

# TECNICHE DI RADIOGRAFIA MUONICA E RILIEVO 3D PER L'INDIVIDUAZIONE DI IPOGEI NASCOSTI

## LA NECROPOLI ELLENISTICA DI NEAPOLIS, UN TESORO ANCORA DA SCOPRIRE ESPLORATO CON LE STESSA TECNICHE DELLE PIRAMIDI.

di F.Caprioli, L.Coscarelli, C.Leggieri, F.Colussi, M.Amodio, A.Piemonte, M.Bisdomini, V.Tioukov, N. Zimmermann

La radiografia muonica è una tecnica emergente che permette di rilevare le cavità nascoste nel sottosuolo utilizzando i raggi cosmici. Per poterlo fare è indispensabile avere un modello 3D preciso dell'ambiente circostante. Questa tecnica è stata utilizzata con successo nel contesto della necropoli ellenistica situata nel sottosuolo di Napoli.

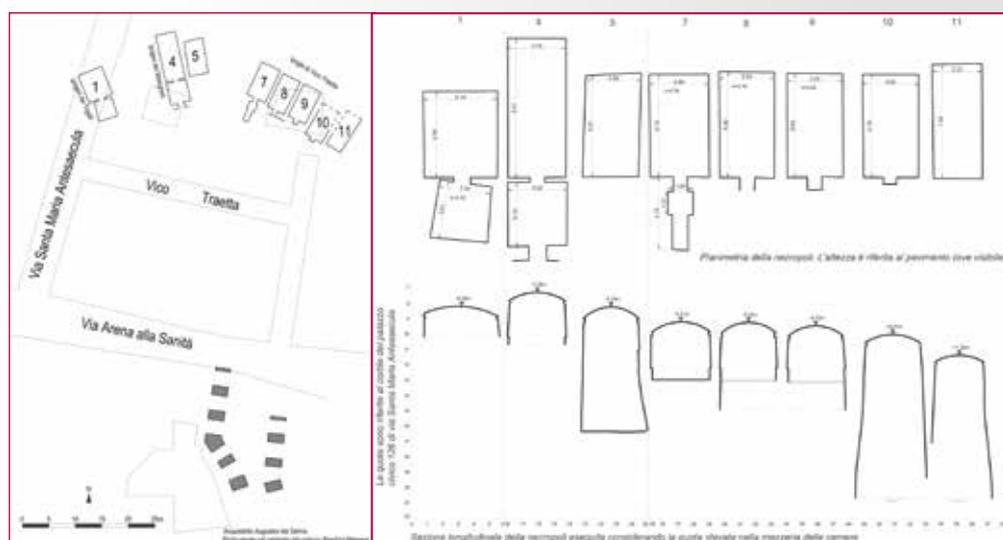


Fig. 1 - Planimetria dell'area interessata: necropoli ellenistica e ponti-canale dell'acquedotto del Serino (sinistra). Planimetria delle camere indagate e sezione longitudinale del contesto (destra).

Nel cuore del rione Sanità, a nord delle mura greche, intagliata nelle colline tufacee che coronavano la città antica, nel tempo sepolta da potenti livelli alluvionali, si estende la necropoli ellenistica di Neapolis, la cui planimetria è riportata in Figura 1 a sinistra, eloquente traccia identitaria e peculiare segno di appartenenza di Napoli, la Graeca urbs. Le ricerche svolte sinora hanno permesso di raccogliere una messe di dati che restituiscono la morfologia di un paesaggio antico particolarmente articolato, caratterizzato dalla monumentalizzazione dei pendii prospicienti il pianoro esteso fino alla murazione nella quale una porta segnava l'inizio del percorso che, lambendo i sepolcri, risaliva verso la sommità di Capodimonte. Quindi la definizione "valle dei morti", spesso utilizzata per indicare i luoghi, risulta inadeguata laddove la necropoli era disposta lungo una quinta scenografica, in Figura 2 a destra, articolata altimetricamente a fasciare le colline.

I monumenti, interamente intagliati nel banco tufaceo, mostrano prospetti di grande raffinatezza che richiamano architetture macedoni e che sono generalmente composti da due camere sovrapposte e sfalsate. Il vestibolo, camera superiore direttamente aperta sulla strada, assolveva a una funzione di riconoscibilità e ostentazione del censo del pro-

prietario e della sua famiglia. Una scala aperta nel pavimento consentiva l'accesso alla camera funeraria inferiore, che ospitava i sarcofagi allineati lungo il perimetro. Quest'ultima, autentica camera ipogea, era chiusa verso l'esterno da porte in roccia che venivano aperte solo in concomitanza di nuove inumazioni. Le spettacolari strutture testimoniano il prestigio delle famiglie aristocratiche di IV sec. a.C., costituendo una sottolineatura autorevole dell'identità greca nella quale si riconosce Napoli. La piana antistante il fronte monumentale della necropoli fu attraversata in età augustea da un ponte canale dell'acquedotto che dalle sorgenti di Serino, in provincia di Avellino, trasportava l'acqua lungo circa cento chilometri, servendo una serie di città tra cui Napoli, per poi alimentare la Piscina Mirabile a Bacoli, riserva idrica per le necessità della Classe Praetoria Misensis (Colussi e Leggieri, 2016; 2018).

