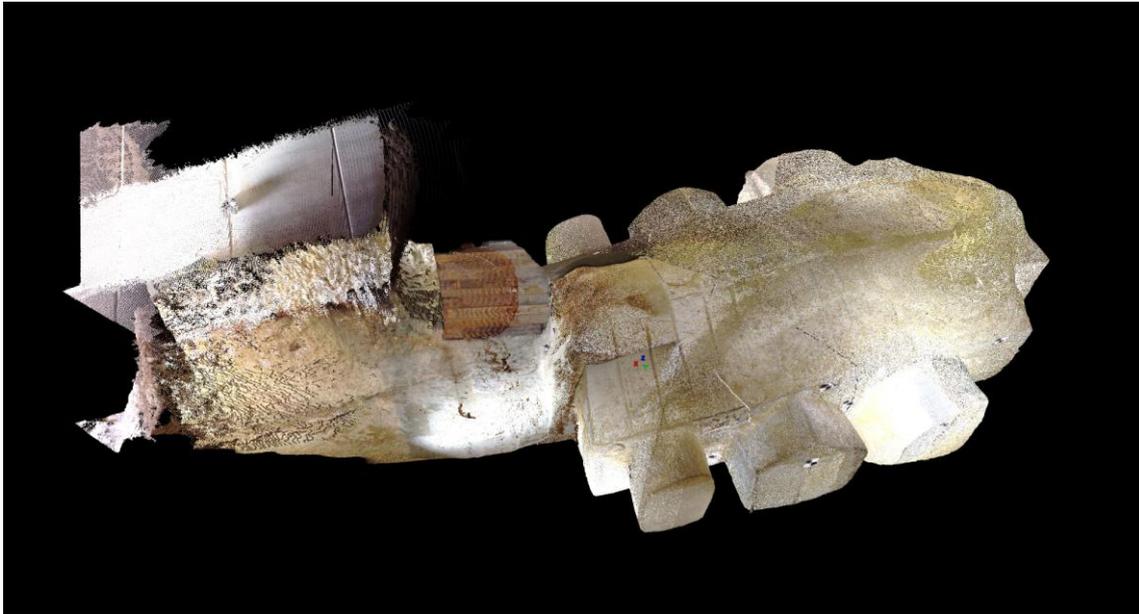


**Figura 1.** Esecuzione di una scansione all'interno dell'Ipogeo dei Volumni con laser scanner FARO X130

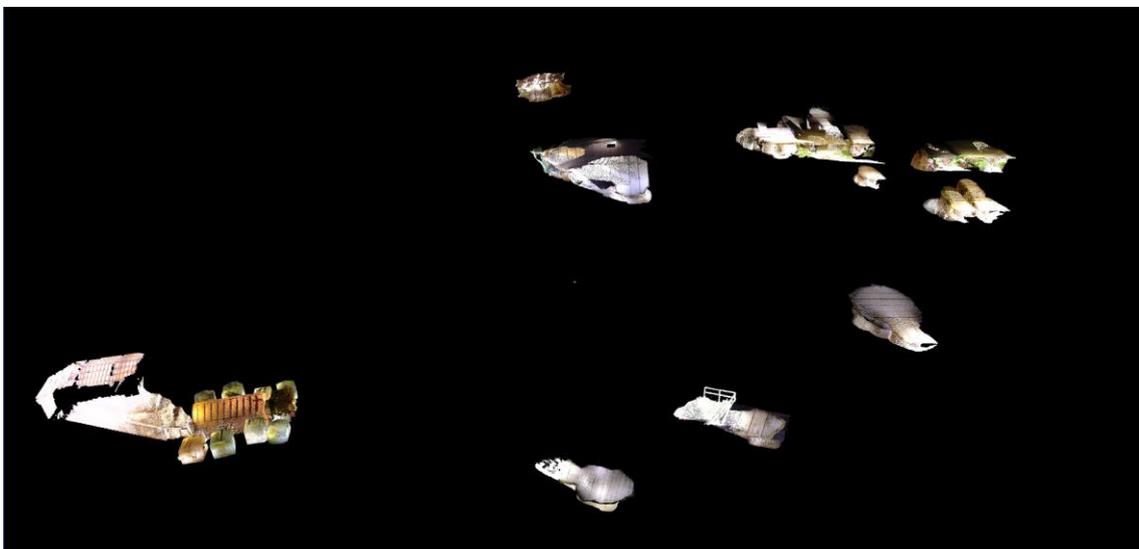
Le singole nuvole di punti sono state acquisite in modo da ricoprirsi parzialmente per il 40-50% della zona coperta da ciascuna, e in sede di elaborazione sono state orientate in modo relativo (ognuna rispetto a quelle adiacenti) mediante target piani che recano stampato un motivo a scacchiera (visibili in Fig. 1). Si è operato in modo che ogni scansione avesse in comune con ciascuna di quelle adiacenti un numero adeguato di target (minimo 4).

