

drawing disegnare

n. 69
idee immagini
ideas images

Rivista semestrale del Dipartimento di Storia, disegno
e restauro dell'architettura – Sapienza Università di Roma
*Biannual Journal of the Department of History, representation
and restoration of architecture – Sapienza Rome University*

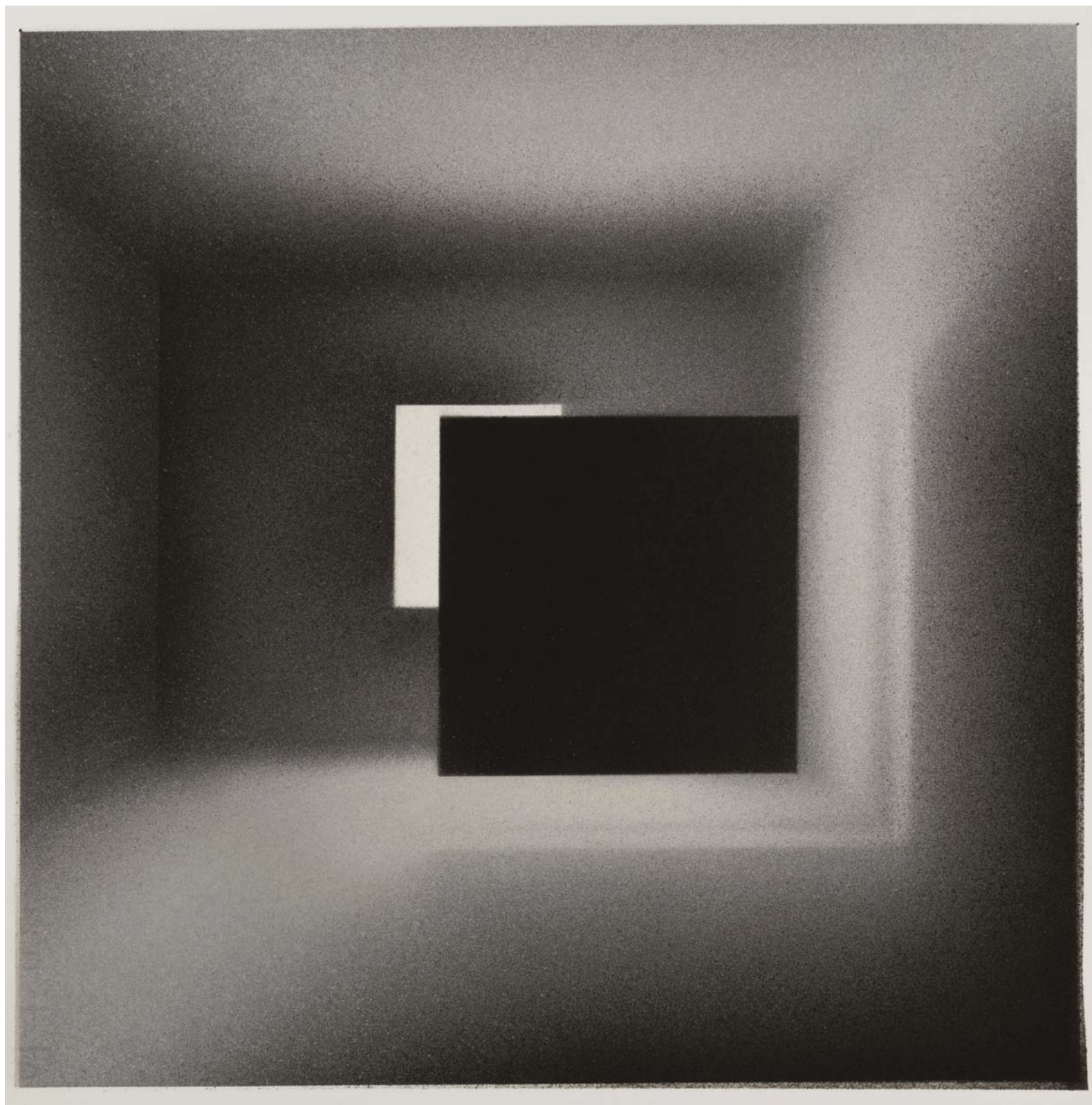
Worldwide distribution and digital version EBOOK
www.gangemeditore.it



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Anno XXXV, n. 69/2024
€ 15,00 - \$/£ 20.00

Full english text





<https://dsdra.web.uniroma1.it/it/disegnare-idee-immagini>



Rivista semestrale del Dipartimento di Storia, disegno e restauro dell'architettura, pubblicata con il contributo di Sapienza Università di Roma
Biannual Journal of the Department of History, representation and restoration of architecture, published with the contribution of Sapienza Rome University

Registrazione presso il Tribunale di Roma n. 00072 dell'11/02/1991

© proprietà letteraria riservata

GANGEMI EDITORE^{SA}
INTERNATIONAL

via Giulia 142, 00186 Roma
tel. 0039 06 6872774 fax 0039 06 68806189

e-mail info@gangemieditore.it
catalogo on line www.gangemieditore.it

Le nostre edizioni sono disponibili in Italia e all'estero anche in versione ebook.
Our publications, both as books and ebooks, are available in Italy and abroad.

Un numero € 15,00 – estero € 20,00 / \$/£ 24.00
Arretrati € 30,00 – estero € 40,00 / \$/£ 48.00
Abbonamento annuo € 30,00 – estero € 35,00 / \$/£ 45.00
One issue € 15,00 – Overseas € 20,00 / \$/£ 24.00
Back issues € 30,00 – Overseas € 40,00 / \$/£ 48.00
Annual Subscription € 30,00 – Overseas € 35,00 / \$/£ 45.00

Abbonamenti/Annual Subscription

Versamento sul c/c postale n. 15911001
intestato a Gangemi Editore SpA
IBAN: IT 71 M 076 0103 2000 0001 5911 001
Payable to: *Gangemi Editore SpA*
post office account n. 15911001
IBAN: IT 71 M 076 0103 2000 0001 5911 001
BIC SWIFT: BPPIITRRXXX

Distribuzione/Distribution

Librerie in Italia e all'estero/
Bookstores in Italy and overseas
Emme Promozione e Messaggerie Libri Spa – Milano
e-mail: segreteria@emmepromozione.it
www.messaggerielibri.it

Edicole in Italia e all'estero/
Newsstands in Italy and overseas
Bright Media Distribution Srl
e-mail: info@brightmediadistribution.it

Abbonamenti/Annual Subscription

EBSCO Information Services
www.ebscohost.com

ISBN 978-88-492-5281-1
ISSN IT 1123-9247

Finito di stampare nel mese di dicembre 2024
Gangemi Editore Printing

Direttore scientifico/Editor-in-Chief

Mario Docci
Sapienza Università di Roma
piazza Borghese 9, 00186 Roma, Italia
mario.docci@uniroma1.it

Direttore responsabile/Managing editor

Carlo Bianchini
Sapienza Università di Roma
piazza Borghese 9, 00186 Roma, Italia
carlo.bianchini@uniroma1.it

Comitato Scientifico/Scientific Committee

Alonzo Addison, *University of California, Berkeley, USA*
Piero Albisinni, *Sapienza Università di Roma, Italia*
Eduardo Antonio Carazo Lefort, *Universidad de Valladolid, Spagna*
Fabiana Carbonari, *Universidad de La Plata, Argentina*
Pilar Chías, *Universidad de Alcalá, Spagna*
Francis D.K. Ching, *Seattle, USA*
Livio De Luca, *CNRS - Centre National de la Recherche Scientifique, Francia*
Marco Gaiani, *Università di Bologna, Italia*
Fernando Gandolfi, *Universidad de La Plata, Argentina*
Natalia Jorquera Silva, *Universidad del La Serena, Cile*
Joubert José Lancha, *Universidade de São Paulo, Brasile*
Cornelie Leopold, *Technische Universität Kaiserslautern, Germania*
Riccardo Migliari, *Sapienza Università di Roma, Italia*
Douglas Pritchard, *Robert Gordon University, Scozia*
Franco Purini, *Sapienza Università di Roma, Italia*
Mario Santana-Quintero, *Carleton University, Canada*

Comitato di Redazione/Editorial Staff

Laura Carlevaris (coordinatore)
Emanuela Chiavoni, Laura De Carlo,
Carlo Inglese, Alfonso Ippolito, Luca Ribichini

Staff edizione multimediale/Multimedia edition Staff

Marina Attenni, Adriana Caldarone, Flavia Camagni,
Marika Griffò, Sofia Menconero

Coordinamento editoriale e segreteria/Editorial coordination and secretarial services

Monica Filippa

Redazione/Editorial office

piazza Borghese 9, 00186 Roma, Italia
tel. 0039 6 49918890
disegnare@uniroma1.it

In copertina/Cover

Marco Tirelli, Senza titolo, 2020.
Tecnica mista su carta, cm 51x47
Marco Tirelli, Untitled, 2020.
Mixed technique on paper, 51x47 cm

Anno XXXIV n. 69, dicembre 2024

- 3 Editoriale di Mario Docci, Carlo Bianchini
Grandi opportunità, piccole visioni
Editorial by Mario Docci, Carlo Bianchini
Great opportunities, small visions
- 7 Marco Tirelli
Tracce
Signs
- 12 Daniele Amadio, Martina Attenni, Tommaso Empler, Carlo Inglese
Il Foro di Nerva. Modelli informati per la conoscenza dell'Architettura Archeologica
The Forum of Nerva. Information Models to understand Building Archaeology
- 26 Massimiliano Ciammaichella
Lo sguardo oltre la cornice. Considerazioni sullo spazio prospettico nell'opera di Hans Vredeman de Vries
The gaze beyond the frame. Considerations of perspectival space in the work of Hans Vredeman de Vries
- 40 Mario Docci
Antonio Salvetti, grande Maestro del disegno ed eccellente rilevatore dell'architettura
Antonio Salvetti, Grand Master of drawing and excellent architectural surveyor
- 54 Adriana Rossi, Silvia Bertacchi, Claudio Formicola, Sara Gonizzi Barsanti
Piccole indentazioni antropiche rinvenute nella riesumata cinta urbana di Cornelia Veneria Pompeianorum
The small anthropic traces found in the unearthed city walls of Cornelia Veneria Pompeianorum
- 68 Nasim Shiasi
La rappresentazione di un palinsesto: gli studi italiani del Palazzo Ali Qapu
A palimpsest representation: Italians' studies of the Ali Qapu Palace
- 82 Michele Asciutti
Il rilievo delle strutture del sagrato della chiesa di Santa Croce di Sassovivo: tecniche integrate per l'ottimizzazione del risultato
Survey of the churchyard in front of the church of Santa Croce di Sassovivo: integrated techniques for optimizing the results

Marco Tirelli, Senza titolo, 2020.
Tecnica mista su carta, cm 62x46.
Marco Tirelli, Untitled, 2020.
Mixed technique on paper, 62x46 cm.





Adriana Rossi, Silvia Bertacchi, Claudio Formicola,
Sara Gonizzi Barsanti

Piccole indentazioni antropiche rinvenute nella riesumata cinta urbana di Cornelia Veneria Pompeianorum *The small anthropic traces found in the unearthed city walls of Cornelia Veneria Pompeianorum*

<https://cdn.gangemieditore.com/DOI/10.61020/11239247-202469-06.pdf>

Application pipelines for point cloud processing (photogrammetry, SfM/IM, Multi-View Stereo, and reverse modelling) are developed for geometric and informative levels of detail. The subject of the analysis are the small-scale anthropic traces found in the city walls of Pompeii, unearthed in the second two decades of the 20th century. The models of the virtual casts, positive-negative, have been elaborated in order to be used as the starting point of a workflow that will allow expert mechanical engineers, paying particular attention to confirm the anthropic nature of the damage and thus calculate the terminal ballistics of the impacts attributed to the artillery of the Republican period. The hypotheses, if confirmed, will allow the authors to contribute to the critical revision of the siege events, and thus to promote educational, cultural, research, and socio-economic programmes aimed at revitalising the archaeological site through aspects that until now were still little known and studied.

Key words: ballistic impacts, digital casts, Roman hoplology and poliorcetics, Roman catapults and balistas 1st century BC.

Along the northern perimeter fortifications of ancient Pompeii, in particular between the Vesuvio and Ercolano Gate (fig. 1), anthropic traces can be identified. Authoritative archaeologists [Van Buren 1925, pp. 110-111; Maiuri 1943, pp. 281-286] did not hesitate to describe these as 'ballistic traces' caused by the impact of projectiles fired by Sulla's artillery during the siege of 89 BC. This can be reasonably asserted because the city walls were buried under the lava of Vesuvius eruption in 79 AD and then slowly excavated during the first three decades of the 1900s. It was not until 1933-34 that the orography to the north-west of the city became known, when the land excavated during the Bourbon period was removed. To this day, it can be said with absolute certainty that the city wall has never been hit by firearms or gunpowder, although there is a detailed record of the damage caused by aerial bombardment during the Second World War [García y García 2006]. Despite the clarifications and further investigations carried out on the area of interest before its restoration [Picone 2011, pp. 101-126], the large cavities attributed to spherical projectiles are still poorly studied [Russo 2014, p. 111, footnote 49] and the

Filiere di applicativi per point cloud processing (fotogrammetria, SfM/IM, Multi-View Stereo, e reverse modelling) sono sviluppate per livelli di dettaglio geometrico e informativo. Oggetto delle analisi le indentazioni antropiche di piccola dimensione riscontrate nella cerchia urbana di Pompei riesumata nel secondo ventennio del Novecento. I modelli dei calchi virtuali, positivi-negativi, sono stati elaborati per essere posti a origine di un flusso di lavoro che consentirà a esperti ingegneri meccanici di intervenire, con la dovuta attenzione, onde accreditare la natura antropica dei danni e quindi calcolare la balistica terminale degli impatti imputati alle artiglierie di epoca repubblicana. Le ipotesi, se verificate, permetteranno agli autori di contribuire alla revisione critica delle vicende di assedio, e dunque promuovere programmi educativi, culturali, di ricerca, socioeconomici, indirizzati a rivitalizzare il sito archeologico attraverso aspetti ad oggi ancora poco conosciuti e studiati.

Parole chiave: impatti balistici, calchi digitali, ologologia e poliorcetica romana, catapulte e baliste romane di I secolo a.C.