### EVOLUZIONE STORICA DEL CONTESTO

Dal II sec. d.C. il comprensorio fu interessato da un progressivo interrimento, risultato di massicce alluvioni, che determinò la scomparsa della necropoli dalla memoria. Nella seconda metà del XVI secolo prese avvio una urbanizzazione tanto spontanea quanto compulsiva, che portò alla nasci-



Fig. 2 - Ipogeo dei Togati (sinistra) ed ipogeo dei Melograni (destra). Elaborazione modello 3d.

ta del primo nucleo del borgo dei Vergini, in un contesto che mostrava ancora tutte le caratteristiche di un'area rurale. La necessità di costruire nuovi fabbricati diede avvio all'apertura di pozzi per l'estrazione della pietra di tufo. Spesso l'escavazione intersecava gli ipogei, ma l'opera dei cavatori, per nulla rallentata dai ritrovamenti, procedeva indisturbata. La moderna archeologia sarebbe nata solo un paio di secoli più tardi, ma l'interesse antiquariale già induceva a sottrarre dalle tombe quanto possibile, per poi procedere a sgomberare rapidamente gli ambienti dai materiali alluvionali presenti. Da quel momento il fronte di avanzamento della cava diveniva l'intera superficie pavimentale dell'ambiente violato. Lo scavo, pur rispettando il perimetro dell'antica camera, si spingeva verso il basso di diversi metri, stravolgendo completamente i rapporti dimensionali originari e terminando solo quando erano soddisfatte le necessità costruttive del palazzo soprastante. La cava così realizzata era un importante valore aggiunto per il fabbricato in quanto, una volta impermeabilizzate le pareti con malta idraulica, diventava una capace cisterna a uso condominiale, serbatoio per le acque meteoriche raccolte dalle terrazze di copertura, che costituiva una preziosa riserva idrica cui attingere per soddisfare le quotidiane necessità domestiche, attraverso la canna di pozzo predisposta a servizio delle cucine disposte sulla verticale. La speciale destinazione d'uso preservò, conservandole anche se mutile, le importanti vestigia antiche fino a quando l'epidemia di colera del 1884, imputata alla presenza di apporti fecali dell'acqua potabile, ne decretò l'inevitabile quanto rovinoso abbandono dovuto alla realizzazione dell'acquedotto in pressione. L'ultima fase di queste preesistenze è stata caratterizzata dalla scellerata pratica di scaricare in queste immense cavità migliaia di metri cubi di materiali di risulta prodotti dalle ristrutturazioni edili, destinandole così, di fatto, a discariche. Il "frammento" della necropoli di cui si occupa questo studio fu riscoperto a seguito delle verifiche strutturali disposte dal Comune di Napoli conseguenti al terremoto del 1980. Sotto le fondamenta del fabbricato sito in Via Santa Maria Antesaecula 126, furono individuati due monumenti di particolare interesse denominati dei Togati (Fig.2 sinistra) e dei Melograni (Fig.2 destra), indicati con numeri 1 e 4 nella planimetria precedentemente riportata. In via Vico Traetta n. 2 sotto il cortile di palazzo de' Mari è ubicato l'accesso a una serie di monumenti già menzio-

nati da Carlo Celano (Celano, 1692) e pubblicati in parte da Michele Ruggiero (Ruggiero, 1888) che acquistò il palazzo a fine ottocento. Riscoperti dopo il sisma dell'80, sono diventati nuovamente accessibili dopo lo sgombero dei materiali di risulta sversati lungo la scala, rimossi a cura dell'associazione Celanapoli. Nella parete nord del cortile una scala a tre rampanti permette di raggiungere il fronte monumentale a semicolonne del monumento 8, in Figura 3. La scala, moderna, realizzata presumibilmente nella metà del sedicesimo secolo sfondando il prospetto, era funzionale all'accesso alla cava di tufo ubicata nei piani pavimentali dei monumenti 8 e 9 posti in comunicazione tra loro attraverso il taglio parziale del setto che li divideva. Un ulteriore sfondamento nella parete ovest del monumento 8 consente di raggiungere il monumento 7, che conserva integro il piano pavimentale. I tre monumenti 7, 8 e 9 hanno caratteristiche architettoniche notevolmente diverse rispetto a quelli di via Santa Maria Antesaecula; infatti, allo stato dei rilievi e delle verifiche effettuate, sembra che non siano costituiti da due camere sovrapposte e sfalsate, ma che le camere funerarie siano collegate alla strada antica attraverso un dromos con scala, obliterato da grossi blocchi. In particolare, il dromos della 7 è interessato da due profonde fratture ortogonali fra loro e nel piccolo ambiente tra



