

Modelli informativi digitali di architettura militare della prima età moderna. Il caso del *Corno Dogale* di Pietro Sardi

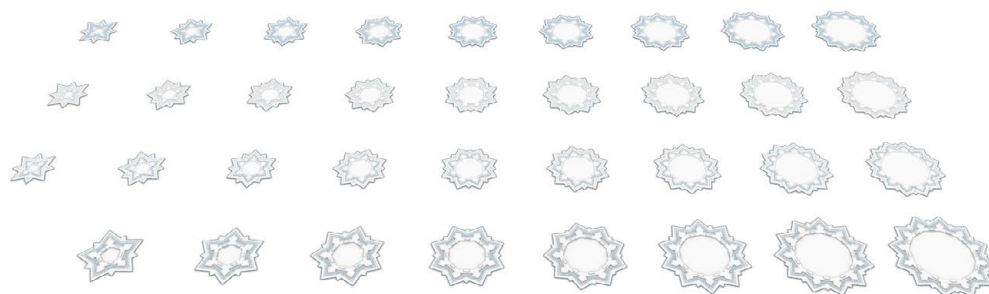
Piergiuseppe Rechichi
Virginia Miele
Marco Giorgio Bevilacqua

Abstract

La cultura progettuale militare di età moderna, tradotta dalla trattatistica specializzata, consiste in un complesso sistema di conoscenza testuale e iconografica scarsamente accessibile per pubblici non specializzati. Processi di digitalizzazione di questo sistema di conoscenza, obiettivo chiave del progetto PRIN 2022 INFORTREAT, possono restituire modelli informativi digitali tridimensionali accessibili per un pubblico più ampio, facilitandone la diffusione ed interpretazione. Il presente studio si concentra sulla sperimentazione condotta sul *Corno Dogale della Architettura Militare* dell'ingegnere romano Pietro Sardi del 1639, trattato in sette libri in cui è raccolto il sapere militare dell'ingegnere. In particolare, sono analizzati, verificati e discussi i principi di delineazione geometrica della difesa per fortezze poligonali regolari, la strutturazione in pianta e sezione delle parti della fortezza e le indicazioni di carattere costruttivo correlate a ciascuna di esse. L'integrazione tra la modellazione parametrica e il Building Information Modeling (BIM) consente una efficace realizzazione di modelli informativi digitali dinamici. I modelli sono informati con nozioni di carattere costruttivo e riferimenti puntuali al trattato, facilitando la lettura critica dell'architettura militare secondo Pietro Sardi e consentendo un'analisi geometrico-dimensionale. L'estensione di questa metodologia ad altri trattati e autori potrebbe consentire analisi comparative tra molteplici modelli fortificatori ideali.

Parole chiave

modellazione parametrica, modellazione computazionale, architettura militare, Pietro Sardi, Corno Dogale



I modelli di fortezze
regolari del *Corno
Dogale* [Sardi 1639].
Elaborazione di
Piergiuseppe Rechichi.

Introduzione

L'evoluzione delle tecnologie digitali nell'ambito della documentazione del patrimonio architettonico ha permesso negli anni l'elaborazione di una quantità sempre maggiore di dati [Chiabrando et al. 2017; Croce et al. 2019]. Un'evoluzione smisurata che può rendere però latente la dimensione critico-interpretativa, rivelando la necessità di aumentare il valore informativo delle rappresentazioni digitali e di conseguenza la loro intelligibilità [Lo Buglio, De Luca 2012]. In letteratura, alcune ricerche evidenziano come sia importante avanzare soluzioni che propongano l'interpretazione di modelli concettuali ricavati dalla trattatistica [De Luca 2014], formalizzando la conoscenza per la generazione di librerie di forme-modello di architettura [Carpo 2016, De Luca et al. 2007, Cache 2009], o costruendo un sistema informativo che restituisca un'interpretazione semantica dei modelli teorici [Apollonio et al. 2013]. Diverse sperimentazioni in ambito metodologico mirano a tradurre digitalmente il ragionamento sulla teoria delle proporzioni architettoniche, come lo studio di Giovannini su *I quattro libri dell'architettura* di Palladio con applicazioni VPL in ambiente HBIM [Giovannini 2023]. La ricostruzione digitale 3D, a partire dalle descrizioni contenute nei trattati, permette la comprensione attraverso analisi grafiche, e rende immaginabile l'architettura narrata o ideale [Palestini 2017]; a tale scopo, appare fondamentale, però, disseminare e rendere fruibile la conoscenza generata, anche grazie all'uso di piattaforme *web-based*, come evidenziano De Luca e Stefanini [De Luca et al. 2011; Stefanini et al. 2013].

Se nel campo della digitalizzazione e della fruizione dei modelli teorici di architettura civile lo stato dell'arte evidenzia un apprezzabile stato di avanzamento, meno significativo è il contributo delle ricerche nell'ambito più settoriale dell'architettura militare. Per questo motivo, il progetto PRIN 2022 INFORTREAT si pone l'obiettivo di rendere accessibile il sapere costruttivo di architettura militare così come descritto dalla principale trattatistica di età moderna (sec. XVI-XVIII), traducendolo in modelli informativi digitali 3D consultabili ed interrogabili via web.

Nell'ambito del progetto, il contributo espone i risultati di una prima sperimentazione sui modelli di fortezze regolari descritti nei libri Secondo e Terzo del *Corno Dogale della Architettura Militare* di Pietro Sardi del 1639. Nella sperimentazione, è verificata l'efficacia di un approccio parametrico alla modellazione per la trascrizione 'digitale' delle prescrizioni descritte.

Il Corno Dogale di Pietro Sardi

Nell'ambito della teoria di architettura militare tra la fine del '500 e la prima metà del '600, è significativo il contributo di Pietro Sardi, ingegnere militare romano. Autore di diversi trattati di architettura militare e artiglieria, Sardi è tra i più autorevoli sostenitori del 'secondo fianco': "la difesa delle fronti del baluardo dall'angolo del fianco è falsa difesa, né si deve giamai prendere" [Sardi 1618, Trattato Secondo, p. 8]. Nel 1639 pubblica il *Corno Dogale Della Architettura Militare*. Sette i libri che compongono il trattato; tra questi di particolare interesse sono il Secondo e il Terzo. Nel Secondo, sono riproposti e integrati i modelli di tradizione italiana già descritti nella sua prima opera del 1618 [Sardi 1618], che qui definiremo 'alla maniera del Sardi' per distinguerli da quelli del Libro Terzo, dedicato alla 'maniera olandese' di fortificare, con cortina e baluardi interamente in terra e dotati di falsebraghe, mezzelune, tenaglie e corone, ed espressi riferimenti a Marolois [Marolois 1627].

Le figure Prima, Seconda e Terza del Libro Secondo rappresentano la delineaione planimetrica e altimetrica della fortificazione. Sardi adotta ampi terrapieni incamiciati da muraglie con cavalieri nel mezzo delle cortine, fossi difesi da trincere di terra a denti trasversali, e strade coperte con ridotti. Le misure sono espresse in piedi geometrici, probabilmente veneziani, come suggerito da Moore [Moore 1673, pp. 22-23], un piede pari a 0,3477 metri [Martini 1883, p. 817].

Nella figura (fig. 1) è verificata la costruzione dei modelli di poligoni regolari del Libro Secondo. Sono vincolate le dimensioni del lato del poligono (800 piedi), del fianco e delle mezze gole dei baluardi (entrambi 150 piedi). Tracciato il poligono ideale, nota la misura del

lato, è formata una scala, la cui sedicesima parte corrisponderà a 50 piedi. Sono pertanto tracciate le mezze gole (AB) e i fianchi dei baluardi (BC) ortogonali ai lati. I punti della difesa (D) sono determinati in funzione dei lati del poligono (a distanza 'd' dal fianco): $1/10$ della cortina (EB) per il pentagono, $1/4$ per l'esagono, $1/3$ dall'eptagono all'ennagono, $1/2$ dal decagono al dodecagono e secondo giudizio per più lati. Dai punti della difesa sono tracciate le linee scovanti (DC) definendo pertanto le fronti dei baluardi (CO); completano lo schema le linee ficcanti (EO). Nel Libro Terzo, dedicato alla 'maniera olandese', Sardi propone la nomenclatura dei vari componenti associata alla Figura Prima Olandese [Sardi 1639, p.123], a cui fa seguito la costruzione geometrica. Le misure sono espresse in verghe olandesi, plausibilmente misurate nella scala del Reno, con una verga pari a 3,767 metri [Martini 1883, p. 30]. Merita evidenziare come Sardi - come altri trattatisti del tempo [Bevilacqua 2015, p. 97] - per comodità d'uso e semplicità di calcolo, suddivide su base 10 il sistema duodecimale della verga, proponendo una conseguente misura del piede più grande [Sardi 1639, p.132].

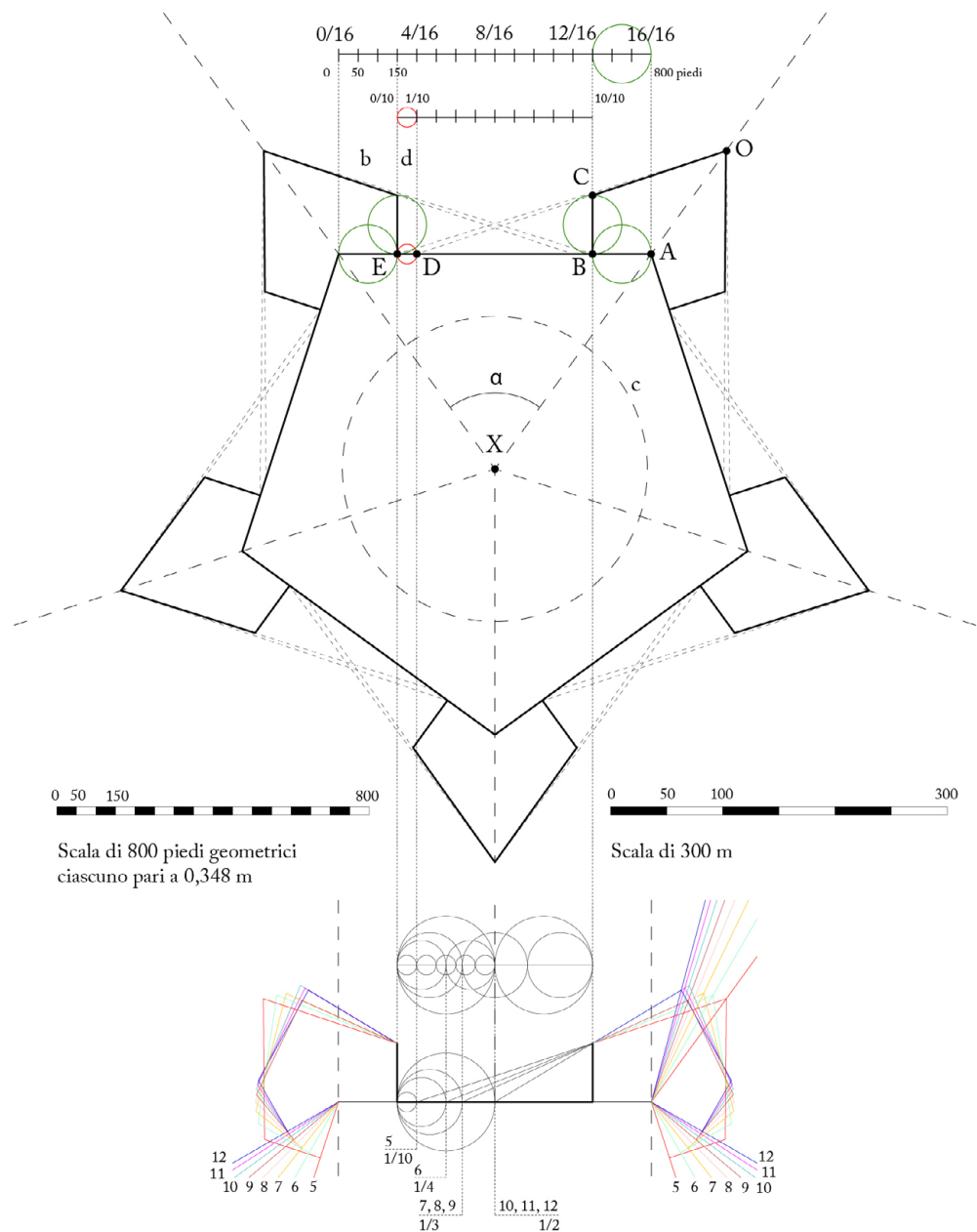


Fig. 1. Costruzione geometrica di fortificazioni poligonali regolari del Libro Secondo del *Corno Dogale*. In alto, schema applicato a una fortezza pentagonale. In basso, sovrapposizione di profili planimetrici associati a poligoni regolari di lato 800 piedi. Elaborazione di Piergiuseppe Rechichi.