Lungo la fortificazione perimetrale settentrionale di Pompei antica, precisamente fra Porta Vesuvio e Porta Ercolano (fig. 1), si possono individuare cicatrici antropiche che autorevoli archeologi [Van Buren 1925, pp. 110-111; Maiuri 1943, pp. 281-286] non hanno esitato a definire "impronte balistiche" generate dalla percussione di proiettili lanciati dalle artiglierie di Silla nel corso dell'assedio dell'89 a.C. Con assoluta e documentata certezza si può oggi affermare che in seguito la cinta urbana non è mai stata percossa o mitragliata da armi da fuoco o polvere pirica in quanto essa è stata seppellita nel 79 d.C. dalle deiezioni del Vesuvio e lentamente riesumata solo nei primi Trenta anni del Novecento; dei recenti danni causati dai bombardamenti aerei della Seconda guerra mondiale disponiamo di un dettagliato regesto [García y García 2006]. Nonostante le precisazioni e le ulteriori indagini condotte ante il loro restauro [Picone 2011, pp. 101-126] restano ancora ben poco indagate le grandi cavità imputate ai proiet-



tili sferici [Russo 2014, p. 111, nota 49] e del tutto trascurate quelle di piccolo diametro menzionate da Albert W. Van Buren.

La campagna di rilievo digitale promossa dagli autori nel febbraio del 2024, consapevole del valore unico di tali testimonianze, intende fornire una descrizione completa, accurata e precisa delle cavità (indentazioni) ipoteticamente imputate ai proiettili lanciati da catapulte, nel dubbio che nuove catastrofi naturali o scelleratezze umane possano nuovamente oscurare, e questa volta definitivamente, quelle che sulla base di quanto noto appaiono uniche prove esistenti al mondo degli effetti balistici di artiglierie elastiche, delle quali disponiamo di rari e malconci reperti. Il suddetto rilievo e le elaborazioni dei dati, che le tecniche digitali oggi consentono, sono focalizzati sulle analisi di cavità di piccola dimensione; questo contributo integra dunque i precedenti studi sugli impatti di proiettili sferici [Rossi 2024; Rossi, Gonizzi, Bertacchi 2024; Bertacchi, Gonizzi, Rossi 2024].

Il rilievo digitale offre materia critica per gli studi interdisciplinari necessari ad accreditare la natura antropica dei danni, calcolare la potenza di armi, verificare le tecniche di assedio e dunque promuovere programmi di ricerca, educativi, culturali, turistici indirizzati a rivitalizzare il sito archeologico.

Introduzione

L'oggetto di studio

La vulnerabilità del tratto a nord-ovest della cinta muraria fu ben evidente ai Sanniti che intesero rinforzare la tratta – «la meno difesa da strapiombi naturali e la più vulnerabile agli attacchi militari» [Maiuri 1929, pp. 113-290] – introducendo torri a cavaliere [Anni-boletti 2016]. La distanza tra le torri X, XI e

1/ *Pagina precedente*. La cinta muraria settentrionale di Pompei, vista verso la Torre X, restaurata da Amedeo Maiuri negli anni Trenta del Novecento (foto: Adriana Rossi, dicembre 2023).

Previous page. *The northern walls of Pompeii, looking towards Tower X, restored by Amedeo Maiuri in the 1930s (photo: Adriana Rossi, December 2023).*

2/ A sinistra: proiettili sferoidali in pietra attualmente conservati presso l'Antiquarium di Pompei. Al centro: fasi della ricostruzione del modello di sfera teorica; a destra:

modelli da reale mappati (foto, modelli e restituzioni 3D: Silvia Bertacchi).

Left: spheroidal stone projectiles currently preserved in the Antiquarium of Pompeii. Centre: steps in the reconstruction of the theoretical sphere model; right: textured reality-based models (photos, models and 3D renderings: Silvia Bertacchi).

3/ Punte di dardo romane conservate presso diversi musei europei; in basso dardo da catapulta ritrovato nell'area di Oberammergau (Archäologische Staatssammlung Museen in Bayern) (rappresentazione grafica degli autori).

Roman arrowheads preserved in various European museums; below, catapult bolt found in the Oberammergau area (Archäologische Staatssammlung Museen in Bayern) (graphic representation by the authors).



XII fu proporzionata, come di consuetudine, considerando la gittata dei proiettili (palle di diversi diametri, dardi e verrettoni); stando al calcolo effettuato da Charles François Mazois [Mazois 1824] nel rispetto delle indicazioni tramandate in materia e raccolte da Vitruvio nel X libro [Vitruvio, *De Arch.*, I, V], l'interesse impiegato a Pompei e rapportato all'attuale sistema di misura, fu di 71,13 m [Marini 1836, p. 26, nota 10].

Nonostante il potenziamento, la tratta settentrionale restava la più debole [Van Buren 1925, pp. 110-111]; fu perciò prescelta dalla legione romana per l'investimento ossidionale (89 a.C.). Publio Cornelio Silla espugnò in breve tempo la cittadina di fondazione osca: Pompei, diventata *municipium* [Plinio, *Nat. Hist.*, II, 137] e poi colonia dell'Impero [Cicerone, *Pro Sulla*, 61-62], fu ribattezzata *Veneria Cornelia Pompeianorum*.

In epoca romana il pomerio delle mura urbane, un tempo inviolabile, fu occupato da sepolcreti a uso privato [Maiuri 1943, p. 279], mentre le mura furono utilizzate come appoggio per nuovi manufatti [Cassetta, Costantino 2008]. La cinta muraria, sebbene avesse perso la sua funzione, fu restaurata a memoria della superiorità dell'esercito conquistatore: i segni dei danni dell'assedio furono risarciti con calce e pozzolane, quindi coperti dallo spesso intonaco modellato in finto bugnato. Il terremoto del 62 d.C. [Maiuri 1943, pp. 291-292] causò ingenti danni anche alle mura: le torri crollarono parzialmente e il pomerio divenne un ricettacolo di materiali di risulta, caduti o accatastati [Maiuri 1943, p. 279] e con l'eruzione vulcanica del 79 d.C.

ogni aspetto di vita quotidiana fu cristallizzato. Solo dopo secoli le mura settentrionali furono riportate alla luce: cronistorie dettagliate ci tramandano le tappe della sua riesumazione [Jacobelli 2001].

Per Van Buren, che esaminò le palle di pietra trovate in situ e custodite presso il museo allestito vicino al Foro (fig. 2), molte delle irregolarità riscontrate su di un lato della Torre XI sarebbero effetto della polverizzazione del materiale dovuta all'impatto dei proiettili lanciati contro l'estradosso della superficie muraria [Van Buren 1925, pp. 110-111]. Sulla base del loro diametro, l'archeologo distingue indentazioni prodotte da palle grandi (massimo 14 cm), medie (4-8 cm) e piccole (1-2 cm). Queste ultime meritano, a nostro avviso, di essere studiate con maggiore dettaglio.

Non solo baliste, manubaliste e frombole furono infatti le armi impiegate dalle legioni romane [Rossi, Russo, Russo 2009]. Le catapulte (dal greco *katapeltēs*, der. di *katapallō* "getto attraverso") gettavano verrettoni capaci di trapassare elmi, armature e scudi. Prove delle ferite inferte ai soldati dai dardi metallici contraddistinte da sagome decisamente quadrangolari sono conservate nei musei [Redfern



small-diameter ones mentioned by Van Buren are completely overlooked.

Aware of the unique value of this evidence, the digital survey campaign promoted by the authors in February 2024 aims to provide for future reference a complete, accurate and precise description of the cavities hypothetically attributed to catapult projectiles, in case new natural disasters or human actions should once again, and this time definitively, obscure what, on the basis of what is known to date, appears to be the only existing evidence in the world of the ballistic effects of elastic artillery, of which we have fragmented artefacts in poor state of preservation.

To this end, the digital survey will provide critical material for the interdisciplinary studies necessary to confirm the anthropic nature of the damage, to calculate the power of the weapons, to verify the siege techniques, and thus to promote research, educational, cultural and tourist programmes aimed at revitalising the archaeological site through methodologically comparable and hitherto still little known and studied aspects. For this purpose, the article complements previous studies on the impact of spherical projectiles [Rossi 2024; Rossi, Gonizzi, Bertacchi 2024; Bertacchi, Gonizzi, Rossi 2024]; in fact, the survey and processing now made possible by digital techniques focus on the analysis of small-scale cavities.

Introduction

The subject matter of the research *The vulnerability of the north-western part of the fortification was well known to the Samnites, who intended to reinforce this section – "the least defended by natural overhangs and the most vulnerable to military attacks"* [Maiuri 1929, pp. 113-290] – by introducing 'chevalier' towers above the city walls [Anniboletti 2016]. *The distance between towers X, XI and XII was then proportioned, as usual, taking into account the range of the projectiles (balls of various diameters, arrows and bolts). According to the calculations made by Charles François Mazois [Mazois 1824] on the basis of the traditional data collected by Vitruvius in Book X [Vitruvius, De Arch., I, V], the distance between the towers used in Pompeii was 71.13 metres*

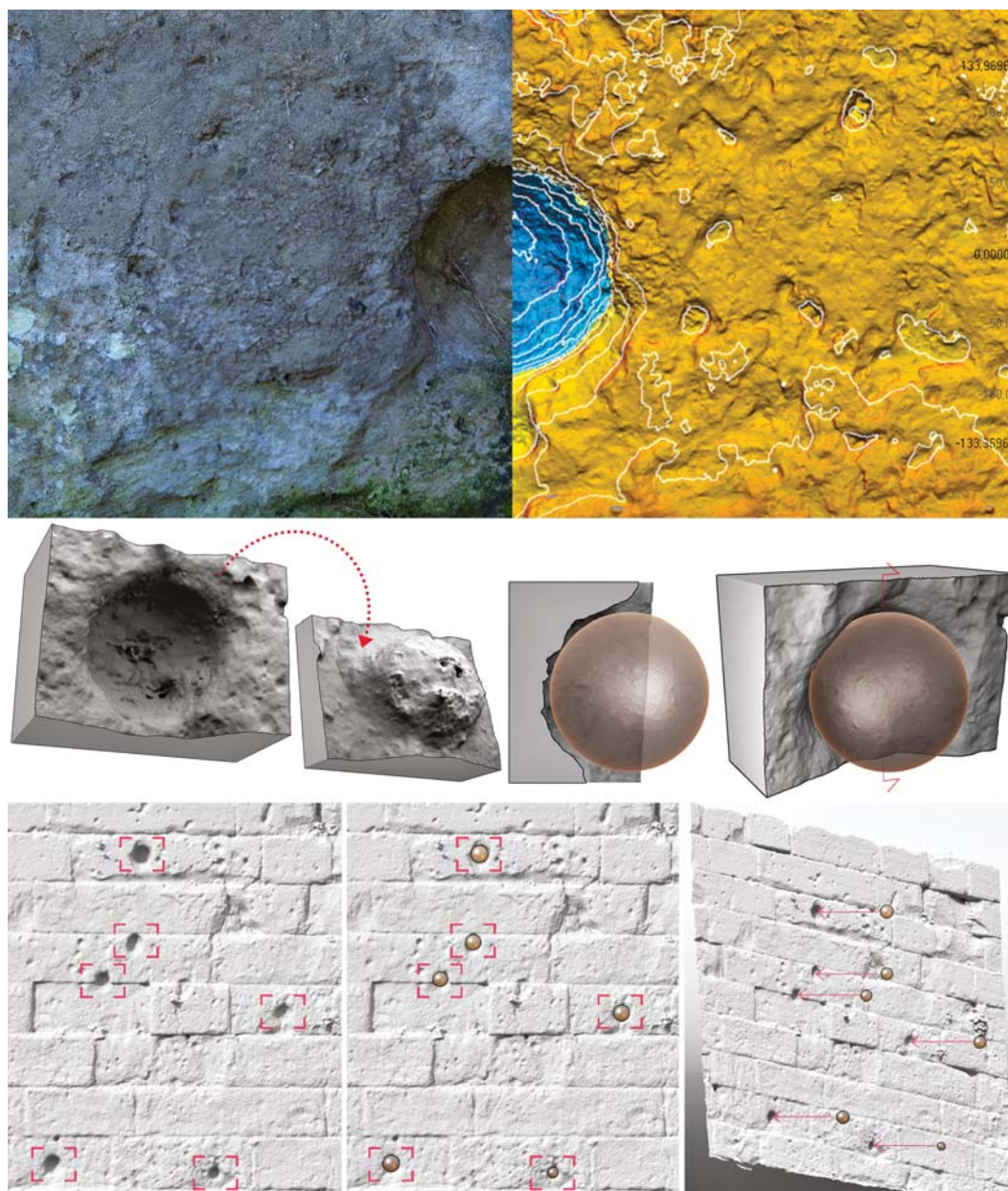
4/ Rilievo digitale e analisi morfometrica degli impatti di proiettili sferici sulle mura nord. In alto, analisi della mesh poligonale con curve di livello e deviazione; al centro, creazione di calchi positivi-negativi e studio della sfera teorica che ha creato l'impatto; in basso, un tratto della cinta con gli impatti rintracciati (modelli: Silvia Bertacchi).
Digital survey and morphometric analysis of the spherical projectile impacts on the north city wall. Above, polygonal mesh analysis with contour lines and deviation; in the middle, positive-negative casts and study of the theoretical sphere that

produced the impact; below, a section of the wall with the traces of the impacts (models: Silvia Bertacchi).

[Marini 1836, p. 26, footnote 10] expressed in the current system of measurement.

Despite the improvement, the northern section remained the weakest [Van Buren 1925, pp. 110-111]; it was therefore chosen by the Roman legion for the siege attack (89 BC). Publius Cornelius Sulla quickly conquered the city founded by the Oscans, and so Pompeii, which had become municipium [Pliny, Nat. Hist., II, 137] and later a colony of the Empire [Cicero, Pro Sulla, 61-62], was renamed Veneria Cornelia Pompeianorum. With the arrival of the wealthy Romans, new dwellings with technologically advanced services and infrastructure were built. The once inviolable area of sacred space along the city walls (the pomerium), where no buildings could be erected, was occupied by burial grounds for private use [Maiuri 1943, p. 279], while the city walls were used as a support for new constructions [Cassetta, Costantino 2008]. Although the walls had lost their function, they were in fact restored as a reminder of the superiority of the conquering army: the signs of the siege damage were repaired with lime and pozzolana and then covered with thick plaster shaped into ashlars. The earthquake of 62 AD interrupted the serene prosperity of the inhabitants [Maiuri 1943, pp. 291-292]. The damage was extensive; even the towers partially collapsed and the pomerium became a dump for piling up debris [Maiuri 1943, p. 279]. After the volcanic eruption of 79 AD, the prosperity of the Roman colony was freeze framed in every aspect of daily life, Pompeii, which had remained hidden for centuries, was uncovered after Ercolano. Detailed chronicles record the stages of the excavation of the northern walls [Jacobelli 2001].

