

# Ingegna Romana. Dalle fonti ai modelli, dai reperti alle ricostruzioni

Adriana Rossi, Claudio Formicola, Sara Gonizzi Barsanti

## Abstract

*Si presenta un aspetto dell'attività di ricerca condivisa con gli studenti che hanno approcciato il tema di studio Analisi Comparative e Ricostruzioni Certificate per una corretta archeologia sperimentale delle artiglierie romane. L'occasione è sembrata utile per riflettere sulla tangibilità dei modelli in cui disgregare, alla luce delle attuali tecnologie, i confini tra valori materiali e immateriali. Allo scopo si presentano rilievi di prototipi fisici di catapulte di epoca repubblicana imperiale, ricostruite sulla base di tre tipologie di fonti e testate nel funzionamento. Passando dall'interpretazione delle acquisizioni fotogrammetriche al controllo numerico dei modelli "basati sulla realtà", si guarda alla tensione dialettica che s'instaura tra opposti paradigmi passati e presenti: rilievo/progetto, analogico/digitale, tangibile/intangibile. Gli aspetti trasversali dei fenomeni legati alle ontologie che caratterizzano la commisurazione delle componenti e ai sistemi costruttivi, ovvero materiali, culturali e quindi storici, si prospettano come vettori multidimensionali potenzialmente in grado di indirizzare politiche culturali. Visualizzazioni avanzate, fondate sulla riscrittura di antiche storie ossidionali, promettono nel caso studio, di diventare volani per la riqualificazione di aree archeologiche anche di notevole fama.*

*Parole chiave: artiglierie romane, cultura digitale, modello fisico, modello virtuale.*

## Introduzione

Correvano gli anni Ottanta quando la Scuola di Architettura di Venezia indirizzava allo "scavo filologico" dell'architettura, mentre la Scuola di Milano focalizzava l'attenzione sul "rilievo" per l'analisi delle problematiche urbane e territoriali [Manieri Elia 1983, p. 93]. La "critica operativa" si diffondeva in Italia e oltralpe nel tentativo di superare la dicotomia tra pratica e teoria [Tafuri 1969, p. 177]. I temi affrontati, carichi dei principi che hanno caratterizzato in quel periodo storico la rappresentazione grafica, si focalizzava sulla necessità di apprezzare il "già fatto" come "testo". L'interpretazione, in quanto leva intellettuale [Dal Co 1999], ha permesso a una schiera di maestri di indiscussa caratura (troppi per essere citati senza tralasciarne alcuno) di rivendicare uno spazio indipendente per l'elaborazione

di pensieri originali e trasversali guidati dalle acquisizioni di dati e orientati dalla loro elaborazione grafica. Seguendo le orme di Luigi Vagnetti [cfr. Vagnetti 1971; 1972], si rivendicava, in altri termini, l'autonomia disciplinare del rilievo e del disegno: l'azione sistematica volta a estrarre le proprietà geometriche e dimensionali si dimostrava un "grimaldello" per sollevare questioni criticabili attraverso procedure ripetibili e confrontabili. Il "Designare" (da cui il termine "Disegno") superava i limiti di mero strumento al servizio alla Progettazione, qualificandosi come "metafora" dell'architettura, riconosciuta tale anche dagli esperti di altri settori [Lampugnani 1982].

Occasione di verifica per i criteri posti a fondamento della disciplina, l'adeguamento imposto da anni di rivoluzione

informatica. La raccolta di articoli e conferenze data alle stampe da James S. Ackerman [Ackerman 1991; 2002] offre un quadro di riferimento per le trasformazioni sul modo di comunicare il progetto di architettura: in quegli anni analogico/digitale e fisico/virtuale ricorrevano come contrapposizioni ricorrenti. Nella nozione di modello si è rinvenuto un luogo in cui stemperare le antinomie. L'antologia di scritti curata da Riccardo Migliari nel 2004 fornisce temi di riflessione [Migliari 2004]. Diversi tra gli autori presenti in quella pubblicazione hanno continuato ad esplorare percorsi innovativi, perseverando nelle sfide poste alla Scienza della Rappresentazione. Il volume traghetta verso l'attuale demarcazione dei concetti/significati che, negli anni più recenti, hanno alimentato un appassionato dibattito sull'avvicendamento della cultura digitale [Brusaporci 2019], l'utilizzo del modello interpretativo e in particolare la sua visualizzazione nell'ambito dei beni culturali [Hodges 2020]. Più modestamente, il saggio intende riportare all'attenzione le molteplici dimensioni del modello per risaltarne il ruolo euristico, basato sulla capacità di comprendere il contenuto per agire di conseguenza. Un contenuto che le tecniche avanzate arricchiscono. Il caso studio è, per conseguenza, un pretesto scelto allo scopo di avvicinare l'attività di ricerca all'esperienza didattica. Il modello, anche quello che gli «antichi costruivano con le mani» [Scolari 1988, p. 13], si riferisce, infatti, a un'esperienza onnicomprensiva in cui le antinomie – vecchie (rilievo/progetto), nuove (reale/virtuale-tangibile/intangibile) – si stemperano, mostrando la trasversalità che si istaura tra poli di un unitario percorso, ciclico e interattivo, in virtù del quale la mente percepisce, guarda, conosce, legge e interpreta.

Fig. 1. Scorpione. Prototipo ricostruito da F. Russo (2014) sulla base del modello rinvenuto ad Ampurias (Spagna); allievi del Lab/TAR (prof. A. Rossi a.a.2016-2017) in visita presso le Officine di Archeotecnica.