La figura (fig. 2) ripropone il procedimento per la costruzione geometrica di poligoni regolari del Libro Terzo. La costruzione si basa sugli angoli interni al poligono. Definito il vertice (O) vengono ricavati convenzionalmente gli angoli al centro (α) e interno del poligono (β è il semiangolo interno). Sono quindi tracciate le rette yy, xx e cc, quest'ultima asse capitale. Su yy è individuato liberamente il punto A, estremo interno della linea capitale. L'angolo difeso è posto pari a β maggiorato di 15° . Il semiangolo difeso γ misurato a partire da cc, individua la retta ss. Dal punto A è tracciata una retta inclinata di 40° (jj) rispetto alla retta cc, parallela a yy da A. L'intersezione tra jj e ss definisce la spalla (C) del baluardo. La lunghezza della cortina libera è posta pari a una volta e mezza la lunghezza del fronte (m_1). Sono, pertanto, riportate le misure del fianco (m_2), della mezzagola (m_3) e della fronte del baluardo (m_1). Il processo può essere iterato per ogni poligono modificando il valore dell'angolo al centro e a cascata tutti gli angoli di costruzione. La raffinatezza della costruzione consente di progettare fortezze con fronti di misura prefissata 24 verghe e conseguenti cortine di 36 verghe.

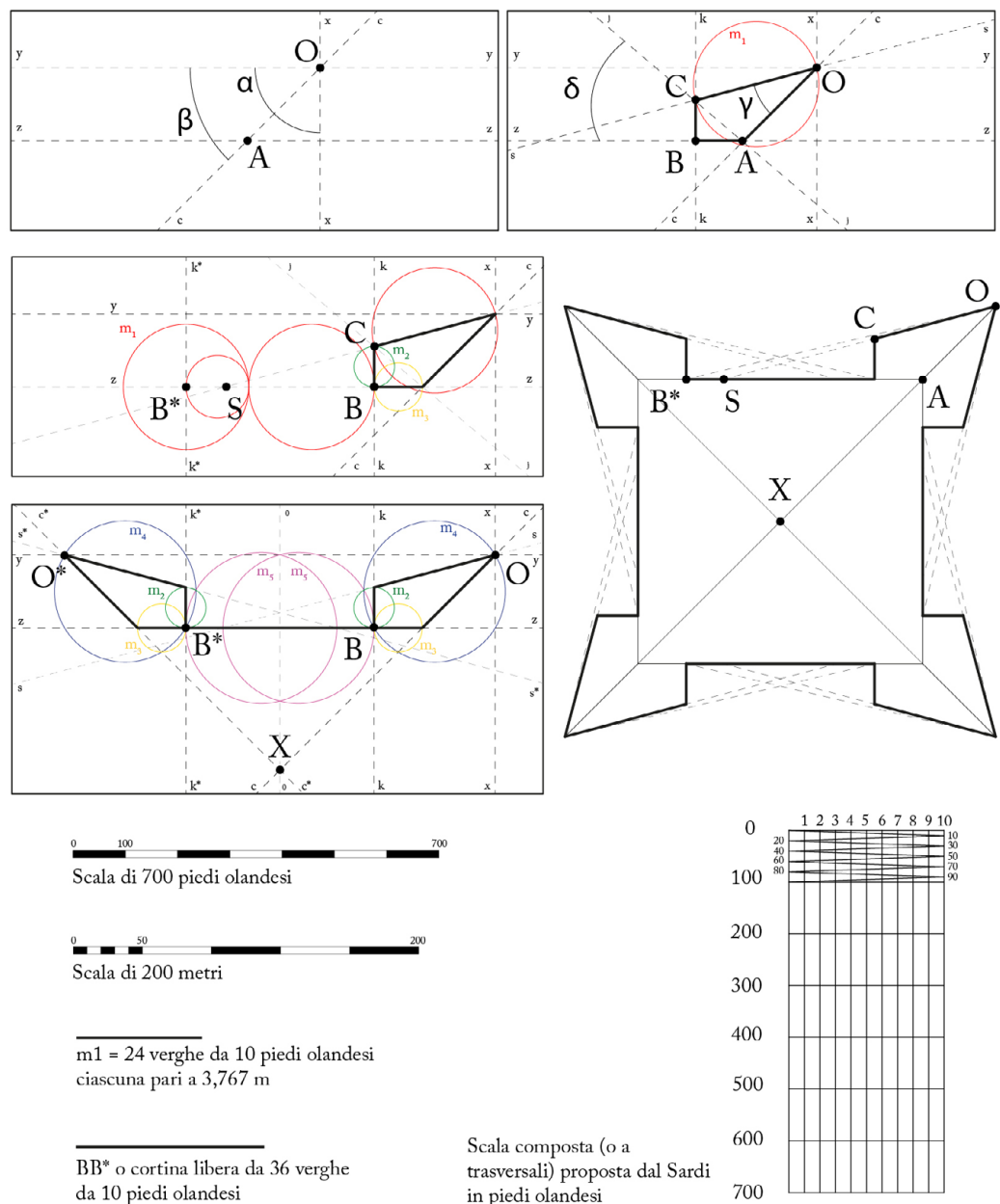


Fig. 2. Costruzione geometrica - alla 'maniera olandese' - del profilo planimetrico di fortificazioni poligonali regolari del Libro Terzo del *Corno Dogale*. Elaborazione di Piergiuseppe Rechichi.

Di particolare rilievo la rappresentazione di una scala composta - o 'a trasversali' - di 700 piedi [Sardi 1639, Fig. XIII Olandese, p. 133; Bevilacqua, Spallone 2024], proporzionata da Sardi sulla dimensione mI ricavata graficamente, e utilizzata per misurare ciascun componente e compilare la "tavola dei poligoni regolari" [Sardi 1639, p. 139], che esprime in tabella tutti i dati necessari per la costruzione dei tracciati. Sardi propone infine tre possibili sezioni altimetriche [Sardi 1639, Fig. XII Olandese e sua nomenclatura, p. 129-131].

Metodologia

La costruzione di modelli informativi basati sui modi di fortificare proposti dal Sardi nel *Corno Dogale* è finalizzata alla costruzione di uno strumento critico per la rappresentazione e misurazione dei modelli teorici. La metodologia adottata è strutturata in quattro fasi principali (fig. 3): analisi del trattato; ridisegno critico dei modelli; parametrizzazione digitale e modellazione in *Grasshopper*; integrazione in ambiente BIM.

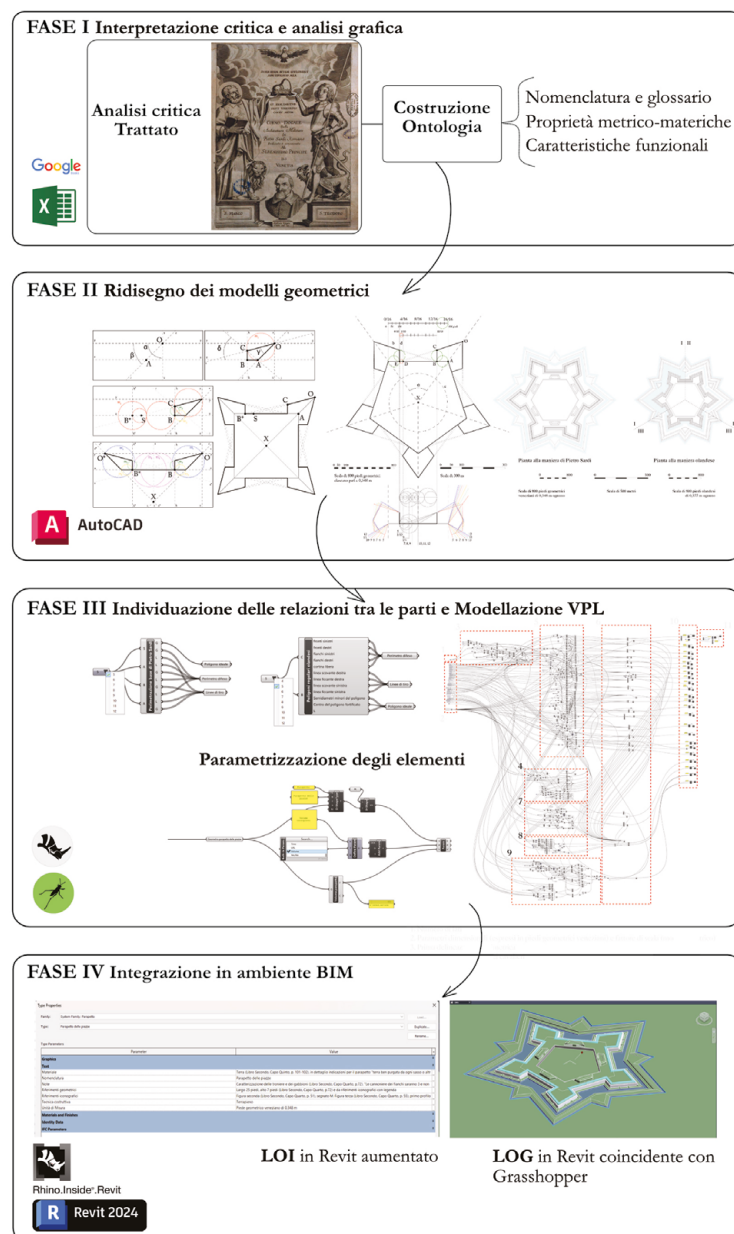


Fig. 3. Schema Metodologico. Elaborazione di Virginia Miele.

Dall'analisi del trattato sono estratte le informazioni di tipo ontologico, dimensionale e funzionale relative alla costruzione geometrica e alla caratterizzazione delle parti. L'impulso evolutivo delle tecnologie militari dalla seconda metà del Cinquecento ha determinato una transizione progettuale verso modelli basati su precise regole di tracciamento. La crescente rilevanza di simili criteri di progettazione si traduce nella prescrizione di modelli che possono assumere caratterizzazione parametrica. Sardi racchiude nelle due costruzioni geometriche, con complessivi quattro profili di sezione, ben 35 modelli di fortificazione. Attraverso l'utilizzo di strumenti di modellazione parametrica è possibile ricostruire queste logiche progettuali, facilitando la realizzazione e gestione dinamica dei modelli, che possono essere successivamente trasferiti in ambiente BIM per la loro informazione e consultazione.

Risultati e Discussione

La profilazione geometrica è stata replicata direttamente in *Grasshopper* con due script ('maniera del Sardi' e 'maniera olandese') capaci di adattare la configurazione al numero di lati del poligono. Il processo di traduzione è facilitato dalla possibilità di scalare e specchiare le parti della fortificazione in via computazionale e non grafica. Per i modelli 'olandesi', il proporzionamento delle parti ottenuto per via grafica da Sardi e documentato nella "tavola dei poligoni regolari", è stato confrontato numericamente con il proporzionamento ottenuto replicando digitalmente la costruzione, verificando scostamenti medi inferiori alle 30 once (un'oncia decima parte del piede).