Fig. 3 - Vico Traetta, Monumento 8: fronte sulla strada antica. Elaborazione modello 3d.



Fig. 4 - Vico Traetta. Monumento 8: camera funeraria, parete nord, resti di affresco. Elaborazione modello 3D.

dromos e camera, all'esterno di questa, si legge con straordinaria evidenza il segno di tracciamento dell'arco inciso dai maestri scavatori. La camera mostra una serie di sarcofagi lungo il perimetro, in gran parte distrutti, al fondo di ciascuno dei quali è ricavata una fossetta d'incerta funzione. Le pareti hanno quasi completamente perso il sottile strato di tonachino (intonaco) di preparazione per gli affreschi. Nella parete nord è quasi completamente scomparsa l'epigrafe documentata dal Ruggiero. La tomba 8, caratterizzata dal prospetto a semicolonne già menzionato, ha il dromos tagliato dalla scala seicentesca e presenta nella parete nord resti di un affresco, in Figura 4, già ben documentato da Ruggiero. Due lucerne bilicni in oro sono intercalate da corone di nastri intrecciati appese a chiodi; quella di sinistra è sostenuta da un candelabro al quale è appesa una patera e il chiodo della corona centrale mostra, mirabilmente, sulla destra l'ombra riflessa sulla parete.

La tomba 9, anch'essa sfondata, presenta sulla parete nord una lucerna poggiata su un candelabro dal quale pendono tralci vegetali, la fiamma lambisce il bordo inferiore della cornice all'imposta della volta. In basso, sono stati recentemente individuati resti di iscrizioni in corso di pubblicazione

Nell'angolo N-W si conserva parte del piano pavimentale nel quale si legge l'intersezione con una cisterna presumibilmente di epoca romana, caratterizzata da una pianta a "S", la cui copertura è sostenuta in parte da un poderoso pilastro cavo (Colussi e Leggieri, 2018).

Le camere 10 e 11 sono state notevolmente approfondite nella fase di riutilizzo a cava; successivamente intonacate con malta idraulica sono parte integrante della cisterna descritta.

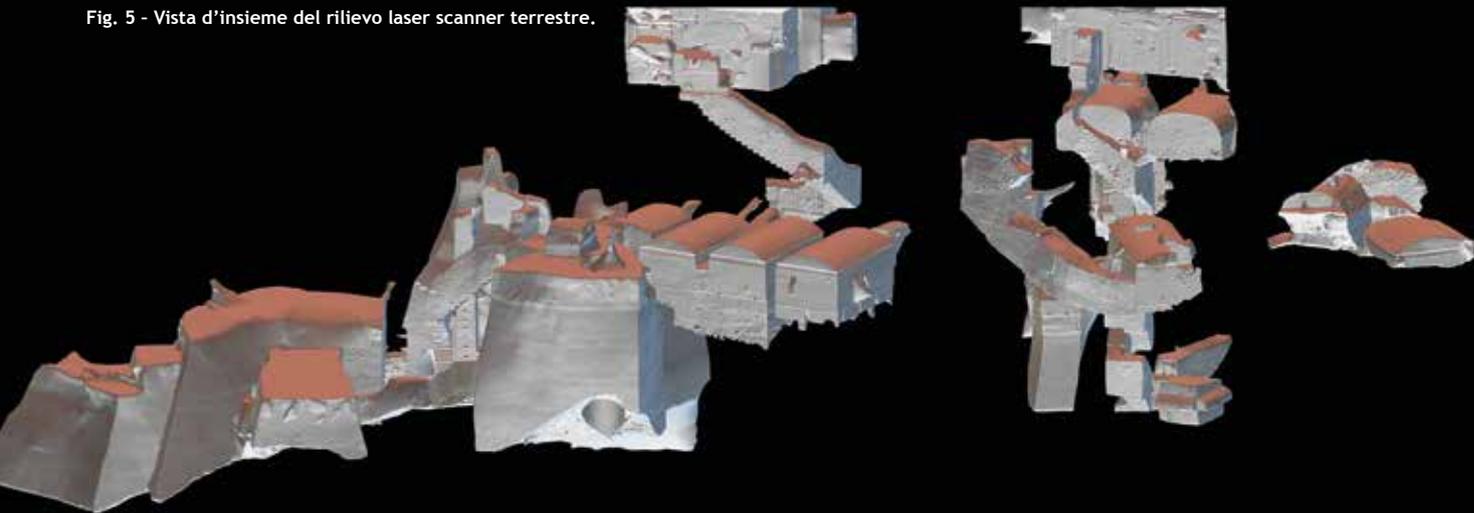
#### LA DIGITALIZZAZIONE DEI BENI CULTURALI