Si è ottenuta così una nuvola di punti unica che risulta dall'assemblaggio delle singole nuvole 3D. La densità finale dei punti è dell'ordine di 1 cm di interdistanza media.

All'orientamento relativo (o fusione) delle scansioni è seguito un orientamento assoluto (georeferenziazione complessiva della nuvola di punti assemblata) nel sistema di riferimento ETRF2000. Questo orientamento è stato reso possibile dalla conoscenza delle coordinate tridimensionali dei target nel datum assegnato, determinate preliminarmente mediante misure GNSS e con stazione totale nel corso delle operazioni di inquadramento (cap. V).



**Figura 2.** Nuvola di punti derivante da una singola scansione

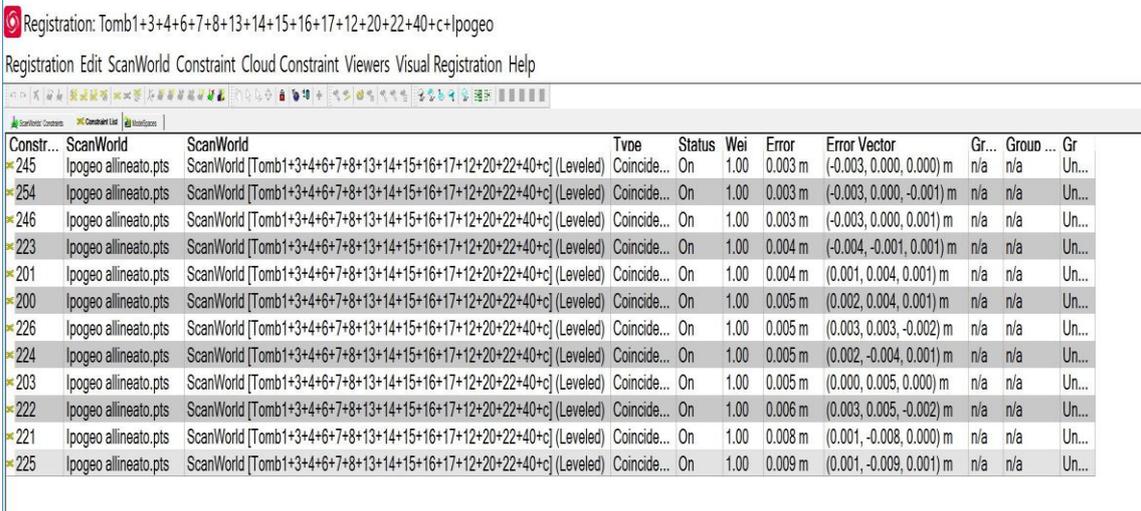


**Figura 3.** Nuvola di punti complessiva (tutte le singole scansioni assemblate e georeferenziate in ETRF2000)

Il risultato del rilievo LIDAR è una nuvola di punti complessiva georeferenzata (Fig. 3), composta da centinaia di milioni di punti, che descrive la geometria tridimensionale del complesso dell'Ipogeo e delle altre 18 tombe, sia nella posizione relativa tra di loro sia nella posizione assoluta nel sistema ETRF2000.

L'accuratezza di questo rilievo può essere valutata sulla base delle caratteristiche degli strumenti utilizzati e di parametri di elaborazione quali i residui sulle coordinate pianoaltimetriche dei punti di appoggio. Gli scarti sulle coordinate note nel caso in oggetto sono risultati inferiori al centimetro (tabella 1). Con criterio prudenziale, si può stimare l'accuratezza del rilievo LIDAR in  $\pm 2$  cm.