According to Albert W. Van Buren, who examined the stone balls found in situ and preserved in the museum near the Forum (fig. 2), many of the irregularities found on one side might be the result of the damage caused by impact of the projectiles launched against the extrados of the wall surface [Van Buren 1925, pp. 110-111]. On the basis of their diameter, the archaeologist distinguishes between cavities caused by large (maximum 14 cm), medium (4-8 cm) and small (1-2 cm)



2009, p. 411], unitamente alle punte rinvenute in diversi luoghi geografici, alcune con il marchio romano della Legio XIX (fig. 3). Flavio Giuseppe, testimone dell'assedio romano a Gerusalemme, fornisce elementi utili a quantificarne sia pure approssimativamente la letalità [Vitucci 1995]. Hermann Köchly e Wilhelm Rüstow, nonostante l'impostazione filosofica del loro trattato *Griechische Kriegsschriftsteller* (Leipzig, 1853), portarono

all'attenzione dei loro contemporanei la raffinata scienza ellenistica [Russo 2004, sez. I]. Erwin A. Schramm (1856-1935) ricostruisce un prototipo e ne testa la potenza-precisione dinanzi al kaiser: il prototipo esposto presso il Museo di Saalburg (Assia, Germania) è descritto in scala 1:20 nelle tavole allegate alla sua traduzione del testo di Filone di Bisanzio [Diels, Schramm 1919]. Filone (280-220 a.C.), noto per il *Compendio di Mec-*

5/ In alto: versione digitale del calco positivo e negativo (modelli: Silvia Bertacchi). In basso: prototipazioni di Claudio Formicola con stampante 3D Anycubic in FDM (Fusion Deposit Modeling); il materiale utilizzato è PLA. Above: Digital version of the positive and negative moulds (models: Silvia Bertacchi). Bottom: Prototyping by Claudio Formicola using the Anycubic 3D printer in FDM (Fusion Deposit Modeling); the material used is PLA.

canica (Μηχανικὴ Σύνταξις) [Garlan 1972], è qui ricordato per la stesura di *Belopoeica* (βελποεικά), la “teoria dell’arte” di costruire proiettili, scritto in greco antico, trascritto in tedesco dal citato Schramm, quindi in inglese, per mano di Eric William Marsden [Marsden 1971, pp. 105-184]. Ai frammenti originali attinge Flavio Russo nell’attuale Millennio per ricostruire prototipi funzionanti di baliste e scorpioni [Russo, Russo 2007].

Attratti dalle sagome spiccatamente quadrangolari rinvenute nella tratta della cinta muraria esaminata da Van Buren, alcune organizzate in singolari configurazioni geometriche che si ripetono analogamente, proponiamo un rilievo dettagliato delle indentazioni di piccolo lato/diametro, riservando ogni conclusione al termine del flusso di lavoro attivato a valle dei processi di ingegneria inversa operati da esperti meccanici, che potranno effettuare sulla base dei modelli inversi elaborati dagli autori a seguito del rilievo *reality-based* 3D e dei prototipati virtuali e fisici estratti per essere utilizzati allo scopo.

Il metodo

Gli autori si sono proposti di completare i dati acquisiti ed elaborati nella prima campagna di rilievo del gennaio-febbraio 2024 (fig. 4) promuovendone una seconda mirata agli scopi premessi. La campagna di rilievo condotta nei mesi di maggio-giugno 2024 si serve della dettagliata ricostruzione dell’estradosso della cortina acquisita nei mesi precedenti con dispositivi laser scanner a tempo di volo e/o

triangolazione. Al suo interno, con la precisione garantita dal riferimento spaziale, saranno inserite le piccole indentazioni, rilevate nel corso della seconda campagna di rilievo con l’impiego dei sensori attivi, *range-based*, e passivi, fotogrammetria dei vicini, *image-based*. Considerate le caratteristiche dei fori, le elaborazioni saranno effettuate ricorrendo a procedure solo in parte automatizzate.

Le tecnologie integrate impiegate, ormai stato dell’arte nel settore della documentazione digitale di siti complessi [Cipriani, Fantini, Bertacchi 2014; Canciani et al. 2017; Russo, Lanfranchi, Carnevali 2020; Caroti, Martínez-Espejo Zaragoza, Piemonte 2021; Attenni et al. 2022], consentono la cattura rapida e senza necessità di contatto del *continuum* dell’estradosso della tratta interessata. La registrazione delle informazioni morfologiche, mediante nuvole di punti 3D dense, deve infatti presentare il carattere estensivo necessario alla collocazione dell’esatta posizione e dimensione della traccia oggetto del rilievo di dettaglio: dirimente è infatti l’inclinazione e la morfologia della depressione sulla cortina muraria. La simultanea acquisizione di informazioni metriche e cromatiche consente, oltre a una corretta restituzione radiometrica delle superfici, anche la realizzazione di elaborati capaci di evidenziare le caratteristiche ritenute indispensabili per l’analisi delle indentazioni balistiche. Le elaborazioni conseguite indirizzano verso la simultanea e multidisciplinare condivisione dei dati da parte degli attori coinvolti nei processi di documentazione, conoscenza e studio dell’oggetto di indagine (fig. 5).

Il rilievo delle indentazioni di piccolo diametro

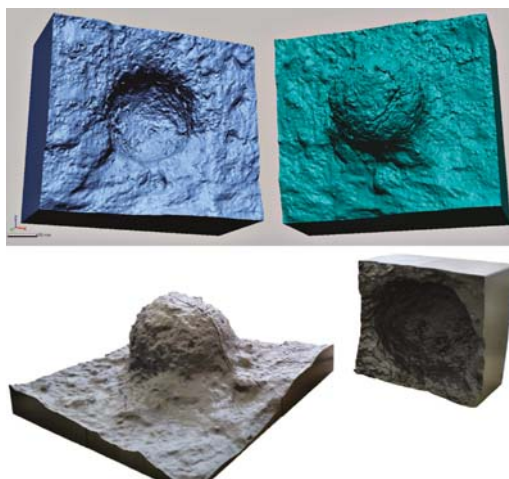
Acquisizione dell’estradosso della tratta interessata

Estese per circa 300 metri, le mura settentrionali sono state interessate da un rilievo di inquadramento generale (gennaio-febbraio 2024), con laser scanner terrestre (TLS). Lo strumento utilizzato, Leica ScanStation P30, con tecnologia *time-of-flight* (ToF, classe laser 1) garantisce la precisione di posizione 3D della singola misura (da 3 mm a 50 m) oltre un campo di presa visiva completo (360° sul piano orizzontale, 290° sul piano verticale). Alla

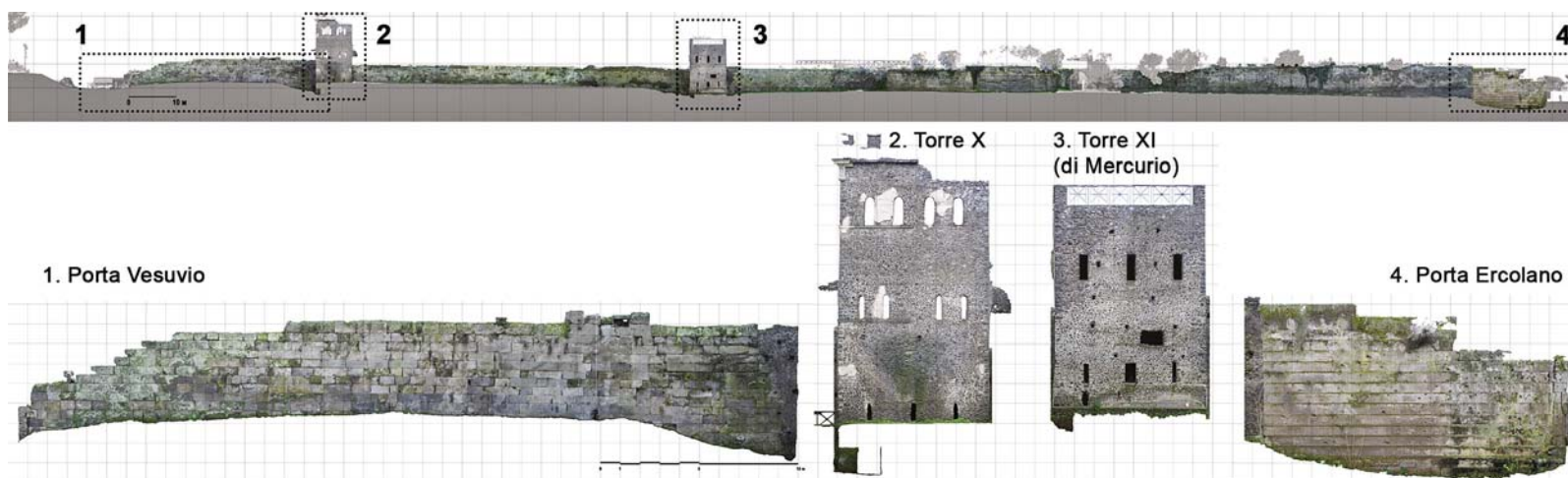
projectiles. The latter, in our opinion, deserve to be studied in more detail.

Not only ballistas, manuballistas and slingshots were the weapons of the Roman legions [Rossi, Russo 2009], but catapults (from the Greek katapeltēs, deriving from katapállō ‘thrown through’) threw bolts capable of perforating helmets, armour and shields. Evidence of the wounds inflicted on the soldiers by the metal darts, characterised by their distinctive square shape, are preserved in museums [Redfern 2009, p. 411], together with arrowheads found in various geographical locations, some of which bear the Roman mark of Legio XIX (fig. 3).

Flavius Josephus, a witness to the Roman siege of Jerusalem, provides useful elements to assess, albeit approximately, the lethality of such weapons [Vitucci 1995]. H. Kochly and W. Rustow, despite the philosophical approach of their treatise Griechische Kriegsschriftsteller published in Leipzig in 1853, brought the refined Hellenistic science to the attention of their contemporaries [Russo 2004, sect. I]. Erwin A. Schramm (1856-1935) reconstructed a prototype and tested its accuracy before the Kaiser: the prototype, exhibited in the Saalburg Museum (Hesse, Germany), is described on a scale of 1:20 in the plates accompanying his translation of the text of Philo of Byzantium [Diels, Schramm 1919]. Philo (280-220 BC), known for the Compendium of Mechanics (Μηχανικὴ Σύνταξις) [Garlan 1972], is remembered here for writing the Belopoeica (βελποεικά), the ‘theory of the art’ of constructing projectiles. The work was written in ancient Greek, transcribed into German by Schramm, then into English by Eric William Marsden [1971, pp. 105-184]. Recently, Flavio Russo used the original fragments to reconstruct working prototypes of ballistas and scorpions [Russo, Russo 2007]. The quadrangular shapes clearly identified in the section of the wall studied by Van Buren, some of which are organised in singular geometric configurations that are similarly repeated, drew the attention of the authors who propose a detailed study of the cavities with small sidediameter. Any conclusions will be drawn at the end of the workflow, when



6/ Nuvola di punti e modello complessivo delle mura e ingrandimenti presso Porta Vesuvio ed Ercolano e alle Torri X e XI (foto gennaio 2024; modelli: Silvia Bertacchi).
Point cloud and overall model of the city walls and details near Vesuvio and Ercolano Gates and Towers X and XI (photos January 2024; models: Silvia Bertacchi).
 Tabella 1/ Dati relativi a due casi studio (area dardi: quadrato con lato 71 cm; area sfera: quadrato con lato 94,97 cm).
Table 1/ Data from two case studies (arrowhead area: square with a side of 71 cm; sphere area: square with a side of 94.97 cm).



the mechanical engineers will have carried out the reverse engineering processes based on the reality-based 3D survey and the virtual and prototype models extracted for this purpose.

The methodology

The authors intended to complete the data acquired and processed in January-February of this year (fig. 4) by promoting a second survey campaign aimed at the mentioned purposes. In order to include the impacts chosen as the emblem of the study, the detailed reconstruction of the extrados of the city walls was carried out in May-June 2024 by means of digital acquisition using time-of-flight and/or triangulation laser scanners, which, with the use of range-based active sensors, integrated the image-based photogrammetry. Due to the characteristics of the cavities, the processing to be carried out following the acquisition with passive sensors will only be partially automated. The integrated technologies used, which are now state of the art in the field of digital documentation of complex sites [Cipriani, Fantini, Bertacchi 2014; Canciani et al. 2017; Russo, Lanfranchi, Carnevali 2020; Caroti, Martínez-Espejo Zaragoza, Piemonte 2021; Atenni et al. 2022], allow for the rapid and contactless acquisition of the extrados surface of the section studied. In fact, the acquisition of morphological information using dense 3D point clouds should allow for a comprehensive reconstruction of the wall surface, as it is necessary to locate the exact

base delle mura e al livello del camminamento esterno sono state posizionate 45 stazioni di scansione¹ su rete di riferimento topografico. A distanza si è provveduto a restituire la superficie della cortina esterna del muro, sulla quale non è stato possibile apporre target per motivi di conservazione. Allo scopo si sono registrate nuvole di punti in un unico sistema locale di coordinate cartesiane (software Cyclone di Leica Geosystems), quindi estratte le orto-immagini (fig. 6). L'origine degli assi è stata riferita sull'estradosso di Porta Vesuvio (angolo esterno). Il lavoro, preciso e accurato, ha reso gli esiti misurabili in ogni punto desiderato. Effettuate le selezioni semantiche tra mura, torri e porte isolate rispetto ai camminamenti posti ai pendii a livello del suolo, alle strade, agli alberi e alla vegetazione o altre tipologie di elementi naturali e antropici, si è proceduto alle successive operazioni di *meshing* e di *editing*. Per i prospetti di interesse sono state effettuate campagne fotogrammetriche (tabella 1) per integrare il prospetto del modello con la *texture* del colore apparente derivato dalla mosaicatura di dataset fotogrammetrici *close-range*².