La pratica di costruire “modelli” sulla base di disegni tecnici, diventata sistematica nel Quattrocento, prospetta, fin dall'esordio, impieghi multidirezionali: Filippo Brunelleschi se ne serve per convincere i mecenati affabulati dalle vedute realistiche dei pittori [Manetti 1976, p. 117]; Filarete li ritiene un erudito omaggio per i committenti [Filarete 1972, vol. I, p. 40; p. 207]; Leon Battista Alberti li utilizza per verificare il calcolo delle “simmetrie” [Alberti 1966, vol. I, pp. 860-862] mentre Michelangelo li costruisce per dotare il cantiere di una guida sicura [Millon 1988]. Introduce, invece, un aspetto del tutto nuovo Giorgio Vasari, che riferisce della precisione al centesimo ricercata nella costruzione di maquette in cui venivano miniaturizzate le trame murarie e le modanature architettoniche di spazi praticabili all'interno [Millon 2002]. Un salto che, palestando la volontà di osservare il molto piccolo e il molto grande, demanda alla possibilità di zoomare dettagli, navigando – non solo nello spazio ma anche nel tempo [De Luca et al. 2023] – copie fedeli che, per gli aspetti informativi di cui vengono dotate, si dimostrano “gemelli” dei modelli fisici [Grieves 2011].

## Materiali e metodi

Nel prospettare il caso studio si sono tenuti presenti gli obiettivi presentati in premessa: da un lato, infatti, si vuol persistere nel ragionare sull'identità ontologica della nozione di modello che, nella sua evoluzione, registra le metamorfosi della cultura, declinando la variazione dei canoni e dei processi epocali; dall'altro si vuole dare sostanza alle applicazioni che la ricerca informatica offre, indirizzando verso una conoscenza tematica condivisa e flessibilmente inclusiva oltre che implementabile.

In questo contesto argomentativo si inquadra il rilievo *no contact* di alcuni prototipi funzionanti di catapulte romane, detti “scorpioni” nel gergo militare dell'epoca (I sec. a.C. - I sec. d.C.) Le riflessioni che discendono sono ristrette al solo aspetto condiviso con gruppi di studenti che, ai tre livelli universitari, hanno lambito o approcciato il tema oggetto di una ricerca più ampia e recentemente finanziata [1].

Rispetto ai manufatti architettonici, le catapulte elette a caso studio dell'applicazione sono in scala ridotta ma per questo emblematicamente adatte alla comprensione delle regole del comporre. Alla base delle proporzioni dell'arma si pone infatti la misura del modulo, sulla base

del quale Vitruvio imposta la commisurazione delle parti [Vitruvio 1758, III, 1, pp. 91-101]. Dal Rinascimento ai giorni nostri, l'esegesi del suo brano è incisivamente ricaduta sul modo di analizzare e progettare, in Occidente, gli organismi architettonici. Mediando aspetti didattici e interessi di allievi e ricercatori si è proceduto a visitare le officine di *Archeotecnica* al fine di maneggiare e in alcuni casi testare (fig. 1), prototipi fisici (analogici), perfettamente funzionanti di catapulte romane ricostruite in scala reale (1:1) dall'ingegner Flavio Russo, consulente e collaboratore dello Stato Maggiore dell'Esercito. Tutte le ricostruzioni, spiega lo studioso [Russo 2004, p. 44], si basano:

1. sull'analisi dei reperti rinvenuti, identificati e inventariati [2];
2. sullo studio dei pochi volumi e articoli scientifici scritti sull'argomento [3];
3. sulla traduzione tecnica dei frammenti di opere classiche direttamente interpretate da Russo a confronto con quanto disponibile in letteratura [4];
4. sulla verifica del funzionamento dei prototipi fisici funzionanti.

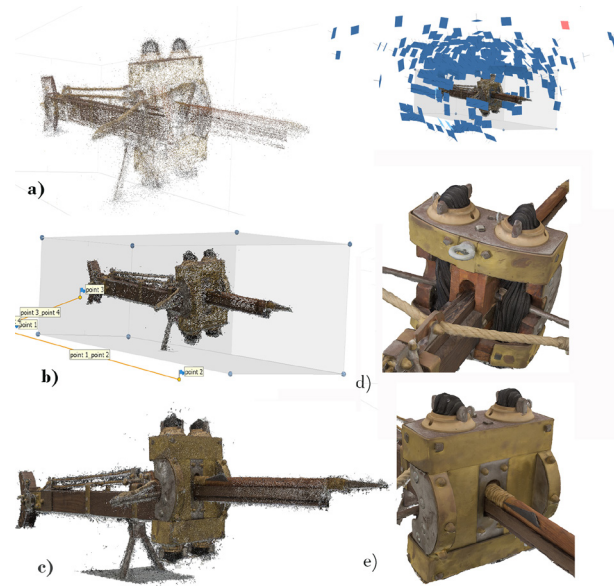
Sostenuti dall'evidenza scientifica delle fonti palesemente affidabili e trasparenti [UNESCO 2003; 2009; 2019], confortati dalle onnipresenti citazioni dei testi di Russo da parte di chiunque abbia affrontato ai nostri tempi lo studio delle artiglierie romane e, non da ultimo, entusiasmati dall'esperienza a tutto campo offerta agli studenti del laboratorio di Tecniche Avanzate della Rappresentazione (Lab/TAR) attivato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli* dall'anno accademico 2014-2015, si è proceduto a predisporre le fasi di lavoro onde trasferire abilità tecniche e conoscenze scientifiche. Gli esiti sono stati poi condivisi aprendo le porte dei laboratori a cittadini e personale tecnico di enti pubblici e privati. Costruire un ponte tra l'Accademia e il territorio in cui il Dipartimento insiste è oramai un impegno costante a tutti i livelli delle attività intraprese.