**Tab. 1** – Scarti dell'orientamento delle scansioni sui punti di appoggio



Registration: Tomb1+3+4+6+7+8+13+14+15+16+17+12+20+22+40+c+|pogeo

Registration Edit ScanWorld Constraint Cloud Constraint Viewers Visual Registration Help

Constr...	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Wei	Error	Error Vector	Gr...	Group ...	Gr
245	Ipogeo allineato.pts	ScanWorld [Tomb1+3+4+6+7+8+13+14+15+16+17+12+20+22+40+c] (Leveled)	Coincide...	On	1.00	0.003 m	(-0.003, 0.000, 0.000) m	n/a	n/a	Un...
254	Ipogeo allineato.pts	ScanWorld [Tomb1+3+4+6+7+8+13+14+15+16+17+12+20+22+40+c] (Leveled)	Coincide...	On	1.00	0.003 m	(-0.003, 0.000, -0.001) m	n/a	n/a	Un...
246	Ipogeo allineato.pts	ScanWorld [Tomb1+3+4+6+7+8+13+14+15+16+17+12+20+22+40+c] (Leveled)	Coincide...	On	1.00	0.003 m	(-0.003, 0.000, -0.001) m	n/a	n/a	Un...
223	Ipogeo allineato.pts	ScanWorld [Tomb1+3+4+6+7+8+13+14+15+16+17+12+20+22+40+c] (Leveled)	Coincide...	On	1.00	0.004 m	(-0.004, -0.001, 0.001) m	n/a	n/a	Un...
201	Ipogeo allineato.pts	ScanWorld [Tomb1+3+4+6+7+8+13+14+15+16+17+12+20+22+40+c] (Leveled)	Coincide...	On	1.00	0.004 m	(0.001, 0.004, 0.001) m	n/a	n/a	Un...
200	Ipogeo allineato.pts	ScanWorld [Tomb1+3+4+6+7+8+13+14+15+16+17+12+20+22+40+c] (Leveled)	Coincide...	On	1.00	0.005 m	(0.002, 0.004, 0.001) m	n/a	n/a	Un...
226	Ipogeo allineato.pts	ScanWorld [Tomb1+3+4+6+7+8+13+14+15+16+17+12+20+22+40+c] (Leveled)	Coincide...	On	1.00	0.005 m	(0.003, 0.003, -0.002) m	n/a	n/a	Un...
224	Ipogeo allineato.pts	ScanWorld [Tomb1+3+4+6+7+8+13+14+15+16+17+12+20+22+40+c] (Leveled)	Coincide...	On	1.00	0.005 m	(0.002, -0.004, 0.001) m	n/a	n/a	Un...
203	Ipogeo allineato.pts	ScanWorld [Tomb1+3+4+6+7+8+13+14+15+16+17+12+20+22+40+c] (Leveled)	Coincide...	On	1.00	0.005 m	(0.000, 0.005, 0.000) m	n/a	n/a	Un...
222	Ipogeo allineato.pts	ScanWorld [Tomb1+3+4+6+7+8+13+14+15+16+17+12+20+22+40+c] (Leveled)	Coincide...	On	1.00	0.006 m	(0.003, 0.005, -0.002) m	n/a	n/a	Un...
221	Ipogeo allineato.pts	ScanWorld [Tomb1+3+4+6+7+8+13+14+15+16+17+12+20+22+40+c] (Leveled)	Coincide...	On	1.00	0.008 m	(0.001, -0.008, 0.000) m	n/a	n/a	Un...
225	Ipogeo allineato.pts	ScanWorld [Tomb1+3+4+6+7+8+13+14+15+16+17+12+20+22+40+c] (Leveled)	Coincide...	On	1.00	0.009 m	(0.001, -0.009, 0.001) m	n/a	n/a	Un...

La nuvola di punti come già accennato non definisce solo la geometria delle cavità, ma su di essa sono stati applicati i colori e le luminosità ricavate dalle fotografie digitali che il laser scanner acquisisce a 360° subito dopo il completamento di ogni scansione. Questo prodotto del rilievo LIDAR viene definito “nuvola di punti colorata” o anche “immagine solida”.