Due le versioni ottenute con risoluzione scalabile a seconda del livello di dettaglio richiesto: un modello ad alta risoluzione per scopi di ricerca e una versione ottimizzata adatta alla condivisione sulle piattaforme online e alla visualizzazione *real-time*, utilizzata per scopi dimostrativi o informativi, quale il collegamento tra fonti e modelli, in alcuni casi interoperabili, da caricare nel sistema condiviso (fig. 7).

Il modello ad alto dettaglio si è dimostrato un valido supporto per un primo screening ai fini della localizzazione e dell'osservazione degli impatti dei dardi, oggetto della nostra analisi specifica, documentati poi in maniera più dettagliata nei casi ritenuti più interessanti (fig. 8). Infatti, la caratterizzazione superficiale coadiuvata dalle texture consente sia di visualizzare la consistenza materica del muro e quindi distinguere i blocchi lapidei in calcare, tufo, rocce laviche, sia di localizzare e misurare la geometria delle cavità rintracciate.

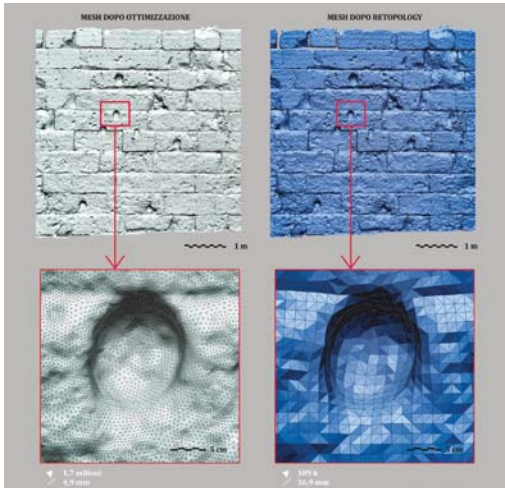
Il caso studio: rilievi a confronto

Il nostro interesse è ricaduto su alcuni gruppi di fori quadrangolari disposti a “ventaglio”

	Proietto sferico / Spherical projectile	Dardi / Arrows
Numero immagini / Number of images	21	84
Distanza media dal soggetto / Average distance from the subject	54 cm	53.1 cm
Risoluzione spaziale / Ground resolution/	0.152 mm/pix	0.0665 mm/pix
Risoluzione / Resolution	6000 x 4000	6000 x 4000
Lunghezza focale / Focal length	32 mm	35 mm
Area coperta / Covered area	9.02e+03 cm ²	5.15e+03 cm ²

7/ Modello 3D di porzione delle mura: versioni a confronto del modello ad alta definizione ottimizzato e di quello semplificato (numero di facce e lunghezza media del bordo) (modelli: Silvia Bertacchi).

3D model of a section of the walls: comparison versions of the optimised and simplified high resolution model (number of faces and average edge length) (models: Silvia Bertacchi).



(fig. 9). Le sagome, progressivamente ruotate di alcuni gradi rispetto ad un riferimento verticale, risultano disposte lungo analoghe traiettorie idealmente curve (fig. 10). Evidenti gli interrogativi che inducono a un rilievo maggiormente approfondito anche alla luce delle riflessioni effettuate dai più attenti studiosi di polemologia pompeiana [Russo, Russo 2005].

Si descrive pertanto uno dei casi presi in considerazione, e precisamente il gruppo di fori a ventaglio collocato a ovest della Torre X, nella

8/ Casi di studio presi in esame (foto: Sara Gonizzi Barsanti).
Case studies examined (photo: Sara Gonizzi Barsanti).

terza fila di conci lapidei, posto a un'altezza di circa 80 cm dal livello di calpestio attuale (fig. 11). Trattasi di 4 depressioni quadrangolari, molto simili tra loro: il lato medio è di circa 25 mm, la profondità massima di circa 20 mm (fig. 12).

Il rilievo di dettaglio è stato eseguito con sensori passivi ricorrendo a elaborazioni mediante tecniche fotogrammetriche basate su *Structure from Motion* (SfM) e *Image Matching* (IM).

Considerando la risoluzione necessaria, scelta in funzione delle caratteristiche specifiche del caso in esame, grazie all'uso di note tecniche di rilievo fotogrammetrico *close-range*, è stato possibile ottenere un modello accurato e scalato in virtù di misure certe posizionate e correttamente fotografate con l'ausilio di texture bilanciate, mediante inserimento nella scena di un target cromatico. Data la posizione favorevole non si sono presentate problematiche di acquisizione. Controllabili, infatti, gli ostacoli generalmente rappresentati dall'assenza di una adeguata nitidezza dell'immagine o di una adeguata profondità di campo nelle aree cave rispetto al piano medio della superficie oltre alla questione dell'illuminazione insufficiente delle cavità, ovviata mediante un illuminatore.

position and dimensions of the traces subject to the detailed survey. The inclination and the morphology of the depression created by the elements of interest within the walls studied are in fact decisive to this end.

Not only does the simultaneous acquisition of metric and chromatic information allow for a correct radiometric restitution of the surfaces, but it enables the realisation of elaborations capable of highlighting the characteristics considered indispensable for the analysis of ballistic impacts. The resulting elaborations are indicative of the simultaneous and multidisciplinary sharing of data by those involved in the documentation, knowledge and study processes under investigation (fig. 5).

The survey of small diameter cavities

Acquisition of the extrados of the stretch of the city walls

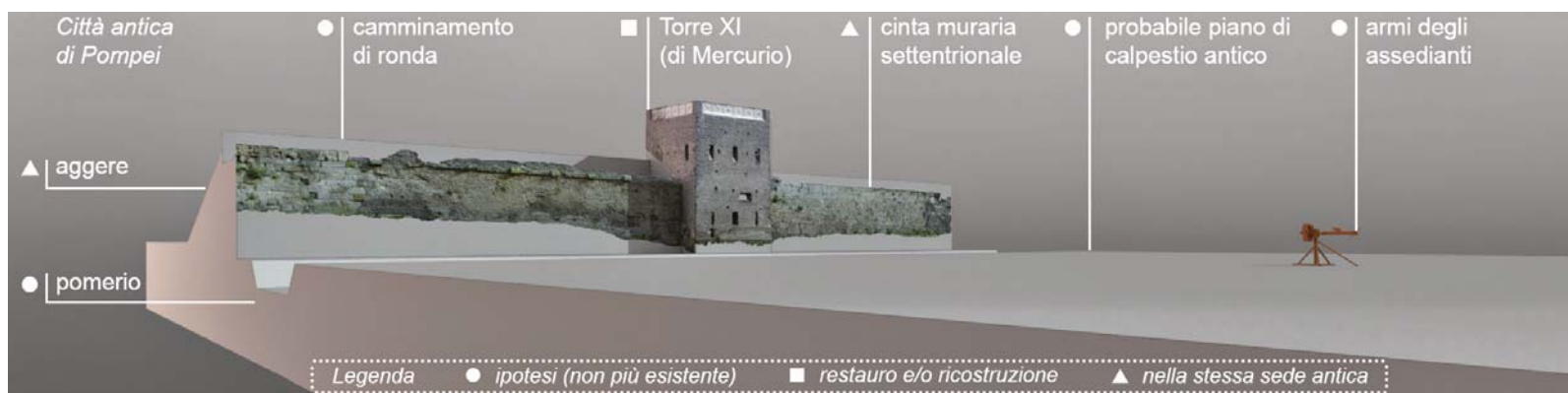
In January-February 2024, the northern walls were surveyed using a Terrestrial Laser Scanner (TLS) over a length of approximately 300 metres. The instrument used, a Leica ScanStation P30 with time-of-flight technology (ToF, laser class 1), guarantees 3D positional accuracy of each measurement (from 3 mm to 50 m) as well as a full field of view (360° horizontal, 290° vertical). A



9/ Ipotesi del probabile assetto delle mura e piano di calpestio antico desunto dall'altezza delle sortite laterali. Ricostruzione: Silvia Bertacchi sulla base degli studi di Flavio Russo relativi al posizionamento delle armi di assedio [Russo, Russo 2005, pp. 8-9].

Hypothesis of the probable layout of the walls and the ancient ground plan deduced from the height of the side sorties. Reconstruction: Silvia Bertacchi on the basis of studies on the positioning of siege weapons by Flavio Russo [Russo, Russo 2005, pp. 8-9].

10/ Rilievo fotogrammetrico di uno dei casi studio con dimensione dei segni di impatto (in mm) ed evidenziazione dell'angolo di rotazione delle tracce rispetto all'orizzontale (immagine: Silvia Bertacchi). *Photogrammetric survey of one of the case studies, showing the dimensions of the impact marks (in mm) and highlighting the angle of rotation of the traces in relation to the horizontal (image: Silvia Bertacchi).*



total of 45 scanning stations¹ on a topographic reference network, positioned at the base of the walls and at the level of the external walkway, enabled the data acquisition.

The outer surface of the city walls, on which it was not possible to place targets for conservation reasons, was documented without contact. For this purpose, point clouds were registered in a complete local Cartesian coordinate system (Leica Geosystems Cyclone software) and then the orthoimages were extracted (fig. 6). The origin of the axes was referenced to the extrados of Porta Vesuvio (outer corner). The precision and accuracy of the work made it possible to measure the results at any desired point.

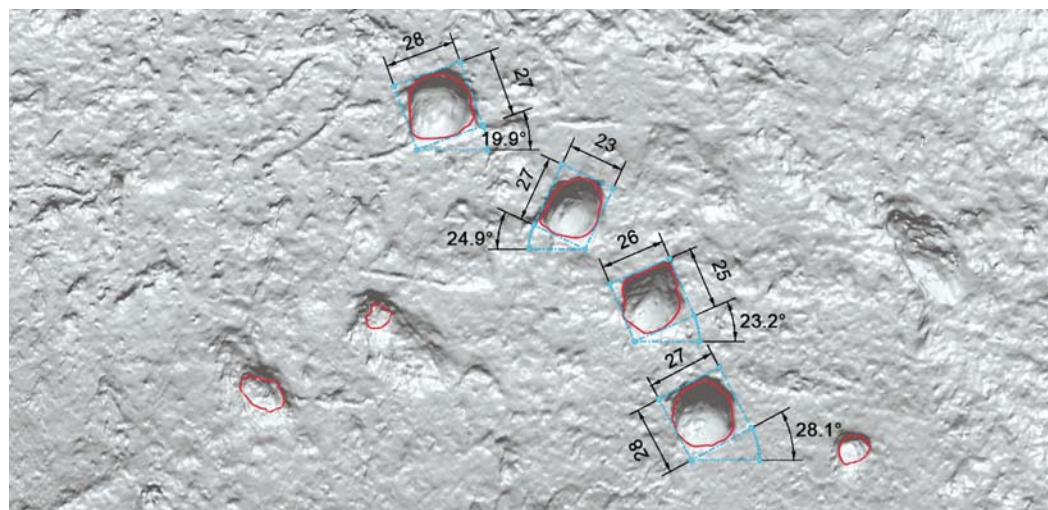
Once semantically divided between isolated walls, towers and gates in relation to ground level footpaths, roads, trees and vegetation and/or other types of natural and anthropic features, the subsequent meshing and editing operations were carried out. Photogrammetric campaigns were carried out for the elevations of interest (Table 1), with the aim of integrating the elevation of the model with the apparent colour texture derived from the mosaic of close-range photogrammetric data sets.²

Two versions were obtained with scalable resolution depending on the level of detail required: a high-resolution model for research purposes and an optimised version suitable for dissemination on online platforms and real-time visualisation, used for demonstration or information purposes, such as linking sources and models, in some cases interoperable, to be uploaded to the shared system (fig. 7).

The highly detailed model proved to be a valid support for an initial screening in order to locate

L'eccessiva profondità e/o mancanza di sufficiente illuminazione all'interno della cavità ha suggerito poi di verificare i dati ottenuti con quelli metricamente affidabili derivati da un secondo rilievo, meno speditivo in loco, ricorrendo all'impiego di sensori attivi. Infatti in caso di dati 3D relativi a oggetti di dimensioni medio-piccole basati su tecniche SfM e IM, diversi studi hanno già evidenziato i possibili problemi relativi ai molti parametri che potrebbero influenzare il risultato finale delle superfici poligonali generate con queste tecniche (ad esempio la messa a fuoco, la profondità di campo *DoF*, la sovrapposizione delle immagini, possibili fuori fuoco dovuti ai movimenti durante l'acquisizione, l'orientamento delle camere e i processi di *bundle adjustment* e di *matching* dell'algoritmo, ecc.) riducendo la previsione della qualità del risultato finale [Guidi et al. 2015]. Le tecniche passive, non es-

sendo intrinsecamente metriche, hanno come step critico la messa in scala del modello che può invece impattare l'accuratezza del modello 3D digitalizzato. Come prima osservazione, l'autorizzazione al solo rilievo *no contact*, con impossibilità di apporre target alla superficie muraria, ha indirizzato verso tale soluzione per i casi di indentazioni di minor dimensione o di maggiore profondità, per i quali anche minimi errori di scala potrebbero determinare conseguenze sulle interpretazioni geometriche successive. Pertanto oltre alla necessità di utilizzare *device* a proiezione di frange multiple, nei casi studio con esigenze particolari di mancanza di illuminazione e maggiore profondità e sottosquadri, difficilmente integrabili con le sole tecniche fotogrammetriche, si è ritenuto utile fare delle acquisizioni anche in questo caso al fine di ottenere dati con qualità metrologica affidabile.

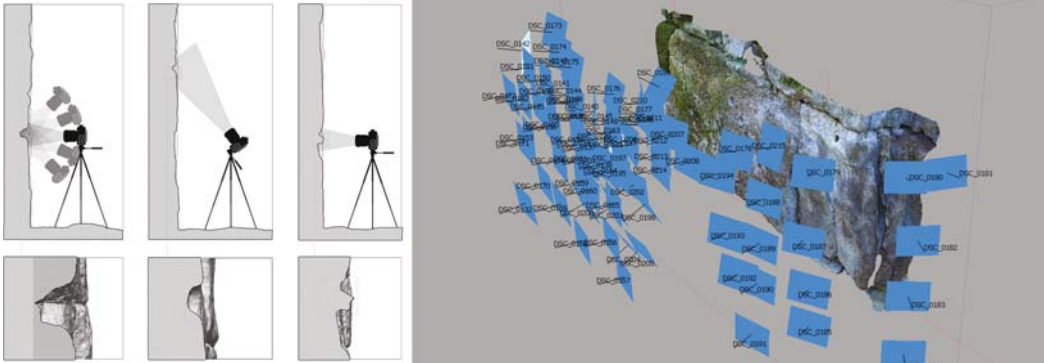


11/ Sistema di acquisizione dei casi studio mediante tecniche fotogrammetriche (foto: Sara Gonizzi Barsanti; elaborazioni e schemi: Silvia Bertacchi).