La documentazione scientifica, analitica e rigorosa, di un bene culturale è fondamentale per il suo studio e la sua conservazione, nonché per la sua valorizzazione e divulgazione anche attraverso l'utilizzo di tecniche innovative di realtà virtuale e aumentata. Realizzare un rilievo 3D integrato, con metodo scientifico-topografico, consente fra le altre cose di:

- ▶ visualizzare in maniera immediata e in 3D l'oggetto rilevato;
- ▶ misurare con precisione millimetrica l'oggetto;
- ▶ produrre elaborati per l'analisi dello stato di conservazione dell'oggetto;
- ▶ estrarre elaborati 2D per lo studio dell'oggetto e la progettazione di interventi di manutenzione/restauro;
- ▶ estrarre elaborati 3D per la visualizzazione e il rendering;
- ▶ aprire la possibilità di studiare l'oggetto digitalmente e da remoto su un sito;
- ▶ produrre applicazioni per la fruizione digitale innovativa dell'oggetto.

Sulla base di quanto illustrato, il rilievo integrato del bene culturale può dunque creare le condizioni tecnologiche per soddisfare il fabbisogno di una valorizzazione realmente coerente con quanto enunciato all'art. 6 del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio: "promuovere la conoscenza del patrimonio culturale ed assicurare le migliori condizioni di utilizzazione e fruizione pubblica del patrimonio stesso. [promuovere e sostenere] gli interventi di conservazione del patrimonio culturale". Le possibilità offerte dalla tec-

Fig. 5 - Vista d'insieme del rilievo laser scanner terrestre.



nologia assumono una grande importanza per la conservazione e la fruizione dei siti nei quali l'accesso turistico è inevitabilmente limitato; la fruizione digitale può dunque consentire una migliore gestione delle presenze turistiche, ma soprattutto la conoscenza del bene senza comprometterne il livello di conservazione.

### IL RILIEVO TOPOGRAFICO DEGLI IPOGEI

Attraverso il rilievo laser scanner terrestre si acquisiscono sostanzialmente informazioni sulla geometria e sulla colorimetria di un bene culturale in maniera rapida, precisa e non invasiva, come evidente dall'esempio in Figura 5.

Oltre alla misura con precisione millimetrica delle coordinate spaziali del punto rilevato, è possibile acquisire anche informazioni sul colore e sulla riflettanza della superficie dell'oggetto, che rappresenta la risposta del materiale al fascio laser e che consente di utilizzare lo strumento anche in condizioni di assenza totale di illuminazione e, in sinergia con i risultati di altre misurazioni, di ricavare informazioni sullo stato fisico del materiale.

L'acquisizione integrata realizzata per la necropoli ellenistica di Neapolis e di un tratto dell'acquedotto augusteo del Serino è composta da un rilievo topografico di base e da un rilievo laser scanner Terrestre, unito a un'acquisizione fotogrammetrica ad altissima risoluzione.

La campagna di rilievo laser scanner, realizzata tra il 2017 e l'inizio del 2018, è stata eseguita con il Faro Focus X330. Il rilievo è stato poi integrato nel 2019 con un Faro Focus 150. L'obiettivo dei rilievi era la creazione di un modello digitale che consenta la lettura delle strutture sotterranee e fuori terra per avere un modello continuo "sotto-sopra", utile per lo studio delle pendenze e degli allineamenti delle strutture antiche poste in stretta relazione con le costruzioni più moderne. Per la corretta registrazione delle scansioni sono stati utilizzati sia target fisici nella scena sia algoritmi software cloud to cloud.

Nello specifico, sono state realizzate 560 scansioni laser e con la tecnica fotogrammetrica sono stati digitalizzati un totale di 12.300 fotogrammi.