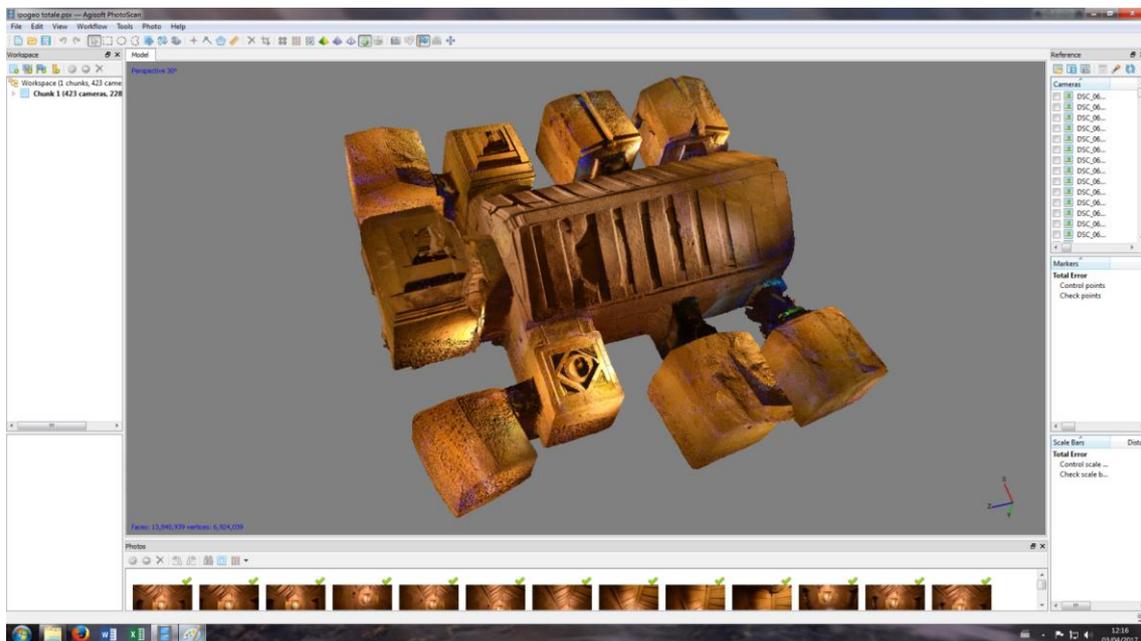
### 3. Fotogrammetria digitale terrestre

Oltre che dal rilievo LIDAR, una modellazione tridimensionale dell'Ipogeo dei Volumni è stata ottenuta anche da immagini digitali terrestri ad alta risoluzione prese con una fotocamera Nikon D800E (Fig. 4). Si tratta di una fotocamera digitale reflex full-frame (sensore di dimensioni 24x36 mm) e risoluzione di 36.3 megapixel. Si tratta di una versione particolare del modello D800 che essendo priva del filtro anti-aliasing fornisce immagini di grande nitidezza. Le caratteristiche di questa fotocamera sono descritte in dettaglio nella brochure tecnica riportata in bibliografia.



**Figura 4.** Fotocamera reflex digitale Nikon D800E

Sono stati utilizzati obiettivi Nikon a focale fissa di lunghezza focale 14 mm, 28 mm, 50 mm e 85 mm: le focali più corte per le viste d'insieme e quelle più lunghe per i particolari. Con le immagini ad alta risoluzione acquisite mediante questa fotocamera è stata effettuata un'elaborazione multi-immagine con il software Agisoft Photoscan che utilizza la tecnica SfM (Structure from Motion). Da questa restituzione è stato ricavato un modello tridimensionale a nuvola di punti (Fig. 5) analogo a quello ricavato dalle scansioni laser, e con esso confrontabile a scopo di verifica.



**Figura 5.** Modello tridimensionale dell'Ipogeo ottenuto da fotogrammetria digitale terrestre

L'accuratezza di questo rilievo è stimabile, sulla base dei risultati dell'elaborazione, in un ordine di grandezza di circa  $\pm 3-4$  cm, leggermente inferiore a quello della nuvola di punti ricavata dalle scansioni laser.

#### **4. Fotogrammetria digitale aerea mediante drone**

Eseguito come sopra descritto il rilievo delle cavità ipogee, restava da definire in dettaglio la geometria della superficie del terreno nell'area della necropoli, determinando un modello tridimensionale della superficie da unire a quello degli spazi sotterranei.

A tale scopo sarebbe stato possibile impiegare ancora la tecnica LIDAR, che avrebbe però richiesto un numero elevatissimo di scansioni a causa della cospicua presenza di vegetazione nell'area della Necropoli, con prevedibili difficoltà nell'orientamento relativo di un alto numero di scansioni con una geometria molto complessa.