Case study of the acquisition system using photogrammetric techniques (photos: Sara Gonizzi Barsanti; drawings and diagrams: Silvia Bertacchi).

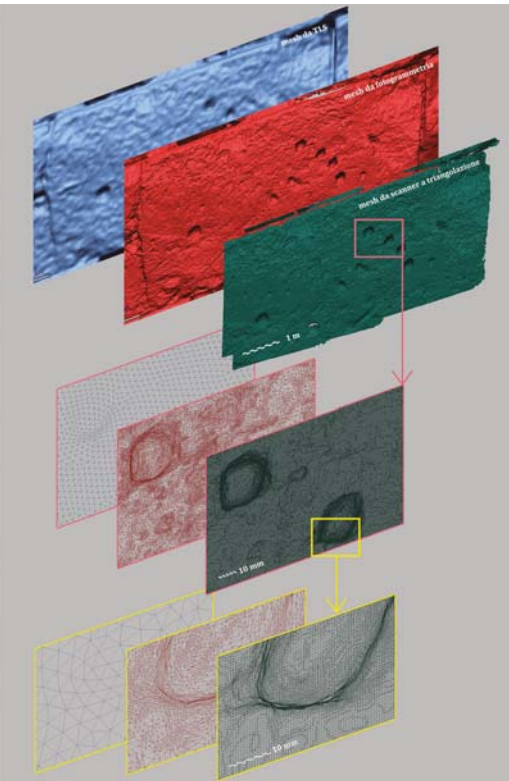
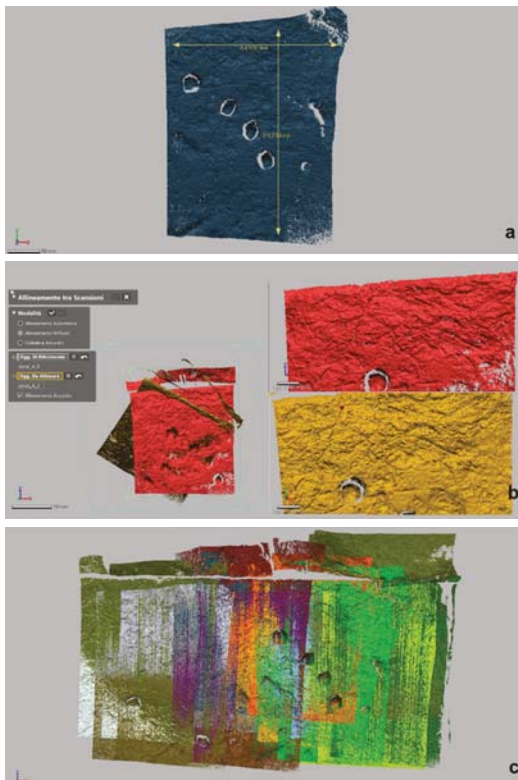
12/ A sinistra: range map singola della superficie (a) e allineamento fra due (b) per ottenere il risultato finale (c). A destra: modelli del caso studio a confronto (modello ed elaborazione: Silvia Bertacchi).

Left: Single range map of the surface (a) and alignment between two (b) to obtain the final result (c). Right: case study models compared (model and processing: Silvia Bertacchi).



Per completare l'acquisizione, nella stessa area è stata quindi effettuata la scansione laser con tecnologia a proiezione di frange multiple a risoluzione sub-millimetrica mediante uno scanner 3D Next Engine Desktop. Il dispositivo è stato posizionato alla distanza ottimale (intervallo di 52-54 cm dalla parete); dopo diverse prove di acquisizione con modalità differenti, si è proceduto consapevoli che la eventuale presenza dell'illuminazione ambientale diffusa avrebbe potuto costituire un elemento di disturbo durante la fase di cat-

tura per questo strumento ricorrentemente utilizzato negli interni. Sono state necessarie 15 range maps per coprire la superficie delle tracce con una sovrapposizione sufficiente a consentire la registrazione effettuata con il software Geomagic Design X: dopo aver importato tutte le scansioni acquisite (unità di misura in mm), sono state registrate utilizzando la modalità N-points, selezionando coppie di punti omologhi su elementi riconoscibili in due scansioni diverse e procedendo infine a un allineamento globale e accurato (fig. 12).



and observe arrow impacts, the subject of our specific analysis, which were then documented in greater detail for the most interesting cases (fig. 8). In fact, the characterisation of the surface by means of the textures makes it possible both to visualise the material consistency of the wall and thus to distinguish between the ashlar of limestone, tuff and lava, and to locate and measure the geometry of the cavities.

Case study: comparative surveys

We were particularly interested in some groups of the quadrangular traces arranged in a fan shape (fig. 9). The contours, progressively rotated by a few degrees in relation to a vertical reference, are arranged along similar ideally curved trajectories (fig. 10). Evident the questions that lead to a more in-depth survey, also in view of the considerations made by the most expert scholars of Pompeian poleology [Russo, Russo 2005].

Hence among the case studies taken into account, more precisely the group of fan-shaped holes described is located to the west of Tower X, in the third row of ashlar, at a height of about 80 cm from the current walking level (fig. 11). It is a series of 4 depressions with traces with quadrangular surfaces and very similar to each other: the average side is about 25 mm, the maximum depth about 20 mm (fig. 12).

The detailed survey was carried out with passive sensors, using photogrammetric techniques based on Structure from Motion (SfM) and Image Matching (IM). Considering the required resolution, chosen according to the specific features to be studied, it was possible to obtain an accurate model thanks to the use of well-known photogrammetric close-range surveying techniques, and scaled by means of specific measurements, correctly positioned and photographed with the aid of balanced textures, by inserting a chromatic target in the scene. Given the convenient position, there were no problems with acquisition. Obstacles were generally the lack of sufficient sharpness or depth of field in the cavities in relation to the mid-plane of the surface, and the problem of insufficient illumination of the holes, which was solved by means of an illuminator.

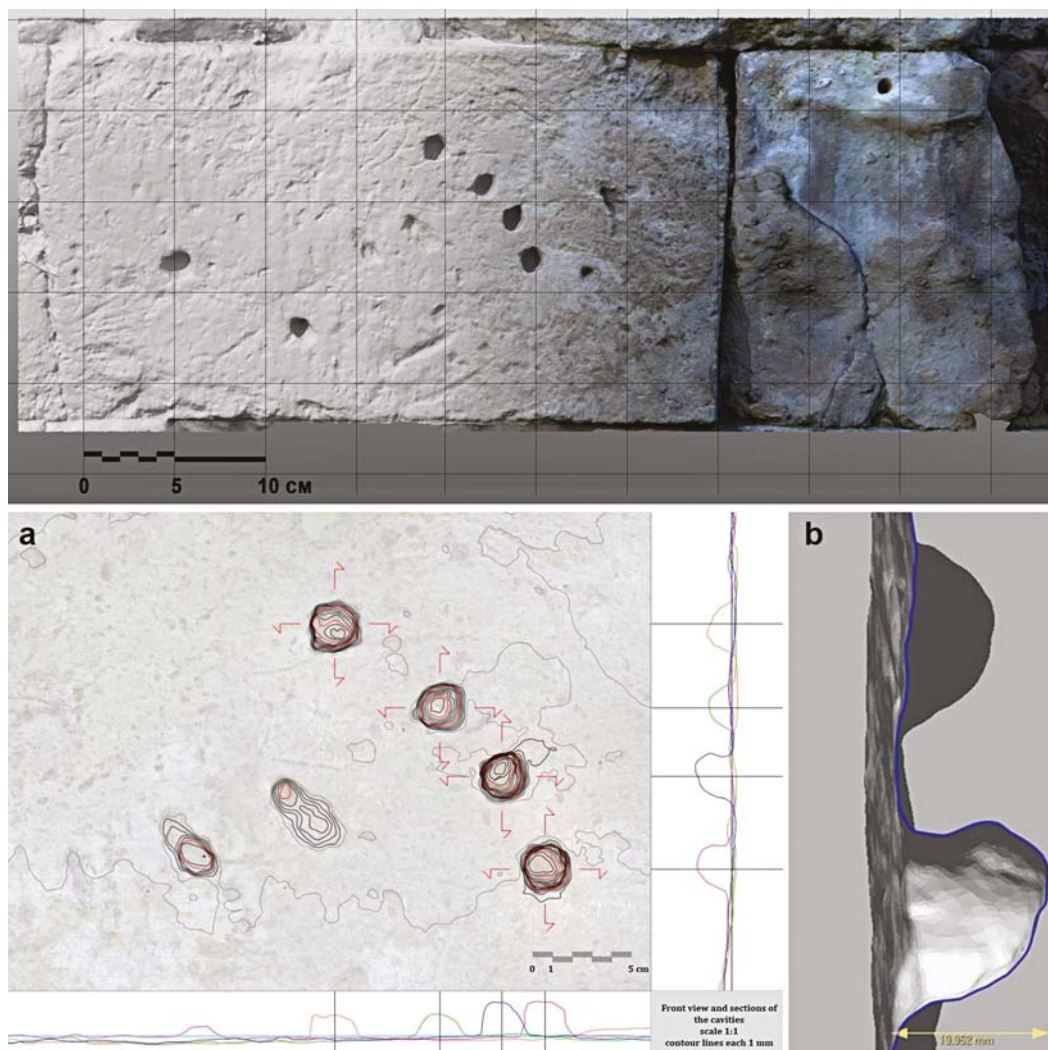
13/ In alto: rilievo fotogrammetrico di uno dei casi studio con segni di impatto; in basso: prospetto (a) e sezioni delle tracce (b) dal modello reality-based con curve di livello che migliorano la percezione delle depressioni (elaborazione: Silvia Bertacchi).

Top: Photogrammetric survey of one of the case studies with impact marks; bottom: elevation (a) and sections (b) of the tracks from the reality-based model with contour lines to improve the perception of depressions (elaboration: Silvia Bertacchi).

The excessive depth and/or the lack of sufficient illumination inside the cavity then prompted us to verify the obtained data against the metrically reliable ones obtained from a second, less rapid on-site survey, resorting to the use of active sensors. In fact, in the case of 3D data relating to medium-sized objects based on Structure from Motion (SfM) and Image Matching (IM) techniques, various studies have already highlighted the possible problems related to the many parameters that can influence the final result of polygonal surfaces generated by SfM/IM (to give some examples: focusing, Depth of Field (DoF), image overlap, possible blurring due to movements during the acquisition, camera orientation and bundle adjustment and matching processes of the algorithm, etc.), and thus reduce the prediction of the quality of the result [Guidi et al. 2015]. Passive techniques, which are not intrinsically metric, have as a critical step the scaling of the model, which can instead affect the accuracy of the digitised 3D model. As a first observation, the authorisation of only contactless measurement, with the impossibility of placing targets on the surface of the wall, led to this solution for cases of smaller size or greater depth, where even the slightest errors in scale could have consequences for subsequent geometric interpretations. For this reason, in addition to the need to use devices (multiple fringe projection) in cases with special requirements, such as lack of lighting, greater depth and indentations, which are difficult to integrate with photogrammetric techniques alone, it was considered useful also in this case to gather information in order to obtain reliable quality metrological data.

To complete the acquisition, a sub-millimetre resolution scanner was then used in the same area, a 3D Next Engine Desktop implementing multiple fringe projection technology. The device was positioned at the optimal distance (52-54 cm from the wall); after several acquisition trials in different modes, we proceeded with the awareness that the possible presence of diffuse ambient lighting could have been a disturbing element during the acquisition phase for this instrument, which is usually used indoors.

15 range maps were required to cover the surface of the traces with sufficient overlap to



Deduzioni

Al termine delle elaborazioni per il caso preso in esame disponiamo di tre diversi modelli digitali: 1. un modello poligonale di inquadramento generale derivato da una porzione di nuvola di punti acquisita mediante laser scanner terrestre, la cui mesh generale fa da riferimento spaziale per l'inserimento dei casi studio (la mesh di riferimento ha una lunghezza media dei bordi di 3,49 mm); 2. un modello poligonale derivato dalla campagna fotogrammetrica SfM/IM (la mesh di riferimento ha una lunghezza media dei bordi di 0,83 mm); 3. un modello poligonale ottenuto dalla messa a registro e fusione di più range map acquisite dallo scanner a proiezione

multipla di frange NextEngine (la mesh di riferimento ha una lunghezza media dei bordi di 0,41 mm).

In funzione degli obiettivi, si estraggono dalle mesh opportunamente allineate le curve di livello della superficie; piani di riferimento a intervalli predefiniti guidano la descrizione delle sezioni (ogni 10 mm) necessarie all'identificazione della geometria delle indentazioni (fig. 13). Grazie al processo di modellazione inversa effettuato sul modello ottenuto e verificato dallo studio metrico del calco digitale positivo, l'operatore è guidato alla costruzione di forme continue e dunque compatibili con la geometria sia pure molto irregolare, delle morfometrie 2D e/o 3D.

14/ Studio geometrico delle cavità per la ricostruzione plausibile dei dardi. a. curve di livello da piani paralleli/radiali; b. estrapolazione automatica di superfici dalla selezione di regioni per valutare l'asse dell'oggetto; c. possibile ricostruzione solida del dardo secondo misure note desunte da reperti antichi (elaborazione: Silvia Bertacchi).
Geometric study of cavities for plausible reconstruction of arrowheads. a. contour lines from parallel/radial planes; b. automatic extrapolation of surfaces from the region selection to assess the axis of the object; c. possible solid reconstruction

of the arrowhead according to known measurements from ancient finds (elaboration: Silvia Bertacchi).