### Fasi operative

Le catapulte studiate sono state realizzate con tecnologie e tecniche di lavorazione congruenti a quelle dell'epoca di riferimento: la struttura è in legno e le blindature sono in metallo opaco. I materiali si dimostrano quindi

Fig. 2. Rilievo SfM del prototipo ricostruito da F. Russo dello scorpione (manubalista) sulla base delle risultanze archeologiche rinvenute a Xanten (2008), (elaborazione digitale degli studenti del Lab/TAR, prof. A. Rossi, a.a. 2021-2022; tutor prof. S. Gonizzi Barsanti). Fasi: a. allineamento e posizionamento delle immagini intorno all'oggetto durante il rilievo; b. dimensionamento della bounding box e scalatura; c. nuvola densa 3D; d, e. 3D mesh.

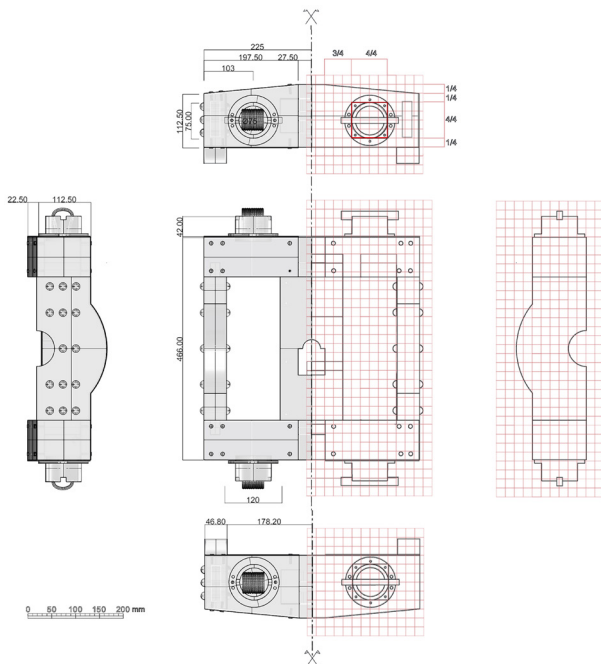
Fig. 3. Blindature del gruppo propulsore ("capitulum") rinvenute a Emporiae, Spagna (per gentile concessione di F. Russo).



compatibili con l'impiego della tecnica di rilievo prescelta. La fotogrammetria a distanza ravvicinata, *Structure from Motion* (SfM), ha permesso di ricostruire la tridimensionalità dell'aspetto esteriore delle macchine con precisione millimetrica e accuratezza fotorealistica. Allo scopo si sono dimostrati funzionali gli apparecchi fotografici in dotazione agli allievi, per lo più camere reflex. In condizioni di luce tenue e ombre compatibili, si è proceduto all'acquisizione di una serie di scatti da diverse angolazioni lungo un percorso a 360° intorno all'oggetto per coprire l'intera superficie. Una buona qualità dell'immagine è stata raggiunta utilizzando un obiettivo da 18 mm con diaframma impostato a 9 e sensibilità pari a ISO 500.

Gli scatti acquisiti, nel rispetto dei necessari accorgimenti basilari, sono stati processati con *Agisoft Metashape 2.1.1 Professional*. Al termine dell'elaborazione il software ha

Fig. 4. "Capitulum eutitone". Commisurazione [Vitruvio 1758, X, pp. 418 e ss.] sulla base del "modiolo" rinvenuto ad Ampurias (elaborazione digitale degli studenti S. Acerra, R. Anzalone, F. Damasco, Lab/TAR a.a. 2017-2018, riconfigurata e corretta dal tutor C. Formicola).



generato una maglia poligonale texturizzata di soddisfacente qualità (fig. 2). Completamente automatico è il processo di orientamento dei singoli fotogrammi, che si basa sul riconoscimento di punti omologhi tra coppie di foto stereoscopiche in cui sono minime le differenze di esposizione. Le intersezioni di fasci proiettivi hanno fornito la configurazione spaziale della nuvola di punti, un primo approccio al modello *reality based 3D*. Le maggiori difficoltà riscontrate hanno interessato la definizione delle parti più sottili, come le corde arciere o la cuspidi dei dardi. La nuvola triangolata, opportunamente scalata, pulita e decimata con diversi gradi di dettaglio, è stata texturizzata, utilizzando le stesse fotografie. Il risultato restituisce il guscio tridimensionale e fotorealistico del modello 3D, misurabile ed esportabile in formato .obj o .stl o in altre estensioni compatibili con i programmi di modellazione vettoriale. È infatti necessario semantizzare le parti della superficie, rendendo le traiettorie dei contorni congruenti al funzionamento delle componenti: un lavoro di lettura critica che va dettagliatamente organizzato sulla base dei ragionamenti e dei processi esecutivi.

A questo scopo la maneggiabilità dei prototipi fisici ha facilitato il compito, motivando ricercatori e allievi impegnati a "trasdurre" i caratteri che identificano la continuità della forma, da segnale analogico a equivalente segnale digitale e perciò riferito alla matematica del discreto. Anticipa la costruzione dei modelli e il ragionamento sulla commisurazione delle parti nell'accezione data da Vitruvio [Vitruvio, III, 1, pp. 91-101]. Alla base, quindi, la misura del "modiolo", che in gergo tecnico individua il diametro interno delle flange su cui si attesta la matassa elastica. Il termine, tramandatoci dal medesimo trattatista [Vitruvio, X, 9, pp. 401-405], tradisce l'evidente derivazione architettonica: come nei templi classici il diametro della colonna proporzionava le parti e l'intero secondo "*symmetria*" [Migliari 1991], così il "piccolo modulo" (da cui il diminutivo "modiolo") fornisce il principio informatore per proporzionare le parti che i reperti archeologici rendono oggettive e quelle mancanti, che la procedura ripetibile e criticabile rende metodologicamente fondate.