Si è quindi optato per l'impiego di una ulteriore tecnica della Geomatica: il rilievo fotogrammetrico eseguito con fotografie nadirali prese da un drone.

Nel caso specifico si è utilizzato un drone ad ala fissa EBee della SenseFly (Fig. 6), avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- apertura alare 96 cm;
- peso al decollo 700 g;
- fotocamera Canon S110 da 18MP, controllata elettronicamente;
- autonomia di volo fino a 45 minuti;
- velocità di crociera 36-57 km/h (10-16 m/s);
- possibilità di volo con vento fino a 45 km/h (12m/s);
- copertura radio fino a 3 km;
- area rilevata per ogni volo 1.5-10 km<sup>2</sup>;
- atterraggio lineare o circolare;
- prese fotografiche nadirali o oblique;
- software proprietario assistito per la pianificazione/gestione del volo;
- risoluzione a terra delle immagini da 4-30 cm/pixel (in base all'altezza di volo).



**Figura 6.** Drone ad ala fissa eBee SenseFly

Il volo per le prese fotogrammetriche è stato progettato prevedendo un GSD (*Ground Sampling Distance*, dimensione dei pixel dell'immagine sul terreno) di 4 centimetri, adeguato agli scopi del rilievo.

La fotocamera Canon S110 montata nel drone ha le seguenti caratteristiche geometriche:

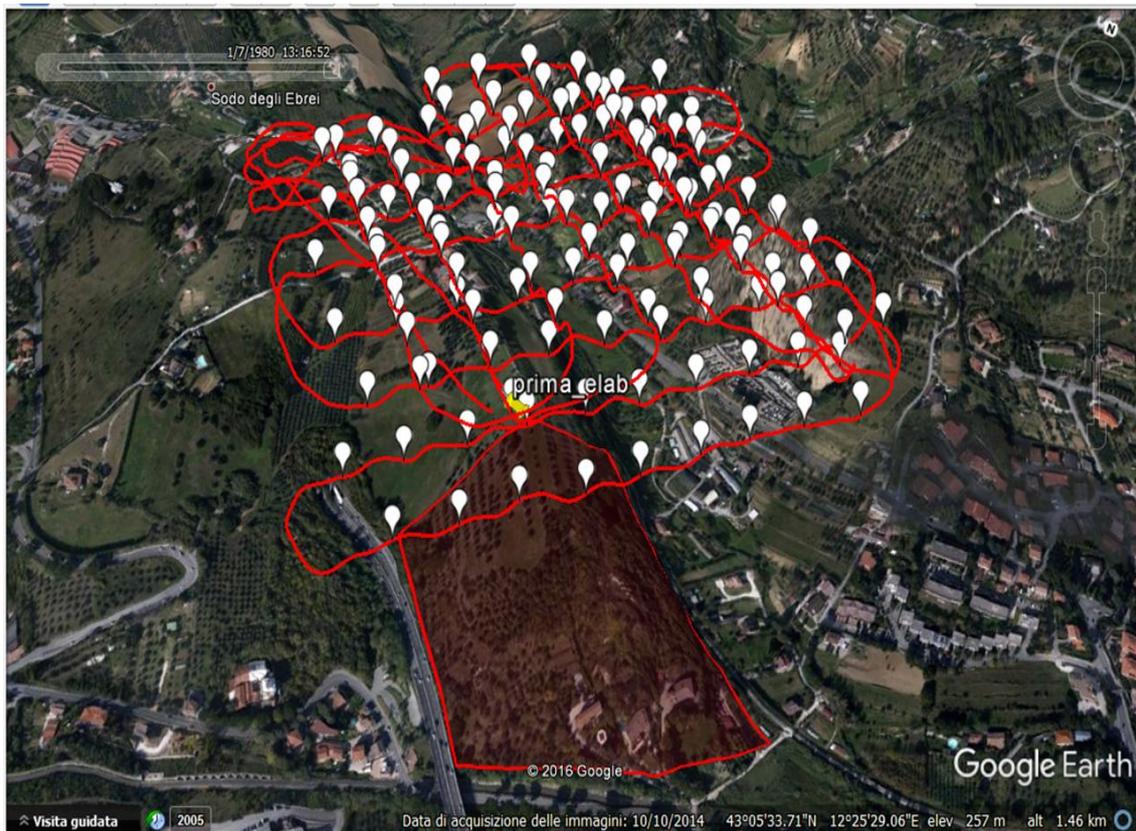
- lunghezza focale obiettivo  $f = 5,2$  mm (fissata al valore minimo);
- dimensioni sensore  $7,6 \times 5,7$  mm;
- risoluzione geometrica  $4000 \times 3000$  pixel;
- dimensioni pixel  $p = 1,9$  micron.