Lo strumento laser, pur essendo dotato di una camera integrata, non consente di ottenere un dato colorimetrico di alta qualità. Pertanto, nelle zone di maggior interesse nelle singole camere funerarie, di cui alcune con tracce di affresco, e negli ambienti significativi, si è provveduto a completare e integrare il rilievo laser scanner con un rilievo fotogrammetrico eseguito con camere fotografiche reflex full-frame ad altissima risoluzione (fotogramma > 45mpx), ciascuna equipaggiata con ottiche dedicate a fuoco fisso e tutte rigorosamente calibrate. Per assicurare qualità elevata ai prodotti, è stato appositamente allestito un set illuminotecnico non invasivo, con fari a led a temperatura nota e controllata. L'allestimento di un set illuminotecnico, come quello in Figura 6, ha consentito, in fase di acquisizione, di poter sempre controllare in maniera rigorosa la corretta colorimetria degli ambienti anche con l'utilizzo di checker calibrati e sonde colorimetriche; in post produzione i singoli fotogrammi vengono trattati in ambienti software per la corretta calibrazione del colore misurata in situ tramite color checker.

### LA RADIOGRAFIA MUONICA

Durante il rilievo tridimensionale degli ipogei, che già di per sé ha costituito uno strumento molto importante per lo studio degli ambienti già noti e per la formulazione di ipotesi di come il complesso potesse articolarsi ulteriormente nello spazio, è nata la collaborazione con la sede di Napoli dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN).



Fig. 6 - Stazione fotogrammetrica.

Questa collaborazione ha permesso di applicare al contesto degli ipogei una tecnologia innovativa, che permette l'individuazione indiretta di spazi vuoti in un volume sovrastante: la radiografia muonica. Questa metodologia è una tecnica emergente che permette di rilevare le variazioni di densità come le cavità nascoste nel sottosuolo, utilizzando i raggi cosmici e i rivelatori di particelle elementari.

Il caso più eclatante di utilizzo di questa tecnica è sicuramente quello che ha portato al rinvenimento di nuove camere all'interno della piramide di Khufu (Morishima et al., 2017). Recentemente poi, un gruppo di ricerca dell'INFN di Napoli ha applicato con successo la stessa tecnica sia per la ricerca di volumi all'interno del vulcano di Stromboli (Tioukov et al., 2019) sia nell'indagine di beni culturali come la cittadella di Naryn-Kala nel Dagestan (Abiev et al., 2019). Successivamente alle citate applicazioni della radiografia muonica, fisici napoletani e giapponesi insieme alla associazione culturale Celanapoli stanno applicando questa tecnica per sondare la Necropoli Ellenistica di Neapolis.

I rivelatori basati sull'utilizzo di emulsioni fotografiche, non avendo necessità né di elettricità né di manutenzione, permettono una indagine non invasiva dei siti archeologici presenti nel sottosuolo urbano. Nel caso in questione i rivelatori a base di emulsioni nucleari sono stati installati alla profondità di 17 metri (Fig.7).

Per rivelare gli elementi strutturali oppure le cavità nascoste è indispensabile avere un modello 3D preciso dell'ambiente circostante, in modo da esaminare le differenze tra il flusso di muoni misurato dal rivelatore rispetto a quello atteso dalla simulazione. I modelli tridimensionali della Necropoli Ellenistica ottenuti con tecniche geomatiche da ACAS3D sono in perfetta sinergia con le misure di radiografia muonica poiché permettono una corretta interpretazione dei dati osservati. Ogni singola lastra detector è in grado

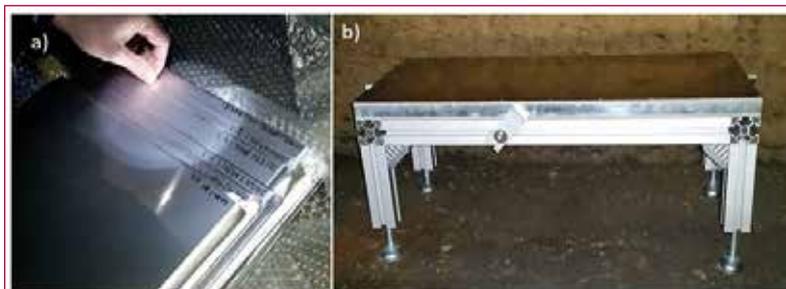


Fig.7- Le lastre di emulsione sigillate dentro le buste per essere protette dalla luce (a); un rivelatore assemblato durante la fase di esposizione (b).