Sui resti del reperto (fig. 3) di Emporiae, in Spagna, è tarato il prototipo ricostruito da Russo [5]. «Tutti i rapporti di proporzione degli organi di queste armi sono calcolati in base alla lunghezza del dardo che devono scagliare, alla cui nona parte viene fatto corrispondere il diametro del foro nel telaio del "capitulum" (gruppo motopropulsore) attraverso il quale passa il fascio di fibre ritorte che sopportano i bracci» [Vitruvio, X, 9, 1-4, pp. 401-405].

Alla luce del brano di Vitruvio va ribadito che l'unità di misura dell'arma, ovvero il suo "modulo", è pari a 1/9 della lunghezza del dardo. Per conseguenza, la stessa lunghezza e larghezza del motopropulsore ("capitulum" per Vitruvio) deve essere multipla o sottomultipla di questo modulo. Le assi, la superiore e l'inferiore del telaio, definite "peritreti" da Vitruvio, dovranno avere uno spessore pari a un modulo e una larghezza pari a un modulo e tre quarti (al centro) e un modulo e mezzo alle estremità. Seguono nel *Libro X* indicazioni non sempre chiare ma che i testi di Erwin Schramm, di Dietwulf Baatz e di Eric William Marsden [Schramm 1918; Baatz, Feugere 1981; Marsden et al. 1969], per la loro sostanziale concordanza, aiutano a risolvere, almeno sul piano dell'aspetto morfologico [Russo 2002, pp. 232-243].

L'esercizio di commisurazione si è dimostrato una palestra per ricercatori e allievi che, in breve, sono stati in grado di concorrere efficacemente alla definizione dei disegni "costruttivi" [cfr. Galiani, in Vitruvio 1758, p. 5]. I risultati (fig. 4) si pongono a loro volta come sollecitazione per la formalizzazione di informazioni di pronto uso, che molto hanno in comune con l'attuale modo di procedere nella produzione standardizzata [Galiani 2006].

Le nuvole di punti importate nel software *Rhinoceros 8.0* e poste a origine del flusso di lavoro hanno guidato la modellazione vettoriale dello "scorpione di Ampurias", cosiddetto perché tarato sulla grandezza del modiolino rinvenuto nei pressi della cittadina spagnola. Le viste derivate dal modello 3D *reality based* sono state poste a confronto con i piani esecutivi elaborati per la ricostruzione del prototipo fisico [Russo, Russo 2008] e digitalizzati nello stesso ambiente software (fig. 5).

Il processo di modellazione geometrica non ha presentato particolari difficoltà esecutive (figg. 6, 7) ed è stato basato sulla sintesi morfologica di primitive grafiche e, in qualche caso, traslazioni o rotazioni di generatrici lungo direttrici o binari. Infatti le caratteristiche delle macchine neuroballistiche non lasciano alcuno spazio al tracciamento di forme libere [Valenti 2022, pp. 87-102]. Anche la riduzione in forma parametrica dei modelli non ha ragione di essere dinamica a causa della configurazione derivata dalla serrata commisurazione di ogni parte all'insieme che nulla lascia all'arbitrio soggettivo. Pressoché indispensabile risulta, invece, la possibilità di scalare proporzionalmente ogni elemento per poter celermente passare dalla configurazione degli scorpioni "maneschi" (trasportati a mano) ai grandi scorpioni da posta [6].

Fig. 5. Piani esecutivi (per gentile concessione di Archeotecnica).

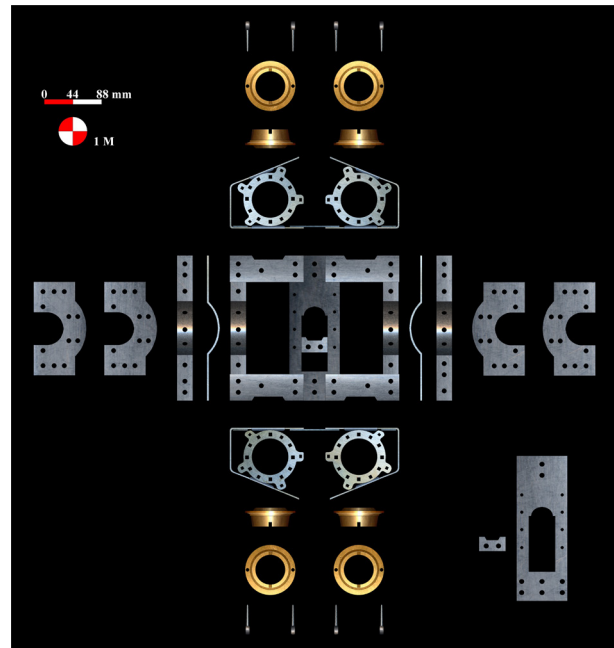
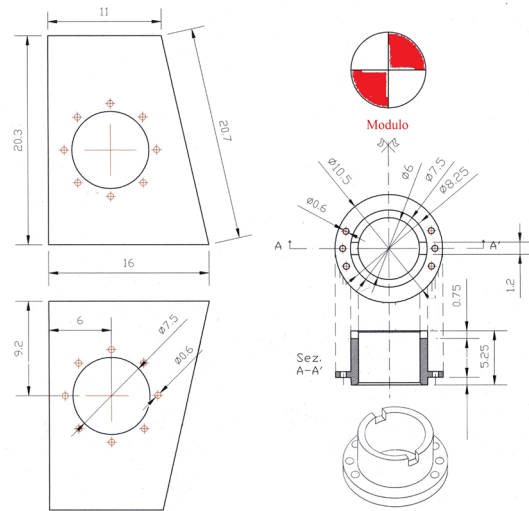
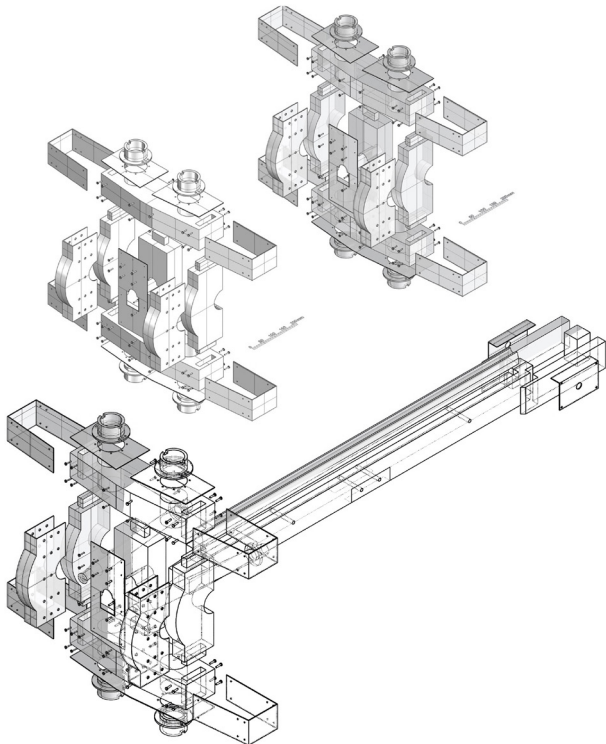