Per le cavità di nostro interesse la ricostruzione non può essere condotta con sistemi automatici: il riconoscimento per regioni e l'estrapolazione di primitive geometriche, selezionate per parti considerate più significative, non si presta a descrivere l'irregolarità della depressione. A differenza delle forme sferoidali impiegate per il rilievo delle cavità imputate a proiettili sferici, le indentazioni vagamente piramidali presentano maggiori difficoltà, imponendo un'elaborazione manuale da verificare. Lo studio dei vari fori tracciati nei conci è un punto di partenza per

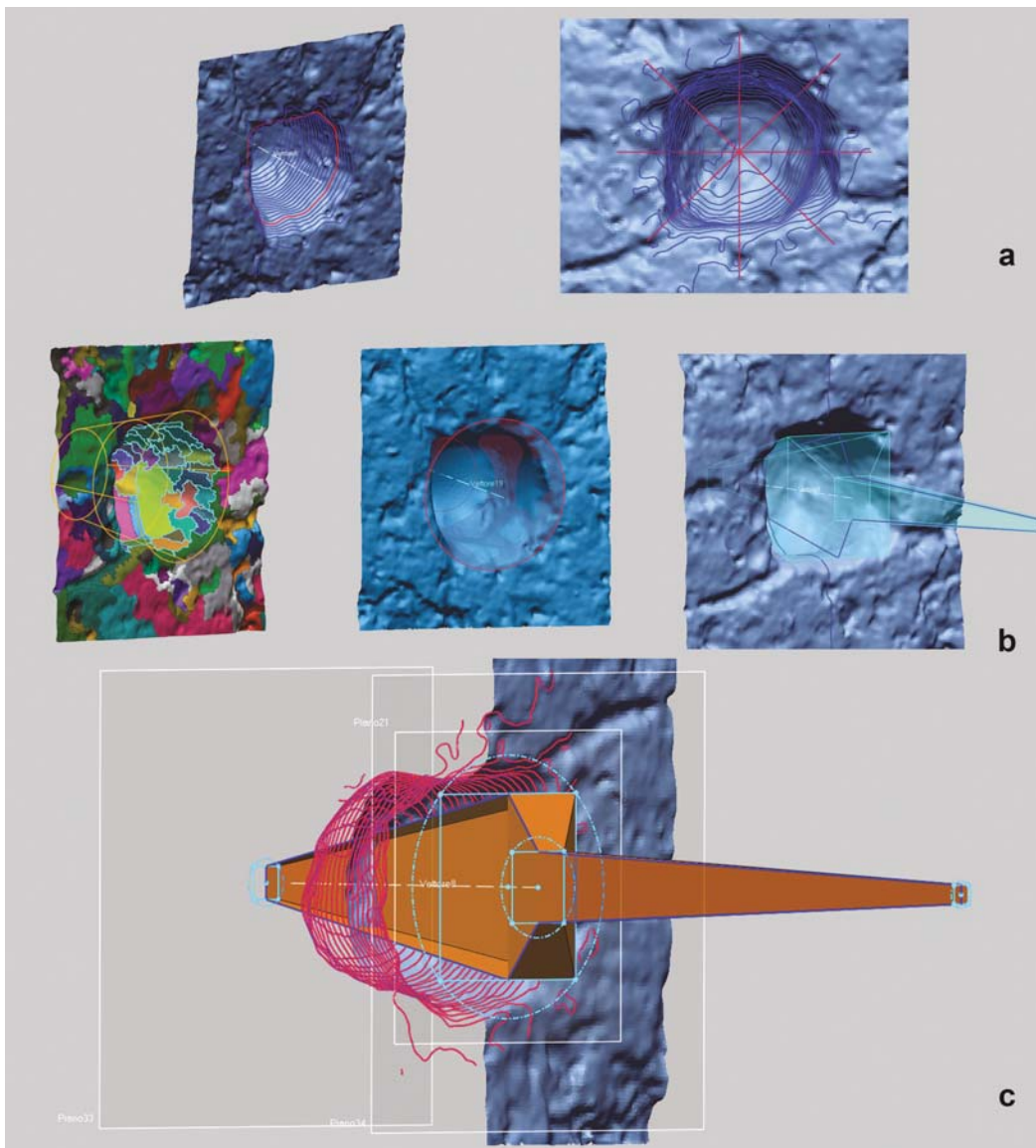
possibili considerazioni sull'argomento. Auspicabile la documentazione digitale del tipo di proietto, di cui sono conservati ancora alcuni esemplari metallici risalenti al periodo e identificati dagli archeologi come dardi di balista (ad esempio al British Museum, Londra). Per verificare la deviazione tra i modelli di punti immagini (reali ma discreti) e i modelli geometrici (ideali ma continui) si è ricorso come di consueto a una serie di *range map* idonee. Sono state poi pianificate le attività di documentazione di dettaglio per l'implementazione del rilievo superficiale di

allow the registration using Geomagic Design X software: after importing all the acquired scans (units in mm), they were registered using the N-points mode by selecting pairs of homologous points on recognisable features in two different scans and finally yielded a global and accurate alignment (fig. 12).

Deductions

At the end of the case study processing, we have three different digital models: 1. a general reference polygon model derived from the terrestrial laser scanner point cloud, whose general mesh serves as a spatial reference for the location of the case studies (the reference mesh has an average edge length of 3.49 mm); 2. a polygonal model derived from the SfM/IMM photogrammetric campaign (the reference mesh has an average edge length of 0.83 mm); 3. a polygonal model obtained by registering and merging multiple area maps acquired by the NextEngine multiple fringe projection scanner (the reference mesh has an average edge length of 0.41 mm).

Depending on the objectives, the contour lines of the surface are extracted from the aligned meshes; reference planes at predefined intervals provide the sections (every 10 mm) necessary to describe the geometry of the indentations (fig. 13). Thanks to the inverse modelling process carried out on the model obtained and verified by the metric study of the positive digital cast, the operator is guided towards the construction of continuous shapes that are thus compatible with the geometry, albeit very irregular, of the 2D and/or 3D morphometry. For the cavities of our interest, the reconstruction cannot be carried out with automatic systems: the recognition by regions and the extrapolation of geometric primitives, selected for the parts considered most significant, are not suitable for describing the irregularity of the depression. Unlike the spheroidal shapes used for the study of cavities attributed to spherical projectiles, vaguely pyramidal indentations present greater difficulties and require manual processing for verification. The study of the various holes traced in the stone blocks is a starting point for possible considerations on this subject. Digital documentation of the projectile type is desirable, as some metal finds from the period have survived and have been identified by



archaeologists as ballista darts (e.g. British Museum, London). A series of suitable range maps were used, as usual, to verify the deviation between the image point models (real but discrete) and the geometric models (ideal but continuous). The detailed documentation activities for the implementation of the surface survey of these particular impact craters were then planned: in addition to the actual shape and size of the contours and the depth of penetration, the angle of incidence of the impacts themselves in relation to a horizontal reference must be taken into account, thus the height of the traces not only as an object but globally. In particular, the polygonal mesh available records the conformation of the surface and its state of conservation at the time of the survey. Thus, when collecting data on the actual surface, the presence of patina, dust, vegetal elements and different layers due to the external and north-facing position of the city walls, which cannot be removed, may be documented, in addition to the possibility that the stone, by its very nature, may have been affected by the possible fall of material due to the detachment of more or less extensive portions, and may have been eroded by atmospheric agents since its rediscovery. The latter aspect, i.e. the specific study of the materials, will be the specific subject of subsequent analyses of the terminal ballistics of elastic weapons. However, the aspects relating to the possible deterioration of the surface of the walls have been assessed, but are considered negligible at this stage, also bearing in mind that the effects of erosion and surface alteration are concentrated in relatively short periods of time in relation to the life of the walls, being covered by the eruption a century after the siege and unearthed just over a century ago. It follows that the current configuration is not the same as that after the siege of 89 BC; the morphological analysis, far from being able to give an exact shape, can lead the scholar to a plausible hypothesis that is within a dimensional range compatible with the size of the cavity. It is therefore assumed that the impacting object, which caused the modification of the surface of the material, especially in the case of significant depths, must be contained within the hole itself. With this assumption, several approaches to the study of the morphology of the impacting

questi particolari crateri da impatto: alla vera forma e grandezza dei contorni e alla profondità di penetrazione, occorre considerare l'angolo di incidenza dei colpi stessi rispetto a un riferimento orizzontale, quindi l'altezza delle tracce non solo ad oggetto ma globali. In particolare, la mesh poligonale disponibile registra la conformazione della superficie e il suo stato di conservazione al momento del rilievo. Durante la cattura sulla superficie reale possono quindi essere presenti patine, polveri, elementi vegetali e incrostazioni varie dovute alla posizione esterna e direzionata a nord del manufatto, che non è possibile asportare, oltre alla possibilità che la pietra per sua stessa costituzione sia stata interessata da possibili cadute del materiale a causa del distacco di porzioni più o meno estese e sia stata erosa dagli agenti atmosferici dal momento della sua riscoperta. Aspetti certamente da chiarire con le indagini che seguiranno. Gli aspetti relativi al possibile degrado della superficie muraria sono stati valutati ma reputati in questa fase trascurabili, considerando anche che gli effetti erosivi e di alterazione delle superficie si concentrano solo in periodi relativamente brevi rispetto alla vita delle mura. La configurazione attuale non è comunque la medesima di quella in seguito all'assedio dell'89 a.C.; l'analisi morfologica, lungi dal poter restituire una forma esatta, può tuttavia indirizzare lo studioso verso un'ipotesi plausibile, che sia inclusa in un range dimensionale compatibile con la dimensione dell'indentazione; l'oggetto che ha impattato causando l'alterazione della superficie del materiale, in special modo in caso di profondità evidenti, dovrà pertanto essere contenibile nel foro stesso. Con questo presupposto, sono possibili più approcci alla ricerca della morfologia dell'oggetto impattante, potendo utilizzare strumenti semi-automatici o operazioni affidate alla discrezionalità dell'operatore, e tenendo in considerazione proporzioni e misure degli esempi di punte metalliche ancora conservate nei musei, che solitamente presentano punta con sezione quadrangolare (sicuramente non uniforme a causa della modalità non standardizzate di fabbricazione dell'epoca) e diverse tipologie di attacco all'asta di legno (fig. 14). Il procedimento in questa fase mira ovviamente a mostrare più modalità di studio della

cavità, con soluzioni molteplici e non univoche; l'approccio di studio costituisce pertanto solo una prima ipotesi al vaglio delle analisi approfondite che verranno eseguite dagli ingegneri meccanici.

Discussione

L'accuratezza nella rappresentazione e visualizzazione delle forme acquisite attraverso tecniche di rilievo effettuato con l'impiego di sensori attivi/passivi è al centro degli studi che oggi si impongono nel panorama internazionale del settore scientifico di appartenenza. La corrispondenza tra la mesh poligonale, derivata dalla forma discreta dell'oggetto fisico, e le caratteristiche geometriche che la approssimano per consentire la manipolazione matematica del modello stesso, ha mostrato, alle diverse scale di elaborazione, i limiti delle procedure speditive. Resta infatti aperto il dibattito sulla "fedeltà" del cosiddetto gemello digitale, considerate le incertezze che caratterizzano sia l'integrazione delle aree da occludere, sia le alterazioni formali gestite via software. Anche la verifica matematica delle soluzioni ibride (manuali e automatiche) mostra alcuni problemi di mappatura, con errori di sovrapposizione e attribuzione delle texture che si riflettono nella parametrizzazione dei modelli, anche se morfologicamente e metricamente coerenti.

Ciò non toglie che le stesse tecniche *image* e *range-based* abbiano permesso di superare i limiti del disegno o dell'immagine fotografica, configurando un modello 3D esplorabile in ogni direzione e dettaglio, prototipabile all'occorrenza. Le applicazioni hanno unificato e compresso in un'unica filiera le fasi, in passato distinte. Le modalità sono ricadute sulla ricerca scientifica, ma anche sui modi in cui divulgare gli esiti per educare e coinvolgere il pubblico variamente erudito.

Mappe salienti e palinsesti di dati indirizzano verso un approccio collaborativo tra fruitore ed eco-sistema informativo. Le applicazioni web devono essere quindi compatibili con le manipolazioni topologiche e parametriche. Un'esigenza da conciliare con la necessità di mantenere il rigore metrico-cromatico garantito dalle tecniche di rilievo *reality-based*. Sotto questo aspetto il caso studio coglie alcune delle esi-

genze, proponendo e sollecitando una più ampia riflessione sulle tendenze di ricerca in atto. Si indaga sull'attendibilità certificata degli esiti protocollati, l'ottimizzazione dei modelli, le soluzioni *quad-dominant remeshing (retopology)*, i metodi di *reverse modelling*. Tuttavia, il ruolo di uno spazio indipendente per l'elaborazione di pensieri originali e trasversali guidati dalle acquisizioni e orientati dalla loro elaborazione grafica non si esaurisce con queste fasi. Dalle pieghe del processo derivano interrogativi e ipotesi di cui si avvale il valore euristico della rappresentazione, origine e coordinamento di apporti multi e transdisciplinari.

Obiettivi raggiunti e in divenire

Nel confermare, in generale, il ruolo dirimente delle tecnologie speditive, la filiera di applicativi per nuvole di punti, elaborate nella circostanza particolare, ricostruisce calchi virtuali, positivi e negativi, dei crateri da impatto di piccola dimensione e singolare conformazione geometrica. Laser scanner terrestri (TLS), fotogrammetria e tecniche SfM e IM anticipano le fasi di *reverse modelling*, portando il processo a registrare la vera forma e grandezza dei contorni, la profondità di penetrazione, l'angolo d'incidenza dei colpi stessi registrati rispetto a un riferimento orizzontale, quindi l'altezza delle tracce (a oggetto e globali) inserite nella superficie della tratta a nord. La continuità del contesto contribuisce alle necessarie riflessioni polemologiche che si dovranno trarre per ottemperare agli scopi generali delle questioni messe a tema.

Le ricostruzioni tridimensionali ad alto dettaglio, riferite a mesh di diversa lunghezza media dei bordi, convertite con la dovuta attenzione in modelli numerici indeformabili e all'occorrenza stampabili, forniscono una documentazione completa e scientificamente attendibile. Un protocollo adeguato alla loro classificazione permetterà di inserire i dati a origine di un flusso di lavoro condiviso e interoperabile. I calchi virtuali, estranei al degrado rispetto a quelli di tipo tradizionale (fessurazioni, deformazioni, ritiri), confrontabili con la panoramica di quanto in situ, sono adeguati a simulare il comportamento meccanico-dinamico delle armi che li hanno generati. Nell'assoluta certezza che si tratti di armi elastiche

per le vicissitudini del luogo, il Dipartimento di Meccanica del PoliMI si sta interessando di quantificare l'esatta energia cinetica residua, ossia la velocità di lancio iniziale del proietto, i cui risultati indirizzeranno i processi di *reverse modelling*. Visualizzazioni in *real-time rendering* forniranno il mezzo necessario alla verifica dei parametri di tiro sui quali rimodellare le componenti di lancia dardi e lancia sassi. Il percorso permette di sviluppare conoscenze e competenze complete ossia di indirizzare e verificare, sulla base di queste testimonianze uniche al mondo, la potenza delle armi elastiche delle quali non disponiamo che di parti in cattivo stato di conservazione.