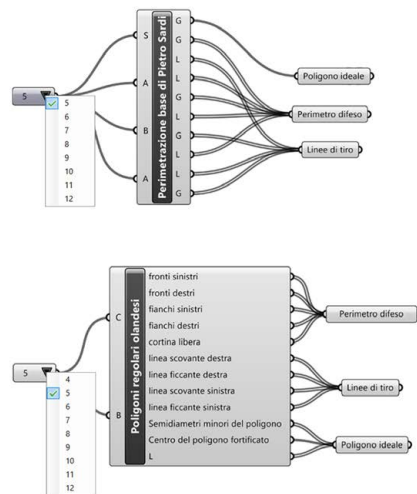
L'output grafico di questa elaborazione consiste negli schemi lineari che definiscono la fortificazione: poligono ideale, profilo difensivo, linee di difesa (scovanti e ficcanti). In figura (fig. 4), sono messe a confronto nella stessa scala le due maniere di fortificare; si noti come la maniera olandese generi fortezze di dimensioni sensibilmente minori.

La definizione ontologica delle parti della fortificazione è frutto dell'analisi del materiale testuale e iconografico del trattato e si concretizza in una tabella Excel informata con i rimandi diretti al testo, le descrizioni, le dimensioni delle parti e le unità di misura di riferimento. I profili di sezione dei due modelli fortificatori (fig. 5) interpretano criticamente le informazioni ricavate dal testo combinandole con informazioni estrapolate per via grafica dalle figure di Sardi.

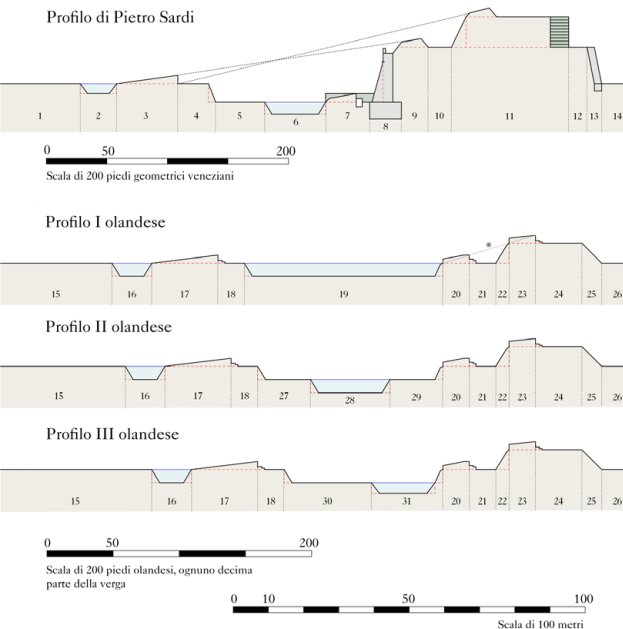
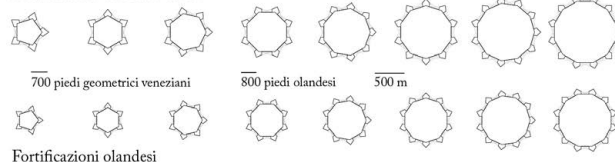
In figura (fig. 6) sono poste a confronto le proiezioni icnografiche di fortezze pentagonali progettate secondo i due modelli. Per la 'maniera olandese' sono proposti, in settori distinti, i tre profili di sezione descritti da Sardi. Per le fortezze del Libro Secondo, Sardi non dà indicazioni sul metodo di tracciamento dei ridotti, qui riproposti sulla base dell'analisi grafica della Figura Quarta (fig. 7) [Sardi 1639, p.56].

Al fine di garantire la massima governabilità del modello, sono state modellate polisuperfici chiuse a partire da polilinee chiuse; ognuna di queste, per natura progettuale, può essere espressa come *offset*, *traslazione* (verticale), *intersezione* e/o *unione* della prima profilazione difensiva o del poligono di base. Avvalendosi di *loft* e *boundary surfaces* è stato possibile realizzare le singole superfici planari da polilinea a polilinea; queste ultime sono state riunite secondo le scelte ontologiche in *closed polysurfaces* corrispondenti alle singole entità costituenti la fortificazione (fig. 8).

Il plugin *Rhino.Inside.Revit* consente di aprire lo script *Grasshopper* direttamente in *Revit*. I modelli 3D (fig. 9) sono collegati al file *Revit* come *Direct Shapes*; tali istanze sono visibili e modificabili in *Revit*, e continuamente correlate allo script *Grasshopper*, da cui è possibile modificare il numero di lati del poligono. I parametri dipendenti dalla geometria sono stati creati e informati in *Grasshopper* come 'Parametri di Istanza' e si aggiornano al variare del poligono (fig. 10). I parametri invarianti legati alla caratterizzazione delle parti della fortificazione e alle tecniche costruttive, con riferimenti al trattato, sono stati creati e informati in *Revit* come parametri di 'Tipo'. Le modifiche realizzate in *Revit* alle proprietà informative della *Direct Shape* sono preservate quando si opera una variazione parametrica con *Grasshopper*. Il file *Revit* preserva il LOI e il LOG del modello e quindi può essere utilizzato in modalità *stand-alone*.



Fortificazioni di Pietro Sardi



1. Piano di campagna
 2. Fosso esterno
 3. Parapetto della strada coperta
 4. Controscarpa e strada coperta
 5. Fosso secco
 6. Cunetta
 7. Trincea a denti a difesa del fosso
 8. Muraglia con cordone, parapetto e fondazione
 9. Parapetto
 10. Piazza davanti al cavaliere
 11. Cavaliere con la sua scarpa, parapetto, piazza e scala
 12. Transito
 13. Muraglia interna al terrapieno
 14. Piano della fortezza
 15. Piano di campagna
 16. Fosso esterno
 17. Parapetto della strada coperta
 18. Strada coperta
 19. Fosso pieno
 20. Parapetto della falsabruga
 21. Falsabruga
 22. Scarpa del terrapieno
 23. Parapetto
 24. Piazza
 25. Scarpa interna al terrapieno
 26. Piano della fortezza
 27. Fosso secco e controscarpa
 28. Cunetta
 29. Fosso secco e scarpa della falsabruga
 30. Fosso secco e controscarpa
 31. Cunetta e scarpa della falsabruga
- *. pendenza teorica dei parapetti verso il fosso

Fig. 4. Abaco dei profili planimetrici con associati i due script in Grasshopper. Elaborazione di Piergiuseppe Rechichi.

Fig. 5. Profili di sezione del Corno Dogale. Elaborazione di Piergiuseppe Rechichi.

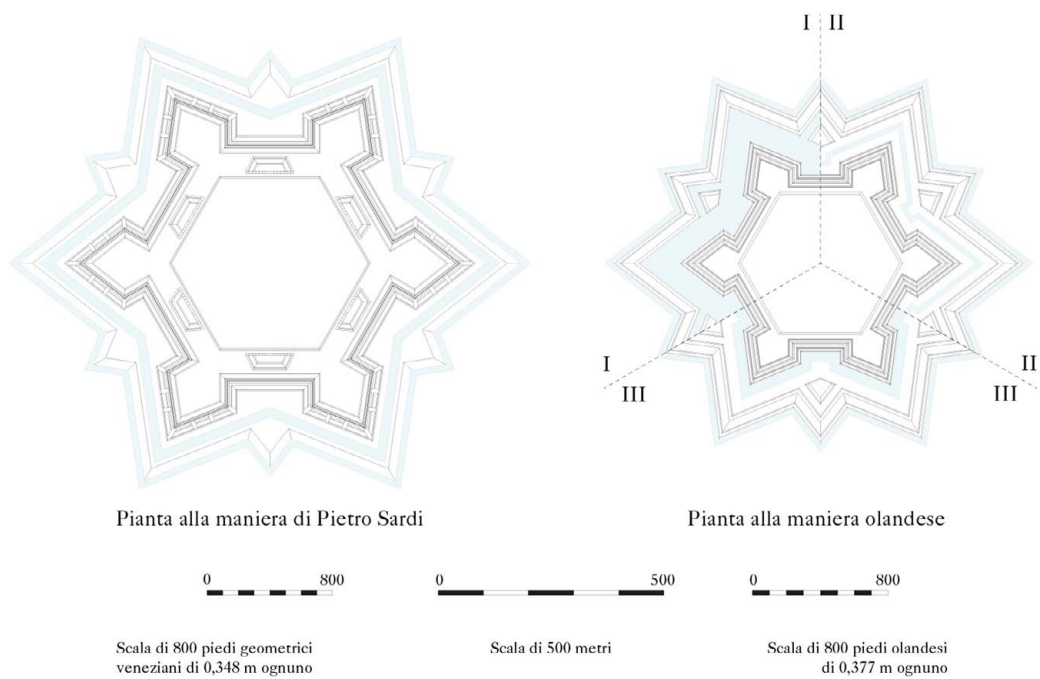


Fig. 6. Pianta di fortificazioni esagonali, secondo le due 'maniere'. Elaborazione di Piergiuseppe Rechichi.

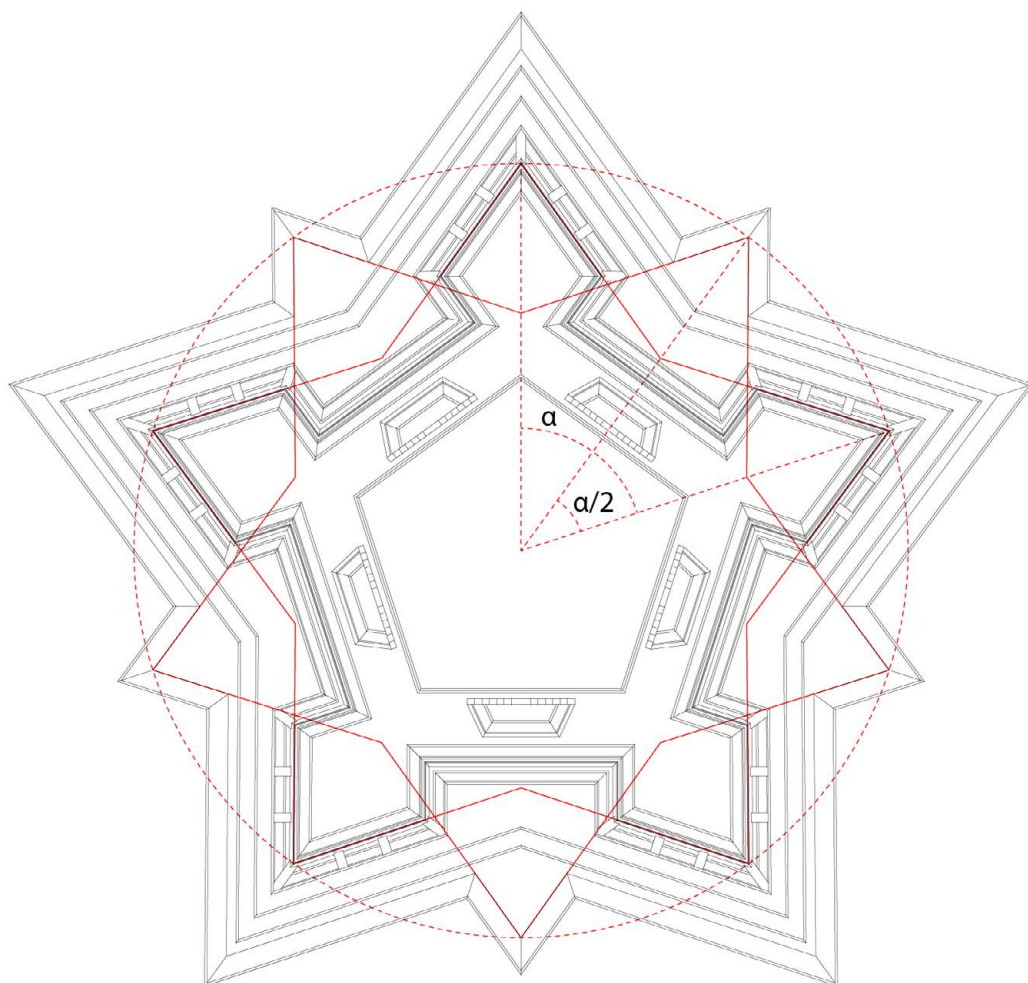


Fig. 7. Tracciamento planimetrico dei ridotti su figura fortificata pentagonale. Elaborazione di Piergiuseppe Rechichi.