Fig. 6. "Capitulum eutitone" e canale di lancio. Esploso assonometrico del modello (elaborazione grafica degli allievi del corso Lab/TAR a.a. 2017-2018; vista ombreggiata semitrasparente riconfigurata dal tutor C. Formicola).



Che le tecniche non siano mai neutrali rispetto agli esiti è una verità a tutti nota [De Simone 1990]. Ancora attuale resta l'utilizzo della squadra a 45° per la costruzione delle assonometrie divulgate dall'abate William Farish nel 1820. Malgrado il procedimento fosse già noto a Luca Pacioli, Nicolò Tartaglia e, in Francia, a Oronce Finé [7], il disegno "obliquo" ha mostrato di rinnovare il modo di pensare [Scolari 2005] incidendo sulla produzione industriale dell'epoca e, nel secolo successivo, sulla ricerca delle forme architettoniche [Reichlin 1979; Sartoris 1983, pp. 82-93].

La speditezza dell'esecuzione, non secondaria alla chiarezza formale e alla misurabilità immediata, ha, nel caso in esame, guidato mano e mente a un primo controllo della configurazione geometrica (fig. 8c). La modellazione digitale integra e accelera il dialogo con la propria intelligenza, introducendo un terzo elemento tra mano e mente. Le istruzioni pre-impostate condizionano i risultati sulla base delle capacità tecniche: occorre una vissuta abilità critica per ottenere viste che abbiano qualità comunicativa. Queste, oltre a comunicare evidenti proprietà, devono saper esprimere attributi; il disegno informatico rende trasparenti letture-interpretazioni: in ogni fase l'adeguatezza delle scelte è confrontabile con le proposizioni assunte, ripercorribili a ritroso. Oltre a distinguere tra elaborati grafici di analisi o di progetto, l'adeguatezza delle scelte permette di interagire con il sistema di previsioni; l'operatore è messo in condizioni di consultare banche dati e archivi.

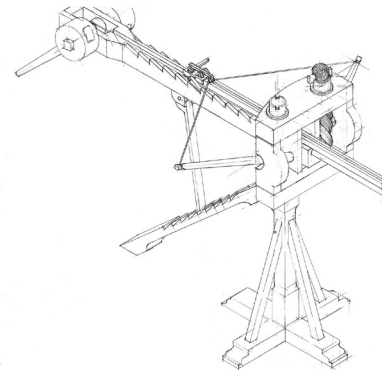
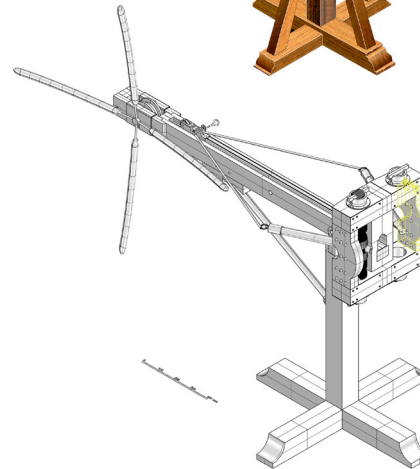
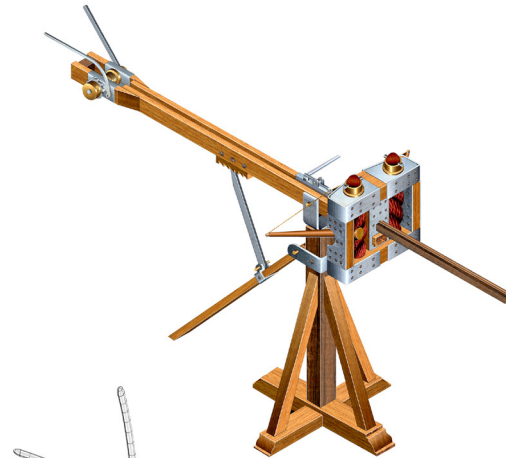
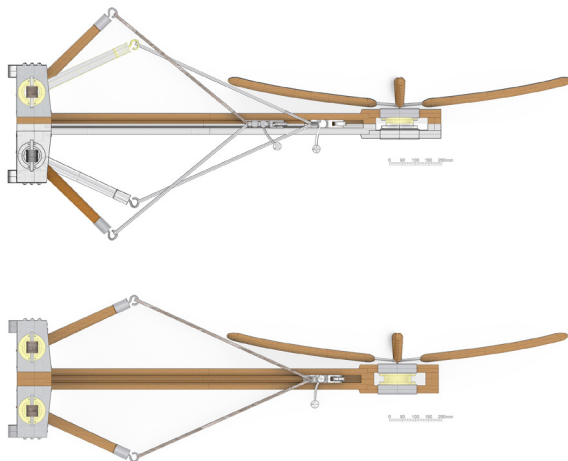
### Obiettivi raggiunti e in divenire