Tra le ipotesi prospettate dagli autori, e sottoposte ai colleghi meccanici, vi è quella che i gruppi di tracce a ventaglio siano prova dell'impiego del *polybolos*. Questo congegno si distingue per il criterio informatore volto a evitare le operazioni di ricarica dopo ogni singolo lancio [Diels, Schramm 1919].

La maggiore consapevolezza derivata dal palinsesto dei dati articolati attraverso il linguaggio digitale favorirà l'accreditamento dell'ipotesi e la divulgazione della storia dell'assedio sillano del 89 a.C. Conseguenti politiche di valorizzazione e tutela offriranno nuova vitalità dell'eccezionale *Cornelia Veneria Pompeianorum* [Rossi 2024].

Gli autori desiderano esprimere la loro gratitudine ai dr.ri Gabriel Zuchriegel, Direttore dell'Area Archeologica di Pompei, Giuseppe Scarpati, Responsabile dell'Area Studi e Ricerche, Valeria Amoretti responsabile del Lab. Ric. Applicate. Le attività di ricerca sono state in parte finanziate dal progetto MUR-PRIN 2022 'SCORPiò-NIDI'. Claudio Formicola è supportato da una borsa di studio cofinanziata dal DM 118/23 PNRR (M4C1 - Inv. 3.4 TDA).

1. Velocità di scansione fino a un milione di punti al secondo; risoluzione e portata media 120 m (portata accettata 50 m).

2. Allo scopo è stata utilizzata una Nikon D5200 (sensore CMOS APS-C da 24 Mpix, e obiettivo AF-S NIKKOR 18-55 mm a lunghezza focale $f = 35$ mm), mentre per le acquisizioni di dettaglio sono state utilizzate apparecchi Canon EOS 60D APS-C, EFS 60mm $f/2.8$ Macro USM e Canon EOS 5D Mark III full frame, con obiettivi 20 mm e 16-35 mm.

object are possible, using semi-automatic tools or operations based on the discretion of the operator, and taking into account the proportions and dimensions of the examples of metal arrowheads still preserved in museums, which usually have a quadrangular shape (certainly not uniform due to the non-standardised manufacturing methods of the time) and different types of fastenings to the wooden shaft (fig. 14). Obviously, at this stage, the procedure aims at showing is to show several different ways of studying the cavity, the solutions to which are multiple and not unambiguous; therefore, the study approach represents only an initial hypothesis to be studied in depth by the mechanical engineers.

Discussion

The accuracy of the representation and visualisation of shapes obtained by surveying techniques using active/passive sensors is at the centre of studies that are now dominating the international scene in the relevant scientific field. The correspondence between the polygonal mesh, derived from the discrete shape of the physical object, and the geometric characteristics that approximate it to allow the mathematical manipulation of the model, has shown the limits of fast procedures at different processing scales. Indeed, the debate on the 'reliability' of the so-called digital twin is a hot issue, given the uncertainties that characterise both the integration of the areas to be occluded, and the formal modifications managed by software. Even the mathematical verification of the hybrid solutions (manual and automatic) shows some mapping problems, with overlaps and texture attribution errors reflected in the parameterisation of the models, even if they are morphologically and metrically consistent. This does not exclude the possibility that image and range-based techniques have made it possible to overcome the limitations of the drawing or photographic image by configuring a 3D model that can be explored in every direction and detail, and even prototyped if necessary. These applications have merged the previously distinct phases into a single workflow. The methods used have had an impact on scientific research, on the ways in which the results can be disseminated in order to educate and captivate the general public of non-experts.

Salient maps and palimpsest of information call for a collaborative approach between the user and the information ecosystem. Therefore, web applications must be compatible with topological and parametric manipulations, so that high-resolution models must be heavily decimated. A requirement that must be balanced with the need to maintain the metric-chromatic reliability provided by reality-based surveying techniques. In this respect the case study addresses some of these needs by suggesting and stimulating a wider reflection on current research trends. The certified reliability of documented results, model optimisation, quad-dominant re-meshing (retopology) solutions and reverse modelling methods are examined. However, the role of an independent space for the elaboration of original, transversal thoughts, guided by the results and oriented by their graphical elaboration, does not end with these steps. Questions and hypotheses arise from the evolution of the process, which takes advantage of the heuristic value of representation, the origin and coordination of multi – and transdisciplinary contributions.

Achieved and ongoing objectives

While generally confirming the leading role of time-saving technologies, the workflow of point cloud applications, elaborated in specific circumstances, reconstructs virtual casts, positive and negative, of impact craters of small size and singular geometric conformation. Terrestrial Laser Scanners (TLS), Photogrammetry and Structure from Motion (SfM) and Image Matching techniques, prior to the reverse modelling phases, lead the process to record the real shape and size of the contours, the depth of penetration, the angle of incidence

of the impacts themselves recorded with respect to a horizontal reference, then the height of the traces (local and global) located in the surface of the northern section. The continuity of the context contributes to the necessary polemological reflections deduced in order to meet the general objectives of the issues aim of the study.

Highly detailed three-dimensional reconstructions based on meshes of different average edge lengths, – carefully converted into non-deformable numerical models that can be printed if necessary –, provide complete and scientifically reliable documentation. An appropriate protocol for their classification will allow the data to be used in a common and interoperable workflow. Virtual casts, which are not subject to the degradation of traditional casts (cracks, deformation, shrinkage), and which are comparable to an overview of what is on location, are suitable for simulating the mechanical-dynamic behaviour of the weapons that produced them. Knowing with certainty that these are elastic weapons, due to the unique vicissitudes of the site, the Department of Mechanics at PoliMI is working to quantify the exact residual kinetic energy, i.e. the initial launch velocity of the projectile, the results of which will guide the reverse modelling processes. Real-time rendering visualisations will provide the necessary means to verify the launch parameters on the basis of which the components of arrow launchers and stone balls launchers will be redesigned. The path will allow for the development of comprehensive knowledge and skills, that are required to address and verify (on the basis of the unique evidence in the world represented by the cavities found in ancient Pompeii) the power

of elastic weapons, of which we have only some remains in a poor state of preservation.

One of the hypotheses formulated by the authors and presented to their colleagues, expert in mechanical engineering, is that the fan-shaped groups of traces are evidence of the use of polybolos. This device is characterised by a system designed to avoid reloading after each shot [Diels, Schramm 1919].

The increased awareness resulting from the palimpsest of data articulated through the digital language will promote the accreditation of the hypothesis and the dissemination of the history of the Sullan siege of 89 BC. A consistent policy of enhancement and protection will provide new regeneration to the exceptional Cornelia Venerea Pompeianorum [Rossi 2024].

Translation by the authors, revised by Giuseppina Nuzzo, reader with the Department of Engineering of the Università della Campania 'Luigi Vanvitelli'

The authors would like to thank Dr. Gabriel Zuchtriegel, Director of the Archaeological Area of Pompeii, Giuseppe Scarpati, Head of the Study and Research Area, Valeria Amoretti in charge of the Applied Research laboratory. The research activities are partially founded by the MUR-PRIN 2022 'SCORPiò-NIDI' project. Claudio Formicola is supported by a scholarship grant co-financed by DM 118/23 PNRR (M4C1 - Inv. 3.4 TDA).

1. Scan speed up to one million points per second; resolution and average range 120 m (accepted range 50 m).

2. A Nikon D5200 (24Mpix APS-C CMOS sensor, and AF-S NIKKOR 18-55mm lens with $f=35\text{mm}$ focal length) was used for this purpose, while Canon EOS 60D APS-C, EFS 60mm $f2.8$ Macro USM and Canon EOS 5D Mark III full frame, with 20mm and 16-35mm lenses, were used for the detail captures.

References

- Anniboletti 2016 = Laura Anniboletti. Le fasi delle fortificazioni di Pompei. Stato della conoscenza. *Siris*, 15(2015), 2016, pp. 49-70. ISSN: 1824-8659. <<http://dx.doi.org/10.4475/782>>.
- Attenni et al. 2022 = Martina Attenni, Carlo Bianchini, Carlo Inglese, Alfonso Ippolito. Aspetti metodologici e procedurali nel rilevamento integrato della Galleria Borghese. In Carlo Bianchini, Carlo Inglese, Alfonso Ippolito, Agnese Murrari (a cura di). *Il rilievo complesso di Galleria Borghese / The complex integrated survey of the Galleria Borghese*. Roma: Gangemi Editore, 2022, pp. 61-75. ISBN: 9788849241792.
- Bertacchi, Gonizzi, Rossi 2024 = Silvia Bertacchi, Sara Gonizzi Barsanti, Adriana Rossi. Geometry of Wall Degradation: Measuring and Visualising Impact Craters in the Northern Walls of Pompeii. *SCIRES-IT - SCientific RESearch and Information Technology*, 14(1), 2024, pp. 111-128. ISSN: 2239-4303. <<http://dx.doi.org/10.2423/i22394303v14n1p111>>.
- Casseta, Costantino 2008 = Roberto Casseta, Claudia Costantino. Vivere sulle mura: il caso dell'Insula Occidentalis di Pompei. In Maria Paola Guidobaldi, Pier Giovanni Guzzo (a cura di). *Nuove ricerche archeologiche nell'area vesuviana (Scavi 2003-2007). Atti del Convegno Internazionale, Roma 1-3 febbraio 2007*. Cisterna di Latina (RM): L'Erma di Bretschneider, Studi della Soprintendenza Archeologica di Pompei, 25, 2008, pp. 197-208. ISBN: 9788882654795.

-
- Canciani et al. 2017 = Marco Canciani, Manuela Michelini, Mauro Saccone, Alice Scortecci, Michele Zampilli. Le Mura Aureliane: dal rilievo 3D al GIS. In *Le Mura Aureliane nella storia di Roma. 1. Da Aureliano ad Onorio. Atti del primo convegno (Roma, 25 marzo 2015)*. Roma: Edizioni Roma TrE-Press, 2017, pp. 193-207. ISBN: 9788894885385.
 - Caroti, Martínez-Espejo Zaragoza, Piemonte 2021 = Gabriella Caroti, Isabel Martínez-Espejo Zaragoza, Andrea Piemonte. The use of image and laser scanner survey archives for cultural heritage 3D modelling and change analysis. *Acta IMEKO*, 10(1), 2021, Article 15, pp. 114-121. <https://doi.org/10.21014/acta_imeko.v10i1.847>.
 - Cipriani, Fantini, Bertacchi 2014 = Luca Cipriani, Filippo Fantini, Silvia Bertacchi. Le mura urbane di Ravenna: procedure rapide ed affidabili per la realizzazione di modelli digitali 3D per la documentazione e la valorizzazione. In Stefano Bertocci, Giovanni Minutoli (a cura di). *ReUSO, la cultura del restauro e della valorizzazione, temi e problemi per un percorso internazionale di conoscenza* (Firenze, 6-8 novembre 2014). Firenze: ALINEA, 2014, vol. 1, pp. 291-298. ISBN: 9788860558299.
 - Diels, Schramm 1919 = Hermann Diels, Erwin Schramm (eds.). *Philons Belopoiika. Viertes Buch der Mechanik*. Berlin: Verlag der Akademie der Wissenschaften in Kommission bei G. Reimer, 1919.
 - García y García 2006 = Laurentino García y García. *Danni di guerra a Pompei. Una dolorosa vicenda quasi dimenticata. Con numerose notizie sul «Museo Pompeiano» distrutto nel 1943*. Cisterna di Latina (RM): L'Erma di Bretschneider, Studi della Soprintendenza archeologica di Pompei, 15, 2006. ISBN: 8882653692.
 - Garlan 1972 = Yvon Garlan. *La guerre dans l'antiquité*. Paris: Fernand Nathan, 1972 [trad. it. *Guerra e società nel mondo antico*. Imola: Il Mulino, 1985. ISBN: 8815008845].
 - Guidi et al. 2015. Gabriele Guidi, Laura Loredana Micoli, Sara Gonizzi Barsanti, Matthew Brennan, Bernard Frischer. Image-based 3D capture of cultural heritage artifacts an experimental study about 3D data quality. *2015 Digital Heritage* (Granada, Spain, 28 September - 02 October 2015), 2015, vol. 2, pp. 321-324. <<https://doi.org/10.1109/DigitalHeritage.2015.7419514>>.
 - Jacobelli 2001 = Luciana Jacobelli. Pompei fuori le mura: note sulla gestione e l'organizzazione dello spazio pubblico e privato. In Felice Senatore (a cura di). *Pompei tra Sorrento e Sarno. Atti del terzo e quarto ciclo di conferenze di geologia, storia e archeologia* (Pompei, gennaio 1999-maggio 2000). Roma: Bardi Editore, 2001, pp. 29-61. ISBN: 978-8885699892.
 - Maiuri 1929 = Amedeo Maiuri. Studi e ricerche sulla fortificazione di Pompei. *Monumenti antichi pubblicati per cura della R. Accademia Nazionale dei Lincei*, 1929 (VII), XXXIII, pp. 114-286.
 - Maiuri 1943 = Amedeo Maiuri. Isolamento della cinta murale tra la Porta Vesuvio e la Porta Ercolano. *Notizie degli scavi di antichità*, 1943, pp. 275-314.
 - Maiuri 1960 = Amedeo Maiuri. Pompei. Sterro dei cumuli e isolamento della cinta murale. Contribuito all'urbanistica della città dissepolta. *Bollettino d'Arte del Ministero della Pubblica Istruzione*, 1960, voll. I-II, gennaio-giugno, pp. 166-179.
 - Marini 1836 = Luigi Marini. *L'architettura di Vitruvio esposta in italiana favella ed illustrata con commenti e tavole centoquaranta in tre volumi da Luigi Marini*. Roma: dai tipi appostamente preparati nel suo domicilio, 1836, vol. 1.
 - Marsden 1971 = Eric William Marsden. *Greek and roman artillery, technical treatises*. New York: Oxford University Press, 1971. ISBN: 9780198142690.
 - Mazois 1824 = Charles François Mazois. *Les ruines de Pompéi*. Paris: Imprimerie et librairie de Firmin Didot, 1824, vol. 1 [ristampa: Maioli Valerio 2003].
 - Picone 2011 = Renata Picone. *Pompei accessibile. Linee guida per una fruizione ampliata del sito archeologico*. Progetto di ricerca finanziato dal Polo delle Scienze e delle Tecnologie, 2011.
 - Redfern 2009 = Rebecca C. Redfern. Does cranial trauma provide evidence for projectile weaponry in Late Iron Age Dorset? *Oxford Journal of Archaeology*, 28(4), 2009, pp. 399-424. ISSN: 1468-0092. <<https://doi.org/10.1111/j.1468-0092.2009.00335.x>>.
 - Rossi 2024 = Adriana Rossi. The Survey of the Ballistic Imprints for a Renewed Image of Unearthed Pompeii. *Nexus Network Journal*, 26, 2024, pp. 307-324. ISSN: 1522-4600. <<https://doi.org/10.1007/s00004-023-00762-9>>.
 - Rossi, Gonizzi, Bertacchi 2024 = Adriana Rossi, Sara Gonizzi Barsanti, Silvia Bertacchi. Naturali o antropiche? Misura e visualizzazione delle cavità murarie in cerchie urbane / Natural or anthropic? Measurement and visualisation of wall cavities in city walls. In Francesco Bergamo, Antonio Calandriello, Massimiliano Ciammaichella, Isabella Friso, Fabrizio Gay, Gabriella Liva, Cosimo Monteleone (a cura di). *Misura/Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione / Measure/Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, 2024, pp. 1957-1978. <<https://doi.org/10.3280/oa-1180-c569>>.
 - Rossi, Russo, Russo 2009 = Cesare Rossi, Flavio Russo, Ferruccio Russo. *Ancient engineers' inventions. Precursors of the present. History of mechanism and machine science*. Springer, 2009, vol. 8. ISBN: 9789048122523.
 - Russo 2014 = Valentina Russo. Intorno all'antico. Conservazione e fruizione delle mura di Pompei. In Renata Picone (a cura di). *Pompei accessibile. Per una fruizione ampliata del sito archeologico*. Roma: L'Erma di Bretschneider, 2014, 8, pp. 105-117. ISBN: 9788891306722.
 - Russo 2004 = Flavio Russo. 2004. *L'artiglieria delle legioni romane. Le macchine da guerra che resero invincibile l'esercito romano*. Roma: Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 2004. ISBN: 9788824034449.
 - Russo, Lanfranchi, Carnevali 2020 = Michele Russo, Fabio Lanfranchi, Laura Carnevali. The ancient Roman gate along Appian way: San Sebastiano Gate. In Navarro Palazón, García-Pulido (eds.). *FORTMED2020 - Defensive Architecture of the Mediterranean*. Valencia: Universitat Politècnica de València, 2020, vol. X, pp. 447-454. <<https://dx.doi.org/10.4995/FORTMED2020.2020.11337>>.
 - Russo, Russo 2005 = Flavio Russo, Ferruccio Russo. *89 a.C. Assedio a Pompei. La dinamica e le tecnologie belliche della conquista sillana di Pompei*. Pompei: Edizione Flavius, 2005. ISBN: 8888419322.
 - Russo, Russo 2007 = Flavio Russo, Ferruccio Russo. *Tormenta Navalìa. Le artiglierie navali romane*. Roma: Rivista Marittima, 6, giugno 2007, Supplemento. ISBN: 97888739230.
 - Van Buren 1925 = Albert William Van Buren. Further Studies in Pompeian Archaeology. *Memoirs of the American Academy in Rome*, 5, 1925, pp. 103-113. <<https://doi.org/10.2307/4238527>>.
 - Vitucci 1995 = Giovanni Vitucci (a cura di). *Flavio Giuseppe (Iosephus, Flavius), La guerra giudaica*. Testo greco e tr. it. Milano: Mondadori, 1995.