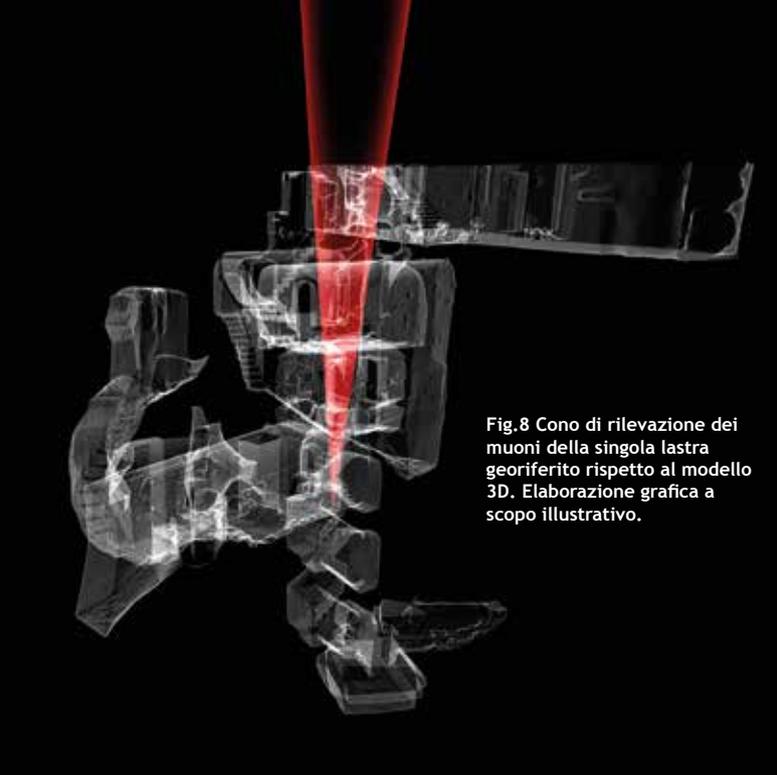


Fig. 8 Cono di rilevazione dei muoni della singola lastra georiferita rispetto al modello 3D. Elaborazione grafica a scopo illustrativo.

di ricevere il segnale di un determinato cono di ricezione (Fig. 8), che deve essere rigorosamente posizionato nel modello tridimensionale di distribuzione dei volumi noti di superficie e del sottosuolo.

Le particelle cariche ionizzanti come i muoni cosmici attraversando i fogli di emulsione lasciano alcuni cristalli "attivati" - dopo il processo di sviluppo fotografico essi diventano grani d'argento segnando le tracce delle particelle. Analizzando queste lastre con i microscopi automatici si può ricostruire la posizione e gli angoli di tutte le tracce che hanno attraversato il rivelatore durante il periodo di esposizione. Lo spettro angolare ed energetico dei muoni in superficie è ben noto e abbastanza costante. Confrontando il flusso muonico che ha attraversato il rivelatore con quello in superficie si può calcolare la densità integrale del materiale attraversato in ogni direzione e in questo modo ottenere una radiografia degli strati soprastanti rivelando le strutture nascoste. Il metodo assomiglia alla radiografia medica.

In figura 9 sono riportate una vista dall'alto del modello tridimensionale e, rispetto la stessa vista, un istogramma nello spazio degli angoli dove la scala dei colori corrisponde all'eccesso del flusso dei muoni. In questo grafico il colore rosso corrisponde alla densità bassa (le direzioni con mol-

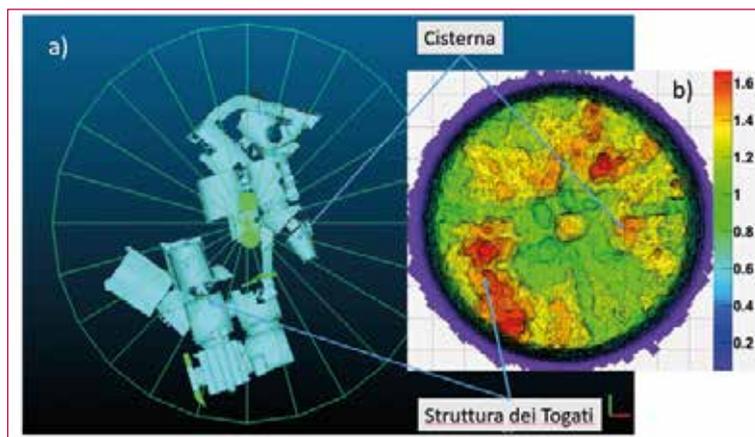


Fig. 9 - La struttura 3-d del sito vista dall'alto (a) una muografia (b).

te cavità), invece il verde ed blu è assegnato alle direzioni angolari dove la densità media è alta. Confrontando la muografia con il modello 3-d si può riconoscere facilmente alcune strutture già note.