I modelli presentati, circoscritti a un caso selezionato tra le esercitazioni condotte con gli studenti del laboratorio Tecniche Avanzate della Rappresentazione (Lab/TAR) (figg. 8a, 8b), documentano la convergenza di tre modelli: il modello geometrico che traduce la struttura analitica in un equivalente sistema figurativo; il modello matematico che rende concreta la formulazione del problema; il modello simulato che verifica le caratteristiche algoritmiche. La natura sincretica del costruito facilita l'organizzazione dei dati in funzione di obiettivi strategici. Sebbene l'informazione analogica fornita dai prototipi materiali (fig. 9) si sia rivelata molto più ricca di quella mostrata dai modelli numerici, si guarda alle soluzioni hardware e software che nel modello rappresentativo

integrano Teoria dei Modelli [Hodges 2020], Scienze Visive e Scienze Grafiche. Il prodotto culturale che ne discende, supera il tradizionale confronto-ausilio fornito dalle maquettes, per generare uno spazio concettuale in cui disgregare antinomie e far dialogare rilievo/progetto, signifiante/significato, materiale/immateriale. Le applicazioni mostrano di accompagnare l'osservazione diretta con la "fisicità" di un costruito digitale. Non c'è inganno, ma integrazione nella mente di chi percepisce due mondi diversamente tangibili [Jenkins 2007]. "Reale" e "Virtuale", tutt'altro che opposti, individuano un campo problematico in cui i protagonisti sono gli utenti [Lévy 1995], invitati a ricostruire con l'immaginazione la percezione di quanto esperito sensitivamente [Brusaporci 2023]. Al passo con i tempi, l'esperienza condotta guarda ai vantaggi contenuti nella possibilità di studiare il molto piccolo e il molto grande sullo stesso modello, divenuto collettore di un sistema informativo sovrapposto e navigabile, una geografia implementabile della conoscenza

Fig. 7. Vista orizzontale del modello. Movimento dei braccetti a riposo e in caricamento (allievi del Lab/TAR a.a. 2017-2018, viste riconfigurate dal tutor C. Formicola).

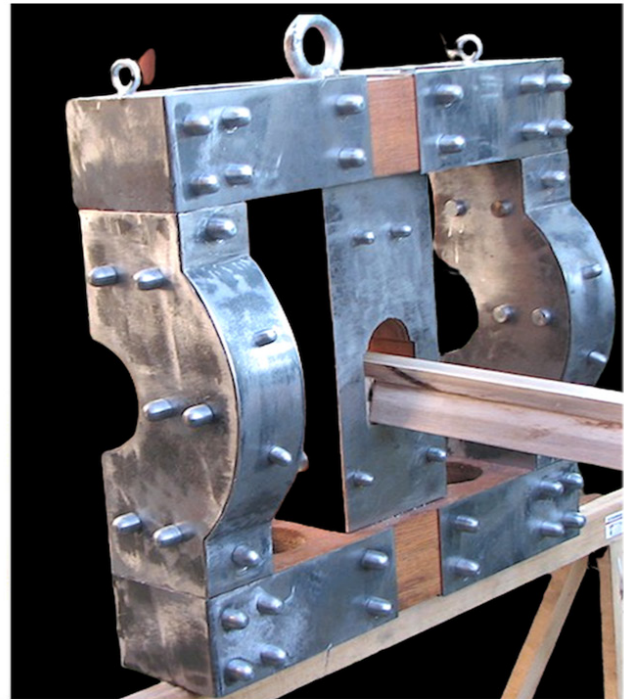
Fig. 8. Scorpione di Ampurias. Confronti tra modelli. In sequenza: render del modello; vista ombreggiata (allievi del Lab/TAR a.a. 2017-2018, viste riconfigurate dal tutor C. Formicola secondo un'ottimizzata concezioni di brandeggio); assonometria isometrica di studio (A. Rossi per Archeotecnica).



multidimensionale [Comte et al. 2024]. Valorizzare i reperti, oggi riconosciuti risultanze archeologiche di artiglierie romane, definire un protocollo per la costruzione di artiglierie dell'epoca fisiche e digitali, fornire dettagli per una migliore comprensione storica degli investimenti ossidionali di aree archeologiche è l'obiettivo finale avvicinato per fasi. Alla data, i contenuti di cui sopra ricercano

la convergenza di didattica e ricerca. La condivisione degli esiti di laboratorio con allievi delle scuole secondarie e le amministrazioni locali ha mostrato in piccola scala quanto auspicato in grande scala in ambito di digitalizzazione e trasferimento tecnologico del tema condiviso e interoperabile a diversi livelli di utenza: dalla ricerca scientifica, a gioco e intrattenimento, cultura e turismo, servizi.