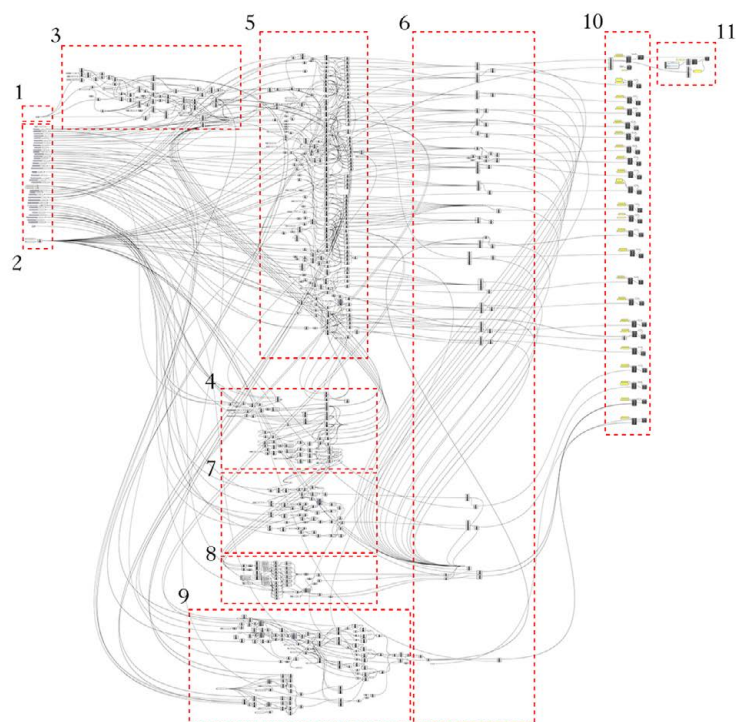
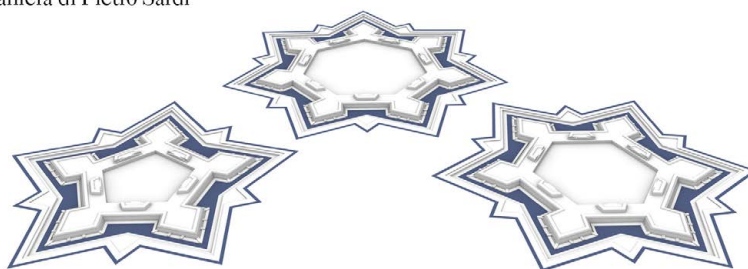


Fig. 8. Script in Grasshop-
per per la modellazione
delle fortificazioni del
Libro Secondo del *Corno
Dogale*. Elaborazione di
Piergiuseppe Rechichi.

1. Numero di lati
2. Parametri dimensionali (espressi in piedi geometrici veneziani) e fattore di scala (modello metrico)
3. Prima delineazione planimetrica
4. Tracciamento in pianta dei cavalieri
5. Polilinee spezzate chiuse per ogni variazione di pendenza
6. Modelli 3D delle singole entità della fortificazione (closed polysurfaces)
7. Corpo e parapetto dei cavalieri
8. Scale dei cavalieri
9. Denti della trincerata a difesa del fosso
10. Importazione Rhino.Inside.Revit
11. Aggiunta di un parametro di informazione con il suo valore

Maniera di Pietro Sardi



Maniera olandese

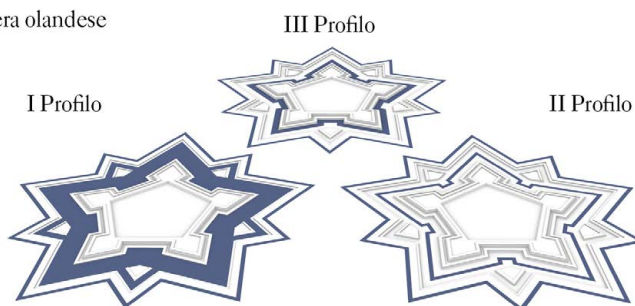


Fig. 9. Esempi di
modelli di fortificazioni
del *Corno Dogale*.
Elaborazione di
Piergiuseppe Rechichi.

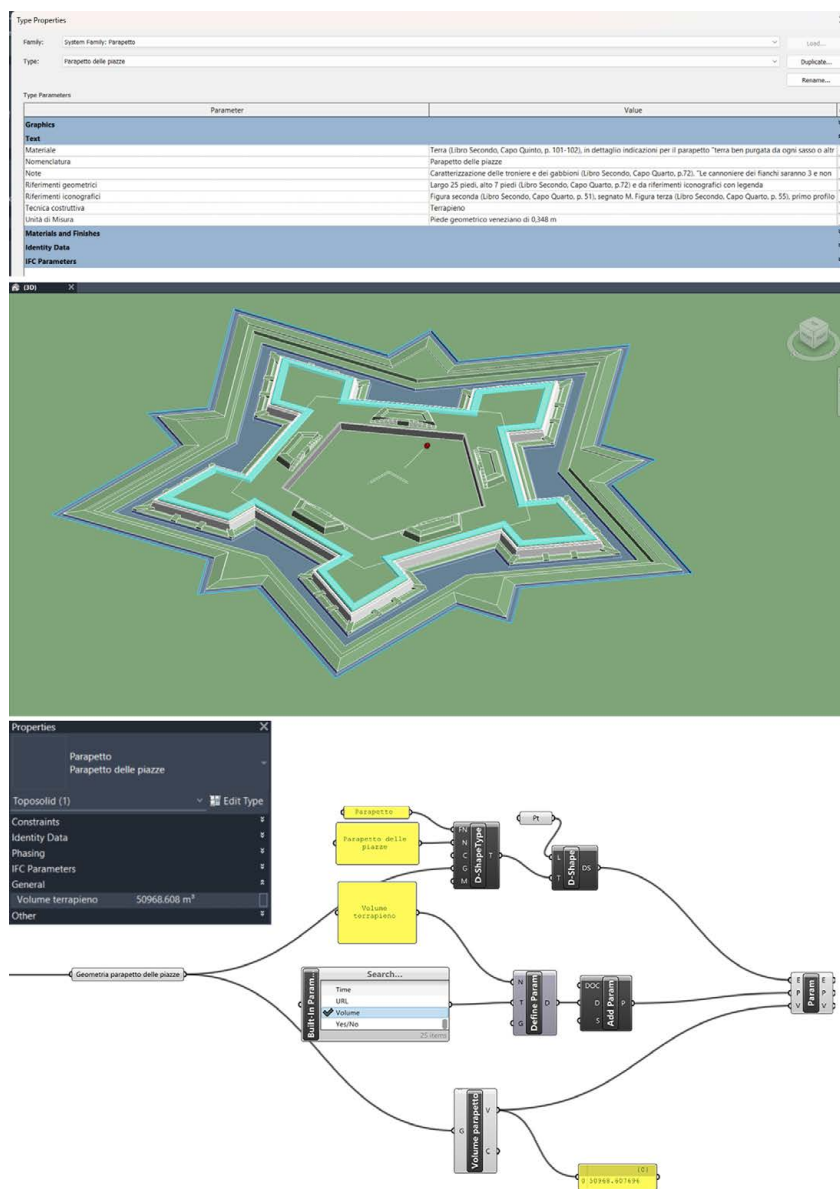


Fig. 10. Esempio di informazione del modello per l'entità 'Parapetto delle piazze'. Elaborazione di Piergiuseppe Rechichi.

Conclusioni

La traduzione digitale dei modelli fortificatori del *Corno Dogale* ha evidenziato la loro natura parametrica, di radice fortemente geometrica. Le logiche progettuali di Sardi sono risultate pertanto trasponibili in VPL ed aprono la strada all'applicazione della metodologia testata ad altri trattati. Il processo sperimentato ha inoltre evidenziato la possibilità di fornire uno strumento per la lettura critica comparata tra diversi modelli fortificatori.

L'integrazione tra VPL e BIM consente di gestire efficacemente la produzione e l'informazione dinamica dei modelli, riducendo le tempistiche di elaborazione rispetto ad un approccio tradizionale. L'importazione geometrica e l'informazione su parametri personalizzati è facilmente conseguibile, più complessa è la gestione in BIM delle caratteristiche costruttive interne alle entità modellate. Tale aspetto, che il *Corno Dogale* non permette di sviluppare in quanto maggiormente orientato alla definizione dei principi di profilazione geometrica piuttosto che alla descrizione delle tecniche costruttive, sarà oggetto di future sperimentazioni. Si prevede, inoltre, di implementare i modelli digitali ai fini della loro consultazione in piattaforme web-based.

Crediti

Studio finanziato dall'Unione Europea – Next-GenerationEU - Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) – MISSIONE 4 COMPONENTE 2, INVESTIMENTO N. 1.1, BANDO PRIN 2022 D.D. 104 del 02-02-2022 – (INFORTREAT. Reconstructing the Early Modern bastioned front. INformation models for the fruition of constructive knowledge in FORtified architecture TREATises (16th-18th Century): a new integrated analysis tool for the interpretation, restoration and maintenance of Early Modern fortified heritage). CUP N. I53D23005420006. PI.: M.G. Bevilacqua, Università di Pisa. Contributo autori: *Introduzione*: MGB, VM; *Il Corno Dogale di Pietro Sardi*: PR; *Metodologia*: MGB, PR, VM; *Risultati e Discussione*: PR; *Conclusioni*: MGB.

Riferimenti bibliografici

Apollonio F.I. et al. (2013). The Palladio Library Geo-Models: an open 3D archive to manage and visualize information-communication resources about Palladio. In *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W2(5), pp. 49-54. <<https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W2-49-2013>> (consultato il 2 Giugno 2024).

Bevilacqua M.G. (2015). Le scale grafiche nella trattatistica europea di architettura militare tra Cinque e Settecento. In A. Fara (a cura di). *Giuseppe Ignazio Bertola (1676-1755). Il disegno e la lingua dell'architettura militare*, pp. 95-101. Firenze: Angelo Pontecorboli Editore.

Bevilacqua M.G., Spallone R. (2024). Composed Graphic Scales in the European Military Treatises and Manuals from the 17th to the 19th Centuries. In L. Hermida González, J.P. Xavier, I. Pernas Alonso, C. Losada Pérez (a cura di). *Graphic Horizons. EGA 2024. Springer Series in Design and Innovation*, vol. 44, pp. 180-189. Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-57579-2_22>

Cache B. (2009). *Fortuito supra acanthi radicem: Essai de lecture contemporaine du De Architectura de Vitruve*, tesi di dottorato in architettura, relatore Prof. P. Philippe. Université Pierre Mendès France.

Carpo M. (2016). Parametric Notations. The Birth of the Non-Standard. In *Architectural Design*, vol. 86, n. 2, pp. 24-29. <<https://doi.org/10.1002/ad.2020>> (consultato il 2 Giugno 2024).

Chiabrando F., Lo Turco M., Santagati C., (2017). Digital invasions: from point clouds to historical building object modeling (H-BOM) of a UNESCO WHL Site. In *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W3, pp. 171-178. <<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-171-2017>> (consultato il 2 Giugno 2024).

Croce V. et al. (2019). Geomatics for Cultural Heritage conservation: integrated survey and 3D modeling. In *Proceedings of 2019 IMEKO TC-4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage*. Florence, Italy, 4-6 December 2019, pp. 271-276.

De Luca L. (2014). Methods, formalisms and tools for the semantic-based surveying and representation of architectural heritage. In *Applied Geomatics*, vol. 6, pp. 115-139. <<https://doi.org/10.1007/s12518-011-0076-7>> (consultato il 2 Giugno 2024).

De Luca L. et al. (2011). A semantic-based platform for the digital analysis of architectural heritage. In *Computers & Graphics*, vol. 35, n. 2, pp. 227-241. <<https://doi.org/10.1016/j.cag.2010.11.009>> (consultato il 2 Giugno 2024).