La rivista è inclusa nella Web of Science Core Collection (Clarivate Analytics), dove è indicizzata nell'Arts & Humanities Citation Index e nel database di Scopus dove sono presenti gli abstract dei contributi.

La selezione degli articoli per *Disegnare. Idee Immagini* prevede la procedura di revisione e valutazione da parte di un comitato di referee (*blind peer review*); ogni contributo viene sottoposto all'attenzione di almeno due revisori, scelti in base alle loro specifiche competenze. I nomi dei revisori sono resi noti ogni anno nel numero di dicembre.

The journal has been selected for coverage in the Web of Science Core Collection (Clarivate Analytics); it is indexed in the Arts & Humanities Citation Index and abstracted in the Scopus database.

The articles published in Disegnare. Idee Immagini are examined and assessed by a blind peer review; each article is examined by at least two referees, chosen according to their specific field of competence. The names of the referees are published every year in the December issue of the journal.

Per l'anno 2024 la procedura di lettura e valutazione è stata affidata ai seguenti referee: *The 2024 examination and assessment of the articles was carried out by the following referees:*

Fabrizio Agnello, *Palermo, Italia*
 Antonio Russo, *Roma, Italia*
 Fabrizio Ivan Apollonio, *Bologna, Italia*
 Marcello Balzani, *Ferrara, Italia*
 Mario Bevilacqua, *Roma, Italia*
 Stefano Bertocci, *Firenze, Italia*
 Marco Bini, *Firenze, Italia*
 Stefano Brusaporci, *L'Aquila, Italia*
 Cristina Candito, *Genova, Italia*
 Paolo Carafa, *Roma, Italia*
 Mario Centofanti, *L'Aquila, Italia*
 Pilar Chías, *Alcalá de Henares, Spagna*
 Massimiliano Ciammaichella, *Venezia, Italia*
 Fabio Bianconi, *Perugia, Italia*
 Elisa Farella, *Trento, Italia*
 Fabrizio Gay, *Venezia, Italia*
 Diego Maestri, *Roma, Italia*
 Francesco Maggio, *Palermo, Italia*
 Anna Osello, *Torino, Italia*
 Michele Russo, *Roma, Italia*
 Salvatore, *Roma, Italia*
 Alberto Sdegno, *Udine, Italia*
 Simone Helena Tanoue Vizioli, *São Paulo, Brasile*
 Piero Cimbolli Spagnesi, *Roma, Italia*
 Roberta Spallone, *Torino, Italia*
 Giorgio Verdiani, *Firenze, Italia*
 Alessandro Viscogliosi, *Roma, Italia*
 Massimo Zammerini, *Roma, Italia*

Gli autori di questo numero *Authors published in this issue*

Daniele Amadio
 Dipartimento di Storia, disegno e restauro
 dell'architettura
 Sapienza Università di Roma
 piazza Borghese, 9
 00186 Roma, Italia

Michele Asciutti
 Dipartimento di Storia, disegno e restauro
 dell'architettura
 Sapienza Università di Roma
 piazza Borghese, 9
 00186 Roma, Italia
 michele.asciutti@uniroma1.it

Martina Attenni
 Dipartimento di Storia, disegno e restauro
 dell'architettura
 Sapienza Università di Roma
 piazza Borghese, 9
 00186 Roma, Italia
 martina.attenni@uniroma1.it

Silvia Bertacchi
 Dipartimento di Ingegneria
 Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli
 via Roma, 29, Real Casa dell'Annunziata
 81031 Aversa, Italia
 silvia.bertacchi@unicampania.it

Massimiliano Ciammaichella
 Dipartimento di Culture del Progetto
 Università Iuav di Venezia
 santa Croce 191, Tolentini
 30135 Venezia, Italia
 massimiliano.ciammaichella@iuav.it

Mario Docci
 Dipartimento di Storia, disegno e restauro
 dell'architettura
 Sapienza Università di Roma
 piazza Borghese, 9
 00186 Roma, Italia
 mario.docci@uniroma1.it

Tommaso Emler
 Dipartimento di Storia, disegno e restauro
 dell'architettura
 Sapienza Università di Roma
 piazza Borghese, 9
 00186 Roma, Italia
 tommaso.emler@uniroma1.it

Sara Gonizzi Barsanti
 Dipartimento di Ingegneria
 Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli
 via Roma, 29, Real Casa dell'Annunziata
 81031 Aversa, Italia
 sara.gonizzibarsanti@unicampania.it

Claudio Formicola
 Dipartimento di Ingegneria
 Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli
 via Roma, 29, Real Casa dell'Annunziata
 81031 Aversa, Italia
 claudio.formicola@unicampania.it

Carlo Inglese
 Dipartimento di Storia, disegno e restauro
 dell'architettura
 Sapienza Università di Roma
 piazza Borghese, 9
 00186 Roma, Italia
 carlo.inglese@uniroma1.it

Adriana Rossi
 Dipartimento di Ingegneria
 Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli
 via Roma, 29, Real Casa dell'Annunziata
 81031 Aversa, Italia
 adriana.rossi@unicampania.it

Nasim Shiasi
 Dipartimento di Storia, disegno e restauro
 dell'architettura
 Sapienza Università di Roma
 piazza Borghese, 9
 00186 Roma, Italia
 nasim.shiasi@uniroma1.it

Marco Tirelli
 Studio Marco Tirelli, Roma
 info@marcotirelli.com
 www.marcotirelli.com

Marco Tirelli
Tracce
Signs

Daniele Amadio, Martina Attenni, Tommaso
Empler, Carlo Inglese
Il Foro di Nerva. Modelli informati
per la conoscenza dell'Architettura Archeologica
*The Forum of Nerva. Information Models
to understand Building Archaeology*

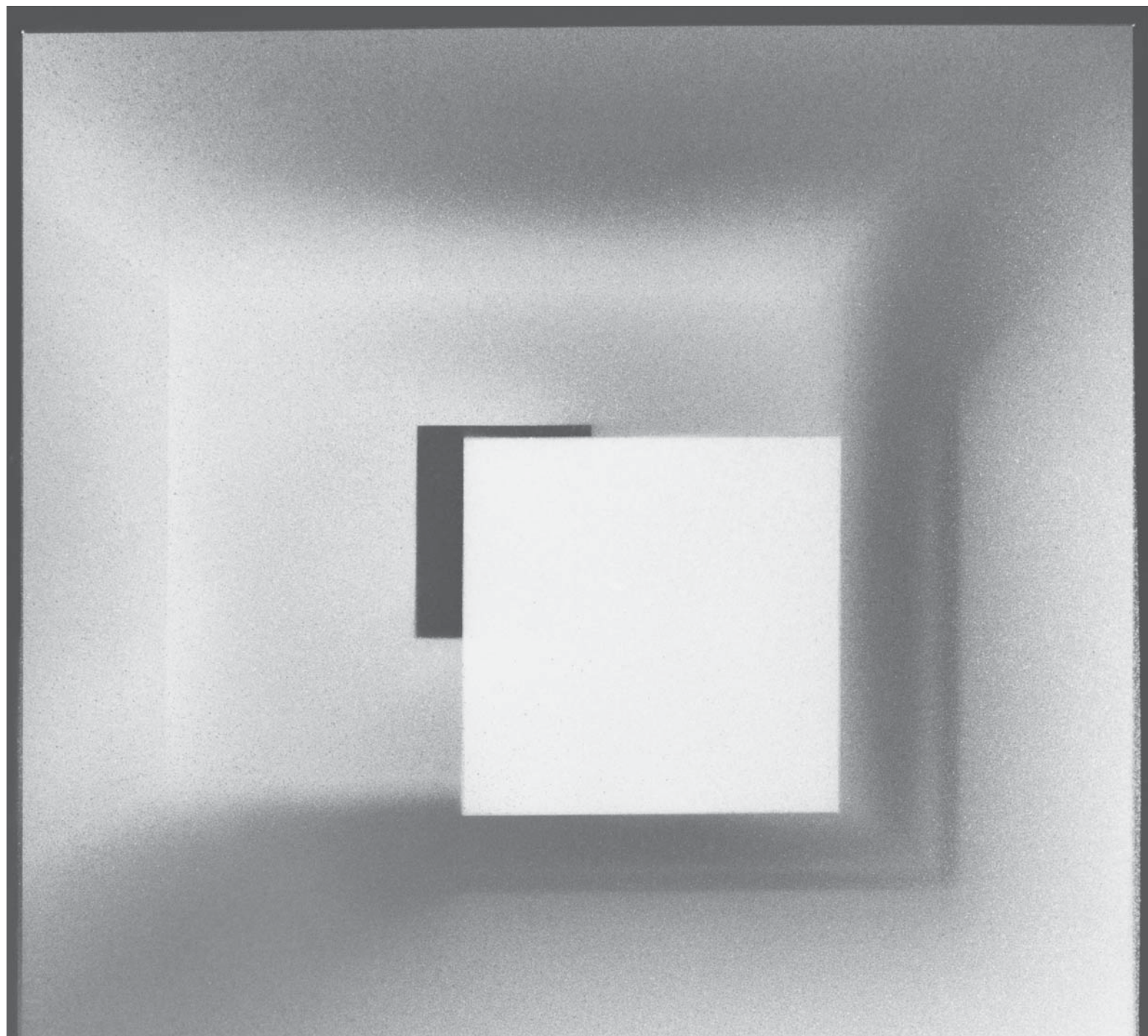
Massimiliano Ciammaichella
Lo sguardo oltre la cornice. Considerazioni sullo spazio
prospettico nell'opera di Hans Vredeman de Vries
*The gaze beyond the frame. Considerations
of perspectival space in the work of Hans Vredeman
de Vries*

Mario Docci
Antonio Salvetti, grande Maestro del disegno
ed eccellente rilevatore dell'architettura
*Antonio Salvetti, Grand Master of drawing
and excellent architectural surveyor*

Adriana Rossi, Silvia Bertacchi, Claudio Formicola
Sara Gonizzi Barsanti
Piccole indentazioni antropiche rinvenute
nella riesumata cinta urbica di *Cornelia Veneria
Pompeianorum*
*The small anthropic traces found in the unearthed
city walls of Cornelia Veneria Pompeianorum*

Nasim Shiasi
La rappresentazione di un palinsesto:
gli studi italiani del Palazzo Ali Qapu
*A palimpsest representation: Italians' studies
of the Ali Qapu Palace*

Michele Ascitti
Il rilievo delle strutture del sagrato della chiesa
di Santa Croce di Sassovivo: tecniche integrate
per l'ottimizzazione del risultato
*Survey of the churchyard in front of the church
of Santa Croce di Sassovivo: integrated techniques
for optimizing the results*



WORLDWIDE DISTRIBUTION
AND DIGITAL VERSION
EBOOK
AMAZON, APPLE, ANDROID
WWW.GANGEMEDITORE.IT