Fig. 9. Risultanze archeologiche del "capitulum" rinvenuto ad Ampurias (per gentile concessione di Archeotecnica); modello impiegato per la costruzione in digitale.





## Crediti

Contributi autori: concettualizzazione: A. R.; metodologia: A. R.; software: C. F., S.G.B.; convalida: A. R.; analisi formale: A. R.; indagine: A. R., C. F., S. G. B.; risorse: A. R., S.G.B.; cura dei dati: A. R.; preparazione della

bozza originale, A. R.; scrittura revisione e editing: S. G. B.; supervisione: A. R. Tutti gli autori hanno letto e accettato la versione pubblicata del manoscritto.

## Note

[1] Progetto SCORPiò-NIDI. B53D2302210 0006 PRIN 2022 - D.D. n. 104 /02-02-2022 Prot. 20222RJE32, Settore ERC SH5 "Cultures and Cultural Production" ammissione a finanziamento MIUR D.R. n. 10790/2023. 24 mesi, dal 1/X/23. P.I. Adriana Rossi. Componenti per l'unità UNICAMPANIA: Sara Gonizzi Barsanti, Silvia Bertacchi, Claudio Formicola. DR 10790/2023. P.I. prof. Adriana Rossi, Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli.

[2] Una trentina di modiolli, tutti di bronzo ad eccezione di due; una mezza dozzina di arponismi d'arresto, sei supporti per matasse di varia fattura e di diverse dimensioni, di cui uno di bronzo; un *kamarion*, alquanto blindature in ferro e in bronzo per catapulte e baliste, uno scudo frontale e alcuni frammenti di verricello.

[3] Nell'ordine cronologico si ricordano i testi di Escher 1867, Schramm 1918, Marsden 1971; Garland 1974; Wilkins 1995.

[4] Basilari le indicazioni fornite da Erone di Alessandria (I sec.), il dimensionamento dato da Bitone (II sec. a.C.) e tramandato da Filone (III sec. a.C.) nel *V Libro* della *Sintassi Meccanica*, nonché i rapporti proporzionali della componentistica descritta da Vitruvio per la catapulta [Galiani, in Vitruvio 1758].

[5] Conservati presso il Museo civico Ala Ponzone di Cremona, sono stati misurati e esaminati da Russo nel 2014 per gentile concessione del Museo.

[6] *Eutitone* se le braccia ruotano verso l'esterno del fulcro; *palintone* se il movimento è inverso [Russo, Russo 2004, pp. 86].

[7] Oronce Finé si spinse a riportare sugli spigoli delle figure oblique quelle "metrie" che motiveranno la denominazione di "axonometria", ciononostante occorrerà attendere Ludwig J. Weisbach (1806-1871) e Karl Wilhelm Pohlke (1810-1850) affinché la natura proiettiva del metodo sia codificata.

## Autori

Adriana Rossi, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli, [adriana.rossi@unicampania.it](mailto:adriana.rossi@unicampania.it)  
 Claudio Formicola, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli, [claudio.formicola@unicampania.it](mailto:claudio.formicola@unicampania.it)  
 Sara Gonizzi Barsanti, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli, [sara.gonizzibarsanti@unicampania.it](mailto:sara.gonizzibarsanti@unicampania.it)

## Riferimenti bibliografici

Ackerman, J.S. (1991). *Distance Points: Essay in Theory and Renaissance Art Architecture*. Cambridge: The MIT Press.

Ackerman, J.S. (2002). *Origins, Imitations, Conventions. Representation in the Visual Arts*. Cambridge: The MIT Press (trad. it. *Architettura e disegno. La rappresentazione da Vitruvio a Gehry*. Milano: Electa 2003).

Alberti, L.B. (1966). *L'Architettura*. P. Portoghesi (a cura di). Trad. it. G. Orlandi. Padova: Il Polifilo.

Baatz, D., Feugère, M. (1981). *Eléments d'une catapulte romaine trouvée à Lyon*. In *Gallia*, 39, pp. 201-209.

Brusaporci, S. (2019). The Visual Bride: Representing Tangible Heritage between Digitality and Real Contents. In *img Journal*, 1(1), pp. 74-91. <https://doi.org/10.6092/issn.2724-2463/11058>.

Brusaporci, S. (a cura di). (2023). *Architectural Heritage Imaging: When Graphical Science Meets Model Theory*. In *DisegnareCon*, vol. 16, n. 31, DW 1-4. <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.31.2023.ed>.

Comte, F., Pamart, A. Réby, K., De Luca, L. (2024). Strategies and experiments for massive 3D digitalization of the remains after the Notre Dame de Paris' fire. In *The International Archives of photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-2/W4, pp. 127-134. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W4-2024-127-2024>.

Dal Co, F. (ed. anastatica a cura di). (1999). *Aldo Rossi. I quaderni azzurri 1968-1999*. Milano-Los Angeles: Electa-The J. Paul Getty Research Institute.

De Luca, V., Gatto, C., Liaci, S., Corchia, L., Chiarello, S., Faggiano, F., Sumerano, G., De Paolis, L.T. (2023). Virtual Reality and Spatial Augmented Reality for Social Inclusion: The "Includiamoci" Project. In *Information* 2023, 14, 38. <https://doi.org/10.3390/info14010038>.

De Simone, M. (1990). *Disegno Rilievo Progetto. Il disegno delle idee, il progetto delle cose*. Roma: Carocci.

Farish, W. (1820). *Treatise on Isometrical Perspective*. In *Transactions of the Cambridge Philosophical Society*, vol. 1. Cambridge: University of Cambridge.