L'altezza di volo relativa alla quota media del terreno è calcolabile come segue:

$$H = (\text{GSD}/p) \cdot f = (0,04/1,9 \cdot 10^{-6}) \cdot 0,0052 = 109 \text{ m}$$

Per ottenere un numero di immagini ridondante rispetto allo stretto necessario sono state eseguite due "strati" di prese, uno a circa 100 m e un altro a circa 120 m di altezza.

Un ricevitore GNSS (GPS) a bordo del drone ne determina la traiettoria in tempo reale seguendo il tracciato del piano di volo e azionando l'otturatore della fotocamera nei punti previsti. Il tracciato effettivo del volo è riportato in Figura 7.



**Figura 7.** Vista prospettica del tracciato effettivo del volo e dei punti di presa

Ai fini dell'orientamento relativo e assoluto dei fotogrammi digitali acquisiti mediante il drone sono stati disposti sul terreno all'atto del volo 25 target di dimensione A3 (circa 30 x 42 cm) con stampato un motivo a scacchiera.

Le coordinate dei centri dei target sono state determinate nel datum ETRF2000 mediante un rilievo GNSS in tempo reale (RTK base-rover) assumendo come base un vertice della rete di inquadramento.

Dalla restituzione del rilievo fotogrammetrico si è ottenuto un modello digitale tridimensionale della superficie del terreno, georeferenziato nello stesso sistema (ETRF2000) dei rilievi LIDAR interni alle cavità.

Mediante tecniche di filtraggio sulle differenze locali di altezza sono stati ricavati due modelli distinti:

- un DSM (*Digital Surface Model*) che modella oltre al terreno anche gli edifici e la vegetazione presenti su di esso;
- un DTM (*Digital Terrain Model*) che modella la sola superficie del terreno priva di copertura vegetale ed edificato.

Dalla restituzione è stata inoltre ricavata una ortofoto digitale a colori dell'area della Necropoli (fig. 8).



**Figura 8.** Ortofotocarta digitale dell'area della Necropoli



**Figura 9.** Ortofotocarta sul modello digitale delle superfici (DSM) dell'area della Necropoli

Sul modello digitale, come per le scansioni LIDAR, è stata applicata la ortofoto, ottenendo anche in questo caso una “nuvola di punti colorata” o “immagine solida” (Fig. 9) relativa però alla superficie del terreno.

Essendo i due rilievi (in superficie e sotterraneo) georeferenziati nello stesso sistema ETRF2000, è stato possibile unirli ottenendo un modello tridimensionale complessivo del terreno e delle sottostanti cavità (Fig. 10).



**Figura 10.** Vista del modello tridimensionale complessivo (superficie e cavità)

Il modello 3D sopra descritto è “navigabile” e zoomabile a video. Si tratta di una documentazione molto dettagliata e utile sia per l’aspetto archeologico che per quello geologico, permettendo una visione e ricostruzione delle stratigrafie nelle varie cavità con le loro pendenze e giaciture.

Il modello è metrico, ovvero ogni punto della nuvola è dotato di coordinate spaziali tridimensionali nel riferimento unificato ETRF2000. Sul modello possono quindi essere prese misure di qualsiasi tipo (distanze, altezze, pendenze, aree, volumi), possono essere eseguite sezioni orizzontali, verticali o inclinate, ed esso può essere integrato e confrontato con altri rilievi e cartografie georeferenziate del sito.