Il confronto della muografia dell'esistente con la simulazione numerica di quale dovrebbe essere la risposta dei sensori in presenza dei soli elementi noti, permette di rilevare le anomalie ed in questo modo ricostruire le strutture nascoste non presenti nel modello 3D.

#### POST ELABORAZIONE E COMPUTER GRAFICA

Dopo aver acquisito i fotogrammi e le scansioni laser, i dati sono stati processati per ottenere i modelli 3D ad altissima risoluzione e in scala. Ottenuti i modelli geometrici, in forma di mesh poligonale, sono state utilizzate tecniche proprie della computer grafica e del gaming, che portano ad avere un modello leggero e gestibile in ambiente real time. In questa fase è stato ricostruito il materiale degli ambienti scansionati, ricreandone, attraverso processi propri della "PBR" (Physically Based Rendering), le proprietà fisiche in termini di riflessione e rugosità. Infine, gli ambienti, riprodotti in 3D, sono stati importati nei software di "real-time", in Figura 10, per la creazione delle interazioni, per l'elaborazione dell'esperienza virtuale e per la costruzione della piattaforma multimediale.

Per organizzare tutto il materiale di archivio, fotografico, rilievi 3D e documenti storici, è stata realizzata una piat-



Fig. 10 - Modello 3D dell'Ipogeo dei Melograni (camera 4) e interfaccia della piattaforma multimediale.

taforma multimediale dal facile utilizzo e di immediata leggibilità, non ancora disponibile al pubblico. I modelli 3D di output sono resi completamente navigabili e “interattivi”. Navigando all’interno del modello 3D l’utente può esplorare gli ambienti nel loro stato attuale e, attraverso ricostruzioni su base scientifica, vedere ipotesi ricostruttive e “restauri virtuali”. L’utente potrà inoltre leggere testi brevi di descrizione di massima e, tramite una comunicazione stratificata a più livelli, approfondire i contenuti fino alla consultazione di testi storici e di documenti di archivio già digitalizzati.

Gli scopi della realizzazione di una piattaforma così immaginata sono molteplici:

- documentare lo stato di fatto, con la creazione di un modello 3D metrico e ad altissima risoluzione dell’esistente (con precisione millimetrica e matematicamente riproducibile);
- dare all’utente la possibilità di navigare all’interno del modello 3D e di avere maggiori informazioni di carattere scientifico e storico attraverso l’inserimento di punti interrogabili;
- rendere leggibile, attraverso l’utilizzo di mappe storiche rese in 3D e interattive, l’ubicazione di luoghi spesso percepibili o nascosti;
- valorizzare i luoghi e comunicare, in maniera organizzata ma semplice, numerose informazioni spesso disordinate e contenute in varie pubblicazioni;
- sensibilizzare i cittadini sul patrimonio artistico e culturale dei luoghi;
- creare uno strumento di facile distribuzione (app mobile, web).

Un esempio di immagine presente sulla piattaforma virtuale è in Figura 11.

## CONCLUSIONI

In un contesto archeologico quale quello napoletano della necropoli ellenistica e dell’acquedotto del Serino, che riveste grande interesse scientifico, i rilievi laser scanner consentono di apprezzarne l’articolazione plano-altimetrica e la compenetrazione con il costruito moderno. I progressi e l’affinarsi della documentazione consente di intuire la monumentalità di una necropoli che comprende verosimilmente molte decine di monumenti, molti dei quali probabilmente integri. Da sottolineare, infine, il prezioso apporto della radiografia muonica, che, in un contesto complesso e poco accessibile come quello del rione Sanità, ha permesso la conferma con mezzi non invasivi della presenza di camere non ancora portate alla luce. Il prosieguo della ricerca consentirà di apprezzare la valenza di un sito che ha pochi confronti in tutto il Mediterraneo.



Fig. 11 - Restauro virtuale dell’ipogeo dei Melograni, fruibile attraverso la consultazione della piattaforma multimediale (da Amodio et al., 2019).