De Luca L., Véron P., Florenzano M. (2007). A generic formalism for the semantic modeling and representation of architectural elements. In *The visual computer*, vol. 23, n. 3, pp. 181-205. <<https://doi.org/10.1007/s00371-006-0092-5>> (consultato il 2 Giugno 2024).

Giovannini E.C. (2023). Making Palladio Digitally Explicit: Geometrical Parameters in Door's Ornaments. In *Nexus Network Journal*, vol. 25, pp. 773-794. <<https://doi.org/10.1007/s00004-023-00658-8>> (consultato il 2 Giugno 2024).

Lo Buglio D., De Luca L. (2012). Representation of architectural artifacts: definition of an approach combining the complexity of the 3d digital instance with the intelligibility of the theoretical model. In *SCIRES-IT*, vol. 2, n. 2, pp. 63-76. <<http://dx.doi.org/10.2423/22394303v2n2p63>> (consultato il 2 Giugno 2024).

Marolois S. (1627). *Fortification ou Architecture militaire tant offensive que defensive*. Amsterdam: Ian Iansen.

Martini A. (1883). *Manuale di metrologia, ossia misure, pesi e monete in uso attualmente e anticamente presso tutti i popoli*. Torino: Loescher.

Moore J. (1673). *Modern Fortification: or, Elements of military architecture*. London: W. Godbid.

Palestini C., (2017). Imagination and Images: From the Treatise to the Digital Representation. Sforzinda and the Bridges in the Inda Valley. In *Proceedings*, vol. 1, n. 9, 893. <<https://doi.org/10.3390/proceedings1090893>> (consultato il 2 Giugno 2024).

Sardi P. (1618). *Corona imperiale dell'Architettura militare*. Venezia: Barezzo Barezzi.

Sardi P. (1639). *Corno Dogale della Architettura Militare di Pietro Sardi Romano*. Venezia: I Giunti.

Stefani C. et al. (2013). A web platform for the consultation of spatialized and semantically enriched iconographic sources on cultural heritage buildings. In *Journal on Computing and Cultural Heritage*, vol. 6, n. 13, pp. 1-17. <<https://doi.org/10.1145/2499931.2499934>> (consultato il 2 Giugno 2024).

Autori

Piergiuseppe Rechichi, Università di Pisa, piergiuseppe.rechichi@phd.unipi.it

Virginia Miele, Università di Pisa, virginia.miele@ing.unipi.it

Marco Giorgio Bevilacqua, Università di Pisa, marco.giorgio.bevilacqua@unipi.it

Per citare questo capitolo: Piergiuseppe Rechichi, Virginia Miele, Marco Giorgio Bevilacqua (2024). Modelli informativi digitali di architettura militare della prima età moderna. Il caso del Corno Dogale di Pietro Sardi/Digital informative models of early modern military architecture. The case of the Corno Dogale by Pietro Sardi. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (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, pp. 3603-3626.

Digital informative models of early modern military architecture. The case of the *Corno Dogale* by Pietro Sardi

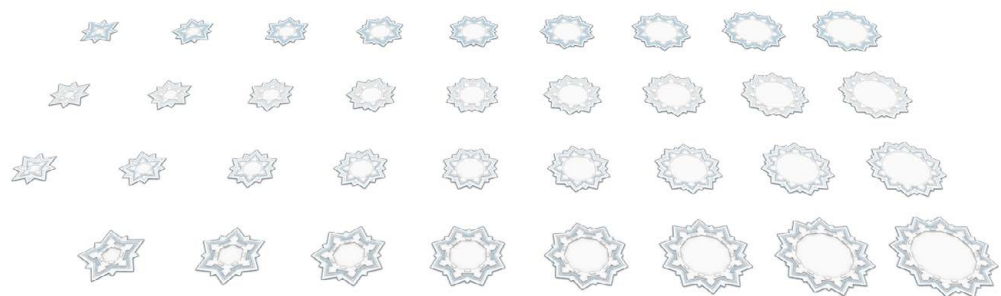
Piergiuseppe Rechichi
Virginia Miele
Marco Giorgio Bevilacqua

Abstract

The Early Modern Age military architecture culture, as described in specialized treatises, consisted of a complex system of textual and iconographic knowledge that is relatively unavailable to the non-specialist public. Digitalizing this knowledge is a key objective of the PRIN 2022 INFORTREAT project, which aims to make 3D digital information models accessible to a wider audience, facilitating their dissemination and interpretation. The present study focuses on experimentation conducted on the *Corno Dogale della Architettura Militare* (1639), comprising seven books compiling the military knowledge of the Roman engineer Pietro Sardi. In particular, the principles of geometric delineation of the defense for regular polygonal fortresses, the plan and section structuring of the parts of the fortress, and the construction indications related to each part are analyzed, verified, and discussed. The integration between parametric modeling and Building Information Modeling (BIM) allows for the effective creation of dynamic digital information models. These models are informed by concepts relating to construction and by specific references to the *Corno Dogale* treatise, facilitating the critical reading of military architecture according to Pietro Sardi and enabling a geometric-dimensional analysis. The extension of this methodology to other treatises and authors could allow comparative analyses among various models of fortifications.

Keywords

parametric modeling, computational modeling, military architecture, Pietro Sardi, Corno Dogale



Models of regular fortresses of the *Corno Dogale* [Sardi 1639]. Elaboration by Piergiuseppe Rechichi.

Introduction

In recent years, advancements in digital technologies for the documentation of architectural heritage have significantly enhanced the ability to process increasing volumes of data [Chiabrando et al. 2017; Croce et al. 2019]. This exponential growth, however, may obscure the critical-interpretive dimension, highlighting the need to enhance the informational value and intelligibility of digital representations [Lo Buglio, De Luca 2012]. Within the literature, numerous studies emphasize the importance of developing solutions that provide interpretation of conceptual models derived from treatises [De Luca 2014], formalizing knowledge for the creation of libraries of architectural model forms [Carpo 2016; De Luca et al. 2007; Cache 2009] or constructing information systems that offer semantic interpretations of theoretical models [Apollonio et al. 2013]. Various methodological experiments aim to digitally translate the reasoning underlying the theory of architectural proportions, such as Giovannini's study [Giovannini 2023] on Palladio's *The Four Books of Architecture* using Visual Programming Language (VPL) applications within the Historic Building Information Modeling (HBIM) environment. Digital 3D reconstruction based on descriptions found in treatises facilitates understanding through graphic analyses, making the narrated or ideal architecture conceivable [Palestini 2017]. Therefore, it is essential to disseminate and make the generated knowledge accessible via web-based platforms, as emphasized by De Luca and Stefanini [De Luca et al. 2011; Stefanini et al. 2013].

While significant progress has been made in digitizing and utilizing theoretical models of civil architecture, research contributions in the specialized field of military architecture remain less substantial. To address this gap, the PRIN 2022 INFORTREAT project aims to render the constructive knowledge of military architecture - as described in key treatises of the modern age (16th-18th centuries) - accessible through the translation of 3D digital information models that can be consulted and queried. Within the framework of this project, this paper presents the results of an initial experiment focused on the models of regular fortresses described in the second and third books of Pietro Sardi's *Corno Dogale della Architettura Militare* (1639). The experiment assesses the effectiveness of a parametric modeling approach for the 'digital' transcription of the described prescriptions.

The *Corno Dogale* by Pietro Sardi

Pietro Sardi, a Roman military engineer, significantly contributed to military architecture theory between the end of the 16th century and the first half of the 17th century. His authorship of several military architecture and artillery treatises documents his relevance. He was one of the most prominent supporters of the second flank: "la difesa delle fronti del baloardo dall'angolo del fianco è falsa difesa, né si deve giamai prendere" [Sardi 1618, Trattato Secondo, p. 8]. The *Corno Dogale dell'Architettura Militare* was published in 1639 and consisted of seven books; the second and third books are particularly relevant among them. The second book reiterates and integrates the fortification models already described in the 1618 treatise [Sardi 1618]; these models will be referred to as "in the manner of Sardi" to distinguish them from those of the third book. The models presented in the third book can be referred to as "in the Dutch manner," as they are earthen fortification models with faussebrayes, demilunes, and tenaille systems, with explicit references to Marolois [Marolois 1627]. In the second book, the first, second, and third figures represent the planimetric and altimetric outline of the fortification. Sardi proposed wide terrepleins encapsulated by walls, with cavaliers placed in the centreline of the curtains. Extensive moats would have been defended by earthen trenches with transverse defenses ("trincera a denti"), and the covered way was characterized by "ridotti". Measurements in the treatise are expressed in geometrical feet, to be probably understood as Venetian feet, as suggested by Moore [Moore 1673, pp. 22-23] corresponding to 0.3477 m [Martini 1883, p. 817]. The figure (fig. 1) depicts the construction of regular polygonal fortification models according to the second book.

The length of each side of the polygon is set at 800 feet, and the length of flanks and half-gorges is set at 150 feet. Once the ideal polygon is plotted, it can be divided into 16 parts

of 50 feet each so that half-gorges (AB) and flanks (BC, orthogonal to the curtain) of the bulwarks can be drawn. The defense of the bulwark faces is taken from points (D), determined by the number of sides of the polygon: one-tenth of the curtain (EB) for the pentagon, one-fourth for the hexagon, one-third from the heptagon to the ennagon, one-half from the decagon to the dodecagon, and based on judgment for more sides. From the points of the defense, the "linee scovanti" (DC) are drawn, thus defining the fronts of the bastions (CO); the "linee ficcanti" (EO) complete the scheme.

The third book presents fortifications "in the Dutch manner," described by a rich nomenclature related to the "Figura Prima Olandese" [Sardi 1639, p. 123], followed by the geometric construction of the defense outline.

Measures are expressed in Dutch rods, plausibly according to the Rhineland measurement system. A rod corresponds to 3,767 meters [Martini 1883, p. 30]. It is worth pointing out how Sardi, like other authors of the time [Bevilacqua 2015, p. 97], for convenience of use and ease of calculation, subdivides the duodecimal system of the rod on decimal base, proposing a consequent larger measure of the foot [Sardi 1639, p. 132].