## 5. Altri prodotti del rilievo

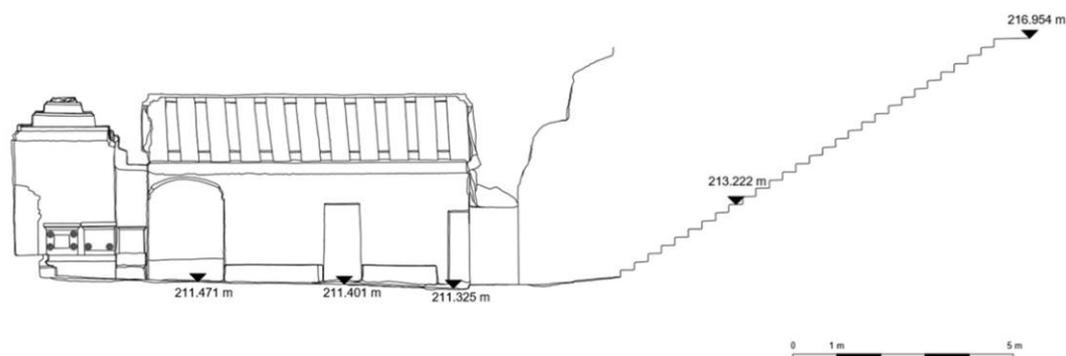
Oltre ai modelli 3D sopra descritti, documenti di grande valore descrittivo e metrico che riproducono con grande accuratezza e dettaglio lo stato attuale della Necropoli, si è voluto produrre anche degli elaborati di tipo più “tradizionale” e usuale sotto l’aspetto tecnico. Sono stati quindi ricavati dai modelli 3D una serie di dettagli elaborati grafici vettoriali (CAD), consistenti in planimetrie, sezioni e prospetti interni dell’Ipogeo e di tutte le altre tombe rilevate.

Si tratta come detto di elaborati più tradizionali rispetto alla modellazione 3D, ma per questo anche più facilmente fruibili in ambito tecnico senza necessità di software particolari per la visualizzazione se non i diffusissimi programmi CAD.

Questi elaborati (esempi nelle Figg. 11-12) hanno anche il vantaggio di poter essere stampati in scala come normali disegni tecnico-architettonici, il che ne aumenta la fruibilità anche ad ambiti (ad es. umanistici) non dotati di mezzi informatici o in cui il loro uso intensivo non è nella consuetudine.



Figura 11. Sezione trasversale dell’Ipogeo dei Volumni



**Figura 12.** Sezione longitudinale dell'Ipogeo dei Volumni

## 6. Conclusioni e sviluppi futuri

L'impiego integrato di tecniche della Geomatica ha permesso di eseguire un accurato rilievo tridimensionale della Necropoli sia in superficie sia nella cavità sotterranee, producendo elaborati di diverse tipologie sia innovative che tradizionali, fruibili a diversi livelli ed ambiti per approfondire gli studi sull'importante sito archeologico.

La metodologia complessiva messa a punto nel caso in oggetto verrà applicata prossimamente ad altri siti archeologici e storici caratterizzati dalla presenza di cavità sotterranee.

## Bibliografia

Brigante R., Dominici D., Fastellini G., Radicioni F., Stoppini A. (2009) - Confronto e integrazione fra tecniche geomatiche per la documentazione e il monitoraggio dei beni culturali. In: Atti della XIII Conferenza Nazionale Asita, 2009. Bari, dicembre 2009, p. 537-542, ASITA, ISBN: 9788890313226

Radicioni F., Matracchi P., Brigante R., Brozzi A., Cecconi M., Stoppini A., Tosi G. (2017) - The Tempio della Consolazione in Todi: Integrated geomatic techniques for a monument description including structural damage evolution in time. In: volume XLII-5/W1, 2017 Geomatics & Restoration - Conservation of the Cultural Heritage in the Digital Era. ISPRS, ISSN: 1682-1777, Florence, Italy, 22-24 May, 2017, doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-433-2017

Specifiche tecniche dello strumento CAM2 FOCUS X130:

<http://pdf.directindustry.it/pdf/faro-europe/scheda-tecnica-faro-laser-scanner-focus3d-x-130/21421-32511.html>

Specifiche tecniche della fotocamera Nikon D800E:

[https://cdn-4.nikon-cdn.com/en\\_INC/o/57qXCcC4VtbrorNNsW0sXvKoNmM/PDF/D810-D800-D800E\\_Comparison\\_Sheet\\_en.pdf](https://cdn-4.nikon-cdn.com/en_INC/o/57qXCcC4VtbrorNNsW0sXvKoNmM/PDF/D810-D800-D800E_Comparison_Sheet_en.pdf)