## BIBLIOGRAFIA

- Abiev A, Bagulya A, Chernyavskiy M, Dashkina A, Dimitrienko A, Gadjev A, Gadjev M, Galkin V, Gippius A, Goncharova L, Grachev V, Konovalova N, Managadze A, Okateva N, Polukhina N, Roganova T, Shchedrina T, Starkov N, Teymurov A, Tioukov V, 2019. *Muon Radiography Method for Non-Invasive Probing an Archaeological Site in the Naryn-Kala Citadel*. APPLIED SCIENCES, vol.9, ISSN: 2076-3417, doi: 10.3390/app9102040
- Alexandrov AB, Vladymyrov MS, Galkin VI, Goncharova LA, Grachev VM, Vasina SG, Konovalova NS, Malovichko AA, Managadze AK, Okat’eva NM, Polukhina NG, Roganova TM, Starkov NI, Tioukov V, Chernyavskiy MM, Shchedrina TV, 2017. *Muon radiography method for fundamental and applied research*. PHYSICS USPEKHI, vol. 60, p. 1277-1293, ISSN: 1063-7869, doi: 10.3367/UFNe.2017.07.038188
- Amodio M., Camodeca G., Capriuolo F., Leggieri C., Zimmermann N. 2019. *Nuovi studi sulla necropoli ellenistica a nord di Neapolis. Pittura e architettura dalla documentazione digitale alla restituzione virtuale*. In: Pareti dipinte. Dallo scavo alla valorizzazione. Atti del XIV Colloquio AIPMA-Association Internationale pour la Peinture Murale Antique (a cura di A. Coralini), Napoli-Ercolano, 9-13 settembre 2019.
- Catalano O., M. Del Santo, T. Mineo, G. Cusumano, M. C. Maccarone, 2016. *Volcanoes muon imaging using Cherenkov telescopes. Nuclear Instruments And Methods in Physics Research Section A*, 807, pp. 5-12
- Celano C. 1692. *Notizie del bello, dell’antico e del curioso della città di Napoli*. Napoli: Stamperia Floriana.
- Colussi F., Leggieri C. 2016. *L’acquedotto augusteo del Serino nell’area Vergini-Sanità a nord di Neapolis: identificazione e studio di due ponticane*. In: Atti del VI Convegno di Storia dell’Ingegneria - 2nd International Conference (a cura di S. D’Agostino), Napoli, 19-20 maggio, II, 589-598. Napoli: Cuzzolin.
- Colussi F., Leggieri C. 2018. *L’acquedotto augusteo del Serino a Nord di Neapolis nell’area compresa tra la Sanità e Ponti Rossi*. In: Atti del VII Convegno di Storia dell’Ingegneria - 3rd International Conference (a cura di S. D’Agostino e F.R. d’Ambrosio Alfano), Napoli, 23-24 aprile, I, 93-104. Napoli: Cuzzolin
- Morishima, K., Kuno, M., Nishio, A. et al., 2017. *Discovery of a big void in Khufu’s Pyramid by observation of cosmic-ray muons*. Nature 552, 386-390. doi:10.1038/nature24647
- Ruggiero M. 1888. *Documenti degli scavi di antichità nelle province di Terraferma dell’antico Regno di Napoli dal 1743 al 1876*. Napoli: Morano.
- Tioukov, V., Alexandrov, A., Bozza, C. et al., 2019. *First muography of Stromboli volcano*. Sci Rep 9, 6695. doi: 10.1038/s41598-019-43131-8.

## ABSTRACT

*In the heart of the Sanità district, north of the mighty Greek walls in Naples, lies the extraordinary Hellenistic necropolis of Neapolis. Carved in the tuffaceous hills that crowned the ancient city, over time buried by powerful alluvial levels, it is an eloquent trace of identity and a peculiar sign of belonging to Naples, the Graeca urbs. The growing demand for the use of the national cultural heritage requires the adoption of technologically advanced solutions, capable of optimizing both quantitative and qualitative enhancement policies. The multidisciplinary collaboration is part of this perspective which, by integrating the state-of-the-art methodologies of geomatic survey and muon radiography, has allowed the celanapoli association an unprecedented knowledge of the important archaeological complex.*

## PAROLE CHIAVE

RADIOGRAFIA MUONICA; LASER SCANNER; FOTOGRAMMETRIA; MODELLO 3D; NECROPOLI ELLENISTICA; REALTIME 3D.

## AUTORE

F.CAPRIUOLI, L.COSCARELLI, A.PIEMONTE, M.BISDOMINI  
INFO@ACAS3D.COM

ACAS3D SOLUZIONI DIGITALI - STARTUP INNOVATIVA E SPINOFF DELL’UNIVERSITÀ DI PISA

C.LEGGIERI, F. COLUSSI  
CARLO.CELANAPOLI@GMAIL.COM  
ASSOCIAZIONE CELANAPOLI

V.TIOUKOV  
VALERI.TIOUKOV@NA.INFN.IT  
INFN NAPOLI  
MARA AMODIO  
MARIA.AMODIO@UNINA.IT  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

N. ZIMMERMANN  
NORBERT.ZIMMERMANN@DAINST.DE  
WISSENSCHAFTLICHER DIREKTOR, DEUTSCHES ARCHÄOLOGISCHES INSTITUT,  
ABT. ROM -ISTITUTO ARCHEOLOGICO GERMANICO.