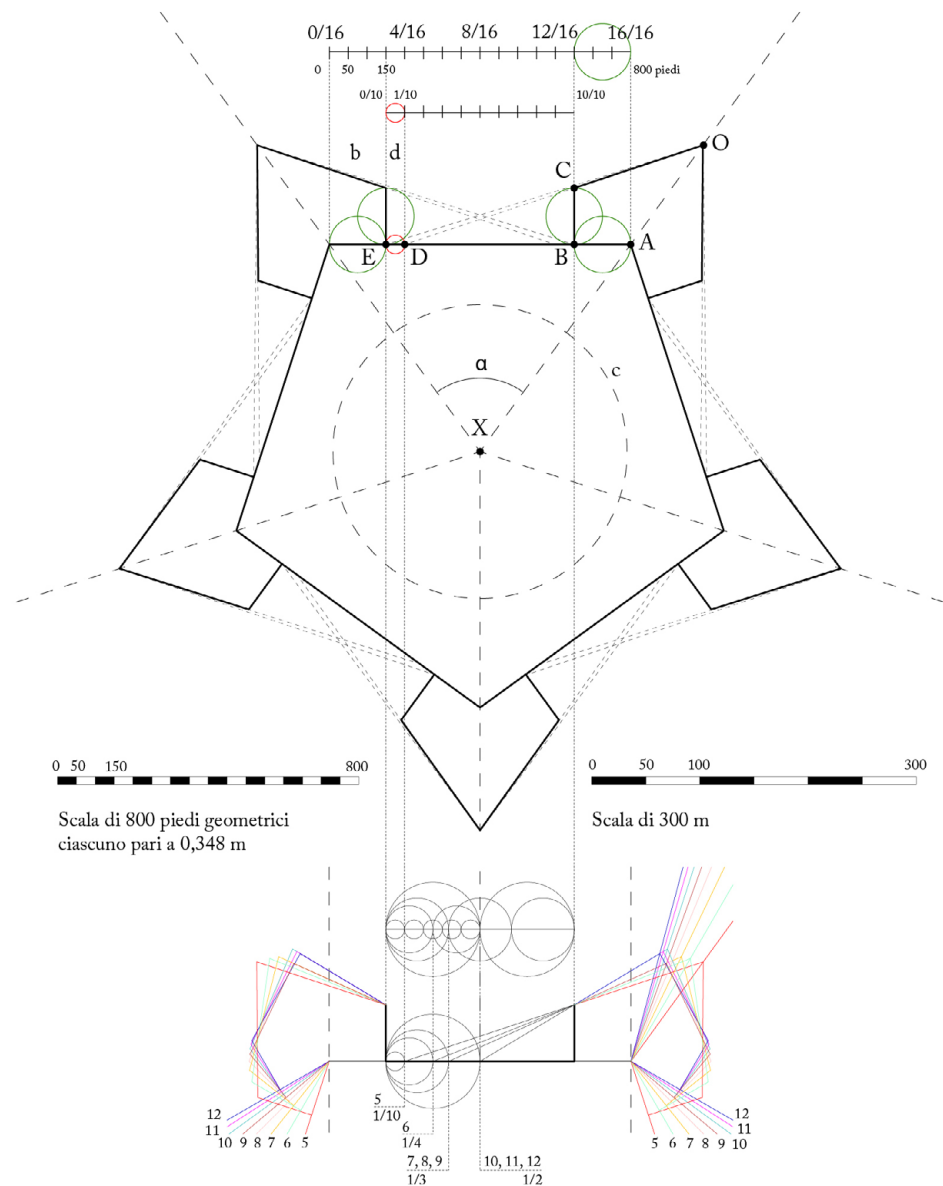
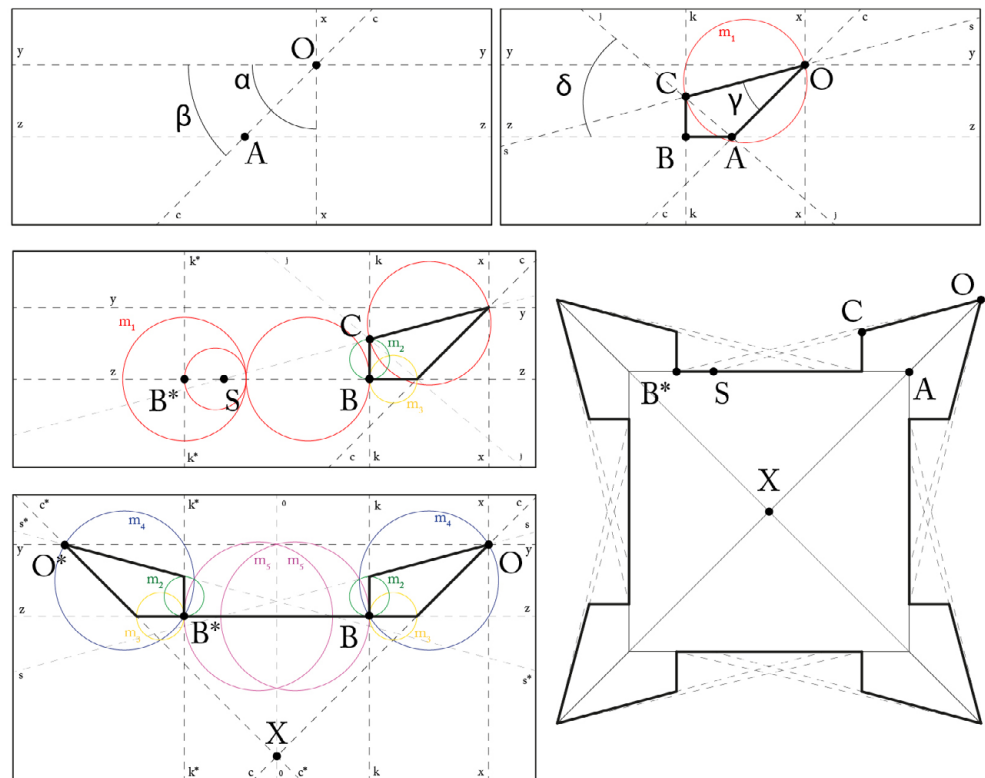


Fig. 1. Geometric construction of regular polygonal fortifications from the second book of *Corno Dogale*. Top, scheme applied to a pentagonal fortress. Bottom, superimposition of plan profiles associated with regular polygons of 800-foot sides. Elaboration by Piergiuseppe Rechichi.

The figure (fig. 2) restates the procedure for the geometric construction of regular polygonal fortifications from the third book. The construction is based on the interior angles of the polygon. Having defined the vertex (O), the angles at the center (α) and interior of the polygon are conventionally derived (β is the interior half-angle). The straight lines yy, xx, and cc, the latter being the capital axis, are then drawn. On yy, the point A, the inner extreme of the capital line, is freely identified. The defended angle is set equal to β plus 15° . The defended half-angle γ , measured from cc, locates the line ss. A line inclined by 40° (jj) to the line zz, parallel to yy from A, is drawn from point A.

The intersection of jj and ss defines the shoulder (C) of the rampart. The length of the free curtain is set equal to one-and-a-half times the length of the front (m_1). The measurements of the flank (m_2), the half-gorge (m_3), and the face of the bulwark (m_4) are, therefore, given. The process can be iterated for each polygon by changing the value of the angle at the center and cascading all construction angles. The sophistication of the construction allows fortresses to be designed with fronts having a predetermined size of 24 rods and consequent curtains of 36 rods.



0 100 700
Scala di 700 piedi olandesi

0 50 200
Scala di 200 metri

$m_1 = 24$ verghe da 10 piedi olandesi
ciascuna pari a 3,767 m

BB* o cortina libera da 36 verghe
da 10 piedi olandesi

Scala composta (o a
trasversali) proposta dal Sardi
in piedi olandesi

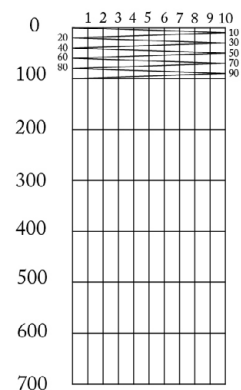


Fig. 2. Geometric construction "in the Dutch manner" of the plan profile of regular polygonal fortifications in the third book of *Corno Dogale*. Elaboration by Piergiuseppe Rechichi.

Of particular importance is the representation of a composed - or “a trasversali” - scale of 700 feet [Sardi 1639, Fig. XIII Olandese, p. 133; Bevilacqua, Spallone 2024], proportioned by Sardi on the dimension mI, obtained graphically and used to measure each component and compile the table of regular polygons [Sardi 1639, p. 139], which expresses in table form all the data necessary for the construction of the tracings. Finally, Sardi proposes three possible elevation sections [Sardi 1639, Fig. XII Olandese and its nomenclature, pp. 129-131].

Methodology

The construction of information models based on the fortification methods proposed by Sardi in the *Corno Dogale* is aimed at developing a critical tool for the representation and measurement of theoretical models. The adopted methodology is structured into four main phases (fig. 3): Analysis of the treatise; Critical redrawing of the models; Digital parameterization and modeling in *Grasshopper*; Integration into the BIM environment.

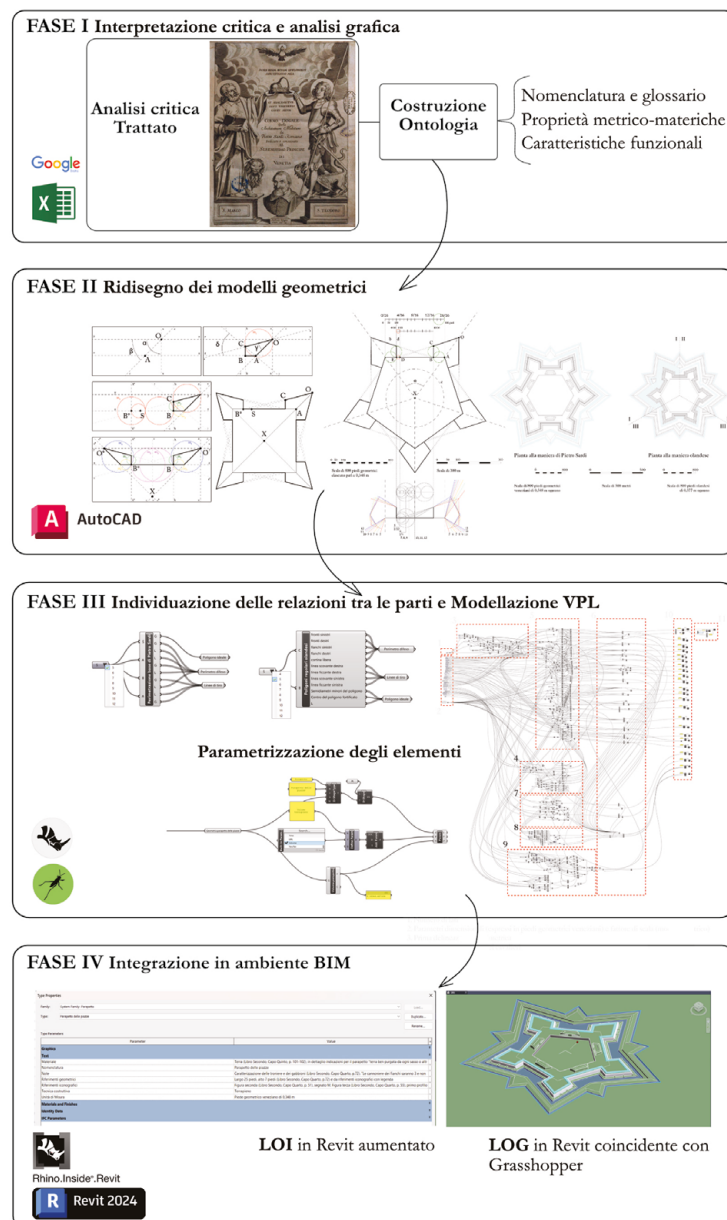
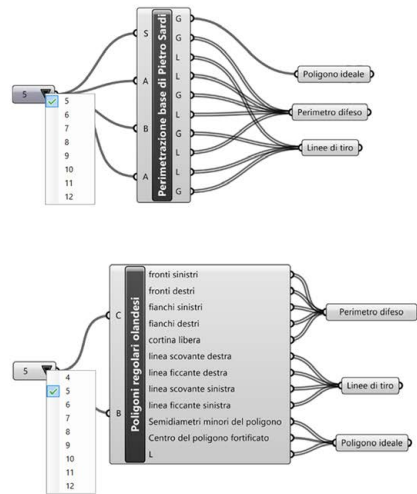


Fig. 3. Methodological outline. Elaboration by Virginia Miele.

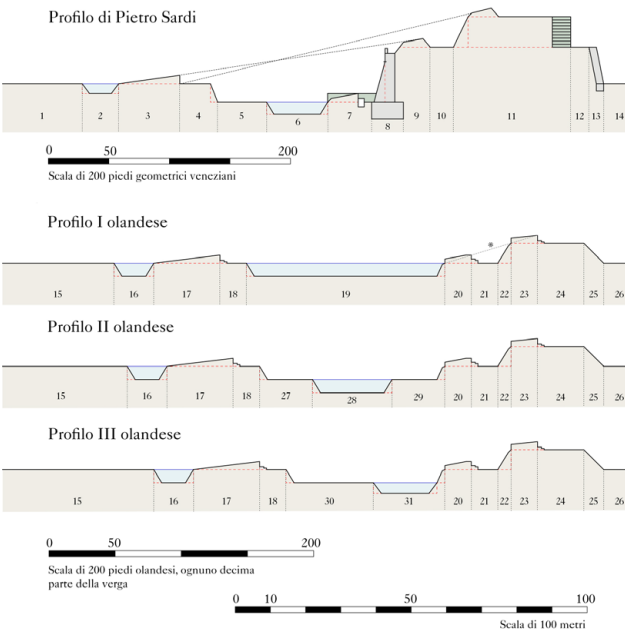
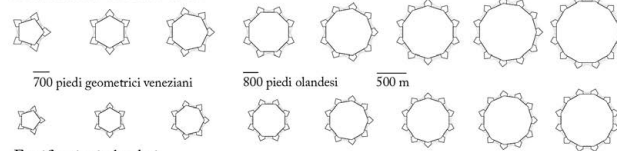
From the analysis of the treatise, ontological, dimensional, and functional information related to the geometric construction and characterization of the parts is extracted. The evolutionary advancements in military technologies from the second half of the 16th century led to a design transition toward models based on precise tracing rules. The increasing relevance of such design criteria translates into the prescription of models that can assume a parametric characterization. Sardi encompasses 35 fortification models within two geometric constructions featuring four section profiles. By utilizing parametric modeling tools, it is possible to reconstruct these design logics, facilitating the creation and dynamic management of the models. These models can subsequently be transferred to the BIM environment for enhanced information management and consultation.