- Filarete. (1972). *Trattato di architettura*. Padova: Il Polifilo.
- Gaiani, M. (2006). *La rappresentazione riconfigurata: modelli dal design all'architettura per un nuovo processing e una nuova didattica*. Conferenza tenuta a Lerici il 22 settembre 2006. <<https://architettura.unige.it/eve/convegni/lerici/gaiani.pdf>> (consultato il 19 maggio 2024).
- Garlan, Y. (1974). Le livre «V» de la Syntaxe mécanique de Philon de Byzance. Text, traduction et commentaire. In *Recherches de poliorcétique grecque*. Paris: École Française d'Athènes et de Rome.
- Grievies, M. (2011). *Virtually Perfect: Driving Innovative and Lean Products through Product Lifecycle Management*. Cocoa Beach: Space Coast Press.
- Hodges, W. (2020). Model theory. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. <<https://plato.stanford.edu/entries/model-theory/>> (consultato il 13 maggio 2024).
- Jenkins, H. (2009). *Confronting the Challenges of Participatory Culture: Media Education for the 21st Century*. Cambridge: The MIT Press.
- Lampugnani, V.M. (1982). *La realtà dell'immagine. Disegni di architettura nel ventesimo secolo*. Milano: Edizioni di Comunità.
- Lévy, P. (1995). *Qu'est-ce que le virtuel?* Paris: Éditions La Découverte.
- Manetti, A. (1976). *Vita di Filippo Brunelleschi*. Milano: Il Polifilo.
- Manieri Elia, M. (1983). Storia dell'architettura problemi attuali. In G. Ciucci (a cura di). *Guida alla facoltà di Architettura*, pp. 92-98. Bologna: Il Mulino.
- Marsden, E.W. (1969). Belopoeica. In Marsden, E.W. *Greek and Roman Artillery. Historical Development*. Oxford: Clarendon Press.
- Migliari, R. (1991). Gli Ordini. Cinque Pezzi Facili. In *Disegnare. Idee Immagini*, n. 2/1991, pp. 49-66.
- Migliari, R. (a cura di). (2004). *Disegno come modello. Riflessioni sul disegno nell'era informatica*. Roma: Edizioni Kappa.
- Millon, H.A, Scott, S.C. (Eds.). (1992). *An Architectural Progress in the Renaissance and Baroque: Sojourns In and Out of Italy : Essays in Architectural History Presented to Hellmut Hager on His Sixty-sixth Birthday*. S.L.: Penn State Department Of Art History.
- Millon, H.A. (1994). I modelli architettonici nel Rinascimento. In H.A. Millon, V. Magnago Lampugnani (a cura di). *Rinascimento. Da Brunelleschi a Michelangelo Bompiani. La rappresentazione dell'architettura*. Catalogo della Mostra, Venezia, Palazzo Grassi, 1994, pp. 19-72. Milano: Bompiani.
- Reichlin, B. (1979). L'assonometria come progetto. Uno studio su Alberto Sartoris. In *Lotus International*, XXII, pp. 82-93.
- Russo, F. (2022). La catapulta di Vitruvio. In F. Russo, *Tormenta. Venti secoli di artiglieria meccanica*, pp. 232-243. Roma: Stato Maggiore Esercito.
- Russo, F. (2004). *L'artiglieria delle legioni romane. Le macchine da guerra che resero invincibile l'esercito romano. La catapulta di Vitruvio*, pp. 199-280. Roma: Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.
- Russo, F., Russo, F. (2008). *Gli scorpioni della Repubblica. Cenni storici, reperti, tavole ricostruttive della catapulta di Ampurias*. Torre del Greco: Edizioni Scientifiche e Artistiche.
- Sartoris, A. (1983). L'assonometria come progetto. Uno studio su Alberto Sartoris. In *Lotus International*, XXII, pp. 82-93.
- Schramm, E. (1918). *Die antiken Geschütze der Saalburg : Bemerkungen zu ihrer Rekonstruktion...* Berlin: Weidmannsche Buchhandlung.
- Scolari, M. (1988). L'idea di modello. In *Eidos: The Canadian Graduate Journal of Philosophy*, n. 2, pp. 16-39.
- Scolari, M. (2005). *Il disegno obliquo*. Venezia: Marsilio.
- Tafari, M. (1969). *Teorie e storia dell'architettura*. Bari: Laterza.
- Vagnetti, L. (1971). *Quaderni dell'Istituto di Genova*, n. 6.
- Vagnetti, L. (1972). *Quaderni dell'Istituto di Genova*, nn. 8/9/10.
- Valenti, G.M. (2022). *Di segno e modello. Esplorazioni sulla forma libera fra disegno analogico e digitale*. Milano: Franco Angeli.
- Vasari, G. (1550). *Le vite de' più eccellenti architetti, pittori et scultori italiani*. Firenze: Lorenzo Torrentino. Trad. it. M. Cavalli. Firenze: Colla Editore 2012.
- Vitruvio Pollione (Vitruvius Pollio). (1758). *L'Architettura di M. Vitruvio Pollione colla traduzione italiana e commento del marchese Berardo Galiani [...]* dedicata alla maestà di Carlo Re delle Due Sicilie. B. Galiani (a cura di). Napoli: Stamperia Simoniana (Di Simone).
- UNESCO. (2003). *Charter on the Preservation of the Digital Heritage*. <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000179529>> (consultato il 4 giugno 2024).
- UNESCO. (2009). *World Heritage Cultural Landscape*. <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000187044>> (consultato il 4 giugno 2024).
- UNESCO. (2019). *World Heritage Resource Manual*. <<https://whc.unesco.org/en/resourcemanuals/>> (consultato il 4 giugno 2024).