Results and Discussion

The geometric profiling was replicated directly in *Grasshopper* with two scripts (“in the manner of Sardi” and “in the Dutch manner”) capable of adapting the configuration to the number of sides of the polygon. The translation process was facilitated by the ability to scale and mirror the parts of the fortification computationally rather than graphically. For the “Dutch” models, the proportioning of the parts obtained graphically by Sardi and documented in the table of regular polygons was compared numerically with the proportioning obtained by digitally replicating the construction, verifying average deviations of less than 30 ounces (one ounce equals the tenth part of a foot). The graphical output of this processing consists of the linear diagrams that define fortifications: ideal polygon, defensive profile, and lines of defense (“scovanti” and “ficcanti”). In the figure (fig. 4), the two ways of fortifying are compared at the same scale; note how the Dutch way generates fortresses of significantly smaller size. The ontological definition of the parts of the fortification is the result of the analysis of the textual and iconographic material in the treatise and takes the form of an *Excel* table informed with direct references to the text, descriptions, dimensions of the parts, and reference units of measurement. The section profiles of the two fortification models (fig. 5) critically interpret the information obtained from the text by combining it with information extrapolated graphically from Sardi’s figures. Ichnographic projections of pentagonal fortresses designed according to the two models are compared in the figure (fig. 6). For the “Dutch manner,” the three section profiles described by Sardi are proposed in separate sectors. For the fortresses in the second book, Sardi gives no indication of the method of tracing the “ridotti,” which are reproduced here based on the graphic analysis of “Figura Quarta” (fig. 7) [Sardi 1639, p. 56]. To ensure the maximum manageability of the model, closed polysurfaces were modeled from closed polylines; each of these, by design nature, can be expressed as an offset, translation (vertical), intersection, and/or union of the first defensive profiling or base polygon. Making use of lofts and boundary surfaces made it possible to create individual planar surfaces from polyline to polyline; these were combined according to ontological choices into closed polysurfaces corresponding to the individual entities constituting the fortification (fig. 8). The *Rhino.Inside.Revit* plugin allows users to open the *Grasshopper* script directly in *Revit*. 3D models (fig. 9) are linked to the *Revit* file as Direct Shapes; these instances are visible and editable in *Revit* and are continuously related to the *Grasshopper* script, from which the number of sides of the polygon can be changed. Geometry-dependent parameters were created and informed in *Grasshopper* as “instance parameters”; they update as the polygon changes (fig. 10). Invariant parameters related to the characterization of fortification parts and construction techniques, with treaty references, were created and informed in *Revit* as “type” parameters. Changes made in *Revit* to the informational properties of the Direct Shape are preserved when a parametric variation is made with *Grasshopper*. The *Revit* file preserves the LOI and LOG of the model and thus can be used in standalone mode.



Fortificazioni di Pietro Sardi



- | | |
|--|--|
| 1. Piano di campagna | 17. Parapetto della strada coperta |
| 2. Fosso esterno | 18. Strada coperta |
| 3. Parapetto della strada coperta | 19. Fosso pieno |
| 4. Controscarpa e strada coperta | 20. Parapetto della falsabruga |
| 5. Fosso secco | 21. Falsabruga |
| 6. Cunetta | 22. Scarpa del terrapieno |
| 7. Trincea a denti a difesa del fosso | 23. Parapetto |
| 8. Muraglia con cordone, parapetto e fondazione | 24. Piazza |
| 9. Parapetto | 25. Scarpa interna al terrapieno |
| 10. Piazza davanti al cavaliere | 26. Piano della fortezza |
| 11. Cavaliere con la sua scarpa, parapetto, piazza e scala | 27. Fosso secco e controscarpa |
| 12. Transito | 28. Cunetta |
| 13. Muraglia interna al terrapieno | 29. Fosso secco e scarpa della falsabruga |
| 14. Piano della fortezza | 30. Fosso secco e controscarpa |
| 15. Piano di campagna | 31. Cunetta e scarpa della falsabruga |
| 16. Fosso esterno | *. pendenza teorica dei parapetti verso il fosso |

Fig. 4. Abacus of plan profiles with the associated two scripts in Grasshopper. Elaboration by Piergiuseppe Rechichi.

Fig. 5. Orthographic profiles as described in the *Corno Dogale*. Elaboration by Piergiuseppe Rechichi.

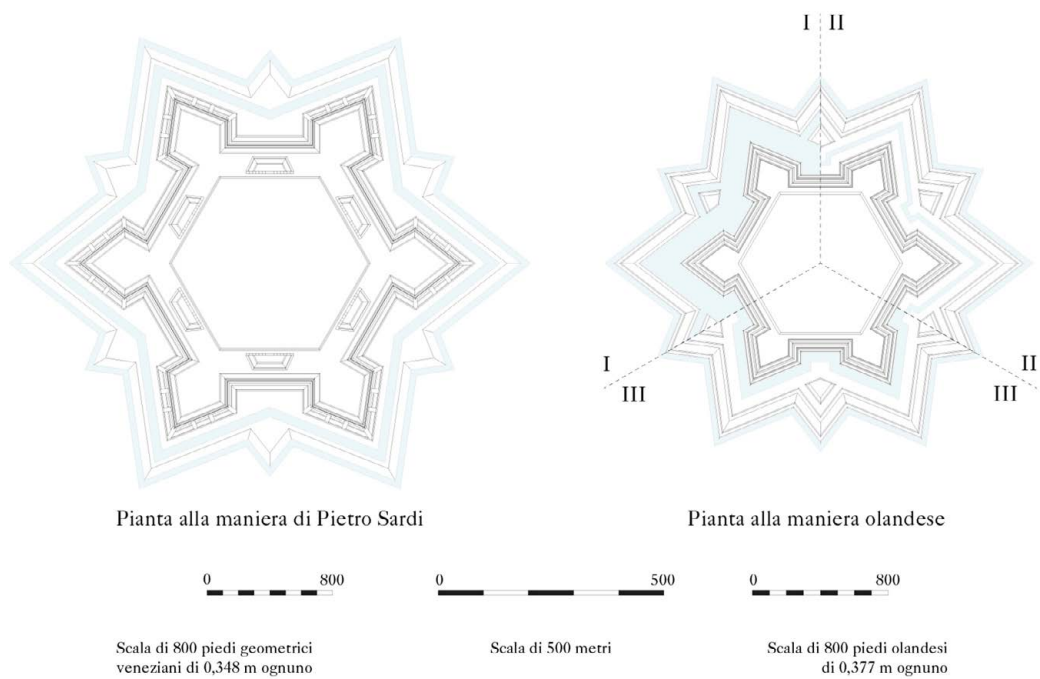


Fig. 6. Plans of hexagonal fortifications, according to the two "manners". Elaboration by Piergiuseppe Rechichi.

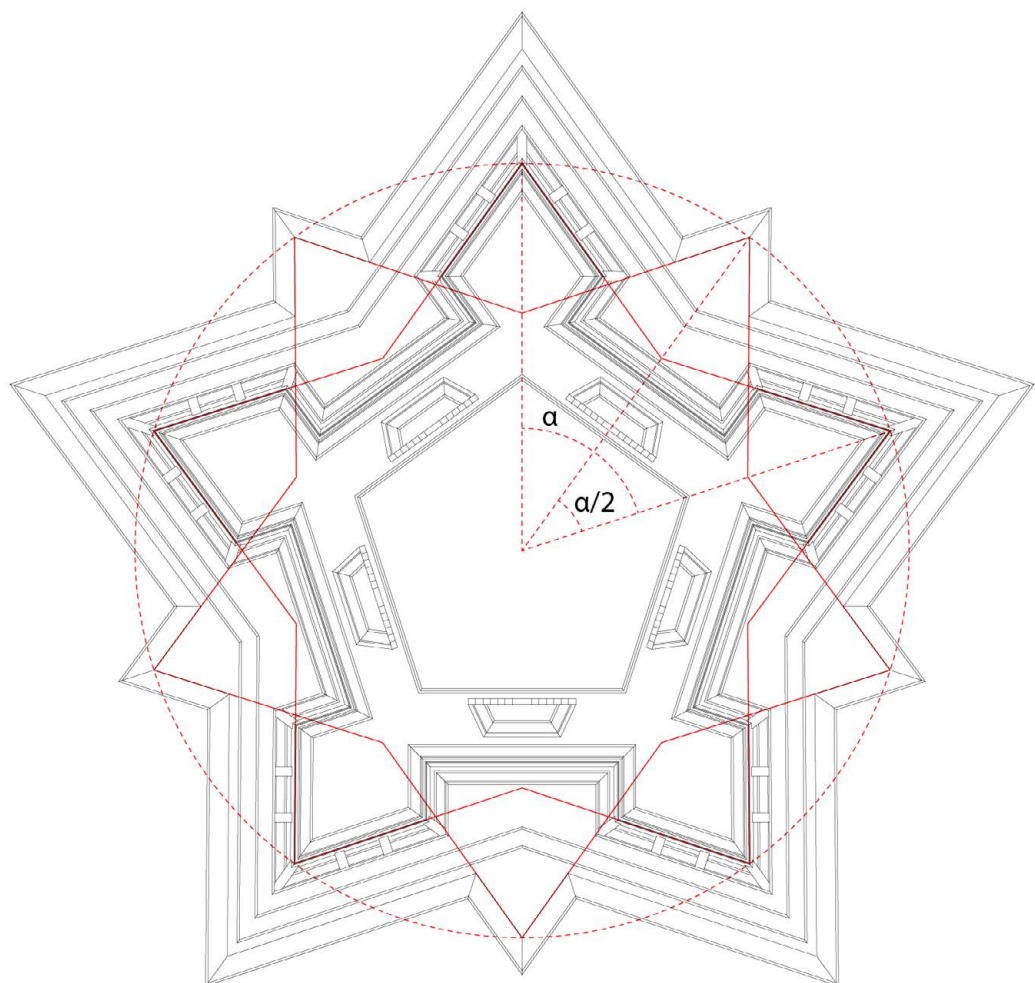
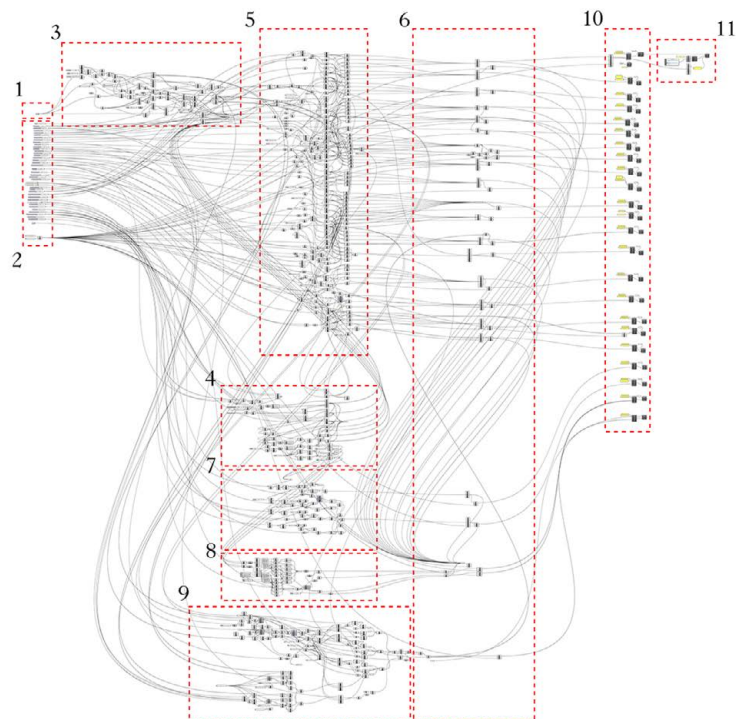


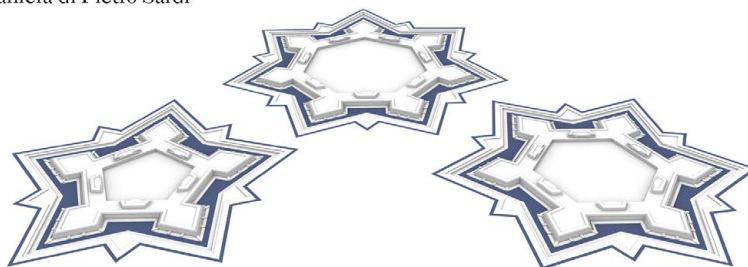
Fig. 7. Planimetric tracing of "ridotti" on pentagonal fortified figure. Elaboration by Piergiuseppe Rechichi.



1. Numero di lati
2. Parametri dimensionali (espressi in piedi geometrici veneziani) e fattore di scala (modello metrico)
3. Prima delineazione planimetrica
4. Tracciamento in pianta dei cavalieri
5. Polilinee spezzate chiuse per ogni variazione di pendenza
6. Modelli 3D delle singole entità della fortificazione (closed polysurfaces)
7. Corpo e parapetto dei cavalieri
8. Scale dei cavalieri
9. Denti della trincerata a difesa del fosso
10. Importazione Rhino.Inside.Revit
11. Aggiunta di un parametro di informazione con il suo valore

Fig. 8. Script in Grasshopper for modeling the fortifications in the second book of *Corno Dogale*. Elaboration by Piergiuseppe Rechichi.

Maniera di Pietro Sardi



Maniera olandese

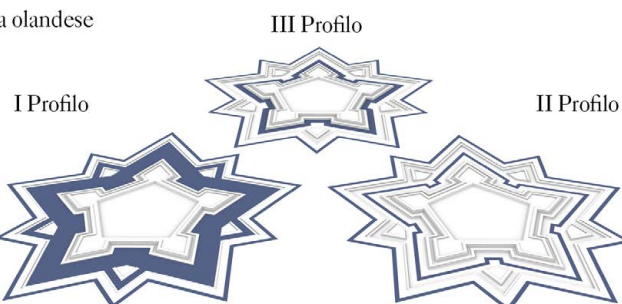


Fig. 9. Fortification model examples of *Corno Dogale*. Elaboration by Piergiuseppe Rechichi.

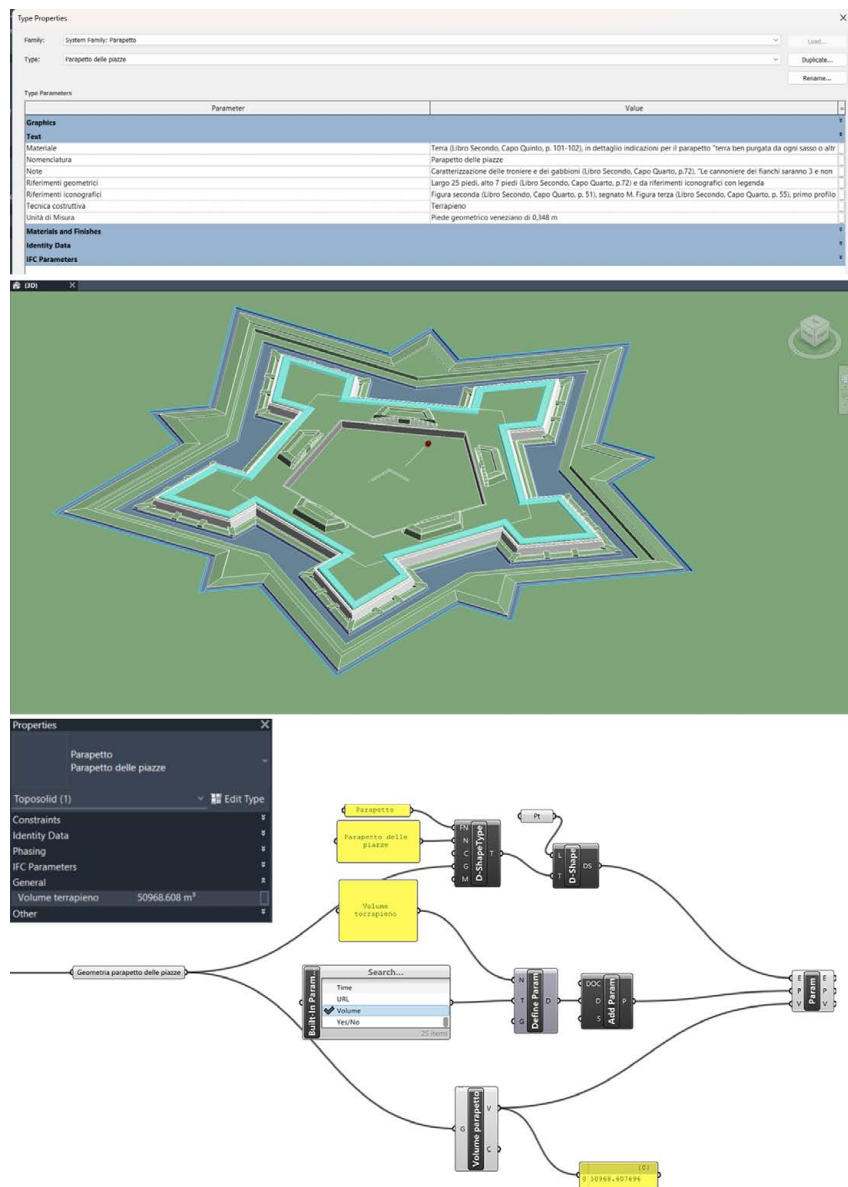


Fig. 10. Example of model information for the "Parapetto delle piazze" entity. Elaboration by Piergiuseppe Rechichi.

Conclusions

The digital translation of the fortification models from the *Corno Dogale* has revealed their parametric nature and potential for broader application. Sardi's design logic has proven adaptable to VPL, paving the way for the application of this tested methodology to other treatises. This experimental process has also demonstrated the feasibility of creating a tool for critical comparative analysis among different fortification models, inspiring further research in this field.

The integration of VPL and BIM facilitates effective model production and dynamic information management, significantly reducing processing times compared to traditional approaches. While importing geometric data and customizing parameters is relatively straightforward, managing the constructive characteristics within the modeled entities in BIM is more complex. This aspect, which the *Corno Dogale* does not address as it focuses more on geometric profiling principles than construction techniques, will be the focus of future experiments. Additionally, there are plans to implement these digital models for consultation on web-based platforms.

Credits

This study received funding from the European Union - Next-GenerationEU - National Recovery and Resilience Plan (NRRP) – MISSION 4 COMPONENT 2, INVESTIMENT N. 1.1, CALL PRIN 2022 D.D. 104 02-02-2022 – (INFORTREAT. Reconstructing the Early Modern bastioned front. INFORMATION models for the fruition of constructive knowledge in FORTified architecture TREATises (16th-18th Century): a new integrated analysis tool for the interpretation, restoration and maintenance of Early Modern fortified heritage T) CUP N. I53D23005420006. PI.: M.G. Bevilacqua, Università di Pisa. Authors' contribution: Introduction: MGB,VM; The Corno Dogale by Pietro Sardi: PR; Methodology: MGB, PR,VM; Results and Discussion: PR; Conclusions: MGB.

References

- Apollonio F.I. et al. (2013). The Palladio Library Geo-Models: an open 3D archive to manage and visualize information-communication resources about Palladio. In *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W2(5), pp. 49-54. <<https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W2-49-2013>> (accessed June 2, 2024).
- Bevilacqua M.G. (2015). Le scale grafiche nella trattatistica europea di architettura militare tra Cinque e Settecento. In A. Fara (a cura di). *Giuseppe Ignazio Bertola (1676-1755). Il disegno e la lingua dell'architettura militare*, pp. 95-101. Firenze: Angelo Pontecorvoli Editore.
- Bevilacqua M.G., Spallone R. (2024). Composed Graphic Scales in the European Military Treatises and Manuals from the 17th to the 19th Centuries. In L. Hermida González, J.P. Xavier, I. Pernas Alonso, C. Losada Pérez (a cura di). *Graphic Horizons. EGA 2024. Springer Series in Design and Innovation*, vol. 44, pp. 180-189. Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-57579-2_22>
- Cache B. (2009). *Fortuito supra acanthi radicem: Essai de lecture contemporaine du De Architectura de Vitruve*, tesi di dottorato in architettura, relatore Prof. P. Philippe. Université Pierre Mendès France.
- Carpo M. (2016). Parametric Notations. The Birth of the Non-Standard. In *Architectural Design*, vol. 86, n. 2, pp. 24-29. <<https://doi.org/10.1002/ad.2020>> (accessed June 2, 2024).
- Chiabrando F., Lo Turco M., Santagati C., (2017). Digital invasions: from point clouds to historical building object modeling (H-BOM) of a UNESCO WHL Site. In *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W3, pp. 171-178. <<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-171-2017>> (accessed June 2, 2024).
- Croce V. et al. (2019). Geomatics for Cultural Heritage conservation: integrated survey and 3D modeling. In *Proceedings of 2019 IMEKO TC-4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage*. Florence, Italy, 4-6 December 2019, pp. 271-276.
- De Luca L. (2014). Methods, formalisms and tools for the semantic-based surveying and representation of architectural heritage. In *Applied Geomatics*, vol. 6, pp. 115-139. <<https://doi.org/10.1007/s12518-011-0076-7>> (accessed June 2, 2024).
- De Luca L. et al. (2011). A semantic-based platform for the digital analysis of architectural heritage. In *Computers & Graphics*, vol. 35, n. 2, pp. 227-241. <<https://doi.org/10.1016/j.cag.2010.11.009>> (accessed June 2, 2024).
- De Luca L., Véron P., Florenzano M. (2007). A generic formalism for the semantic modeling and representation of architectural elements. In *The visual computer*, vol. 23, n. 3, pp. 181-205. <<https://doi.org/10.1007/s00371-006-0092-5>> (accessed June 2, 2024).
- Giovannini E.C. (2023). Making Palladio Digitally Explicit: Geometrical Parameters in Door's Ornaments. In *Nexus Network Journal*, vol. 25, pp. 773-794. <<https://doi.org/10.1007/s00004-023-00658-8>> (accessed June 2, 2024).
- Lo Buglio D., De Luca L. (2012). Representation of architectural artifacts: definition of an approach combining the complexity of the 3d digital instance with the intelligibility of the theoretical model. In *SCIRES-IT*, vol. 2, n. 2, pp. 63-76. <<http://dx.doi.org/10.2423/i22394303v2n2p63>> (accessed June 2, 2024).
- Marolois S. (1627). *Fortification ou Architecture militaire tant offensive que deffensive*. Amsterdam: Ian Iansen.
- Martini A. (1883). *Manuale di metrologia, ossia misure, pesi e monete in uso attualmente e anticamente presso tutti i popoli*. Torino: Loescher.
- Moore J. (1673). *Modern Fortification: or, Elements of military architecture*. London: W. Godbid.
- Palestini C., (2017). Imagination and Images: From the Treatise to the Digital Representation. Sforzinda and the Bridges in the Inda Valley. In *Proceedings*, vol. 1, n. 9, 893. <<https://doi.org/10.3390/proceedings1090893>> (accessed June 2, 2024).
- Sardi P. (1618). *Corona imperiale dell'Architettura militare*. Venezia: Barezzo Barezzi.
- Sardi P. (1639). *Corno Dogale della Architettura Militare di Pietro Sardi Romano*. Venezia: I Giunti.
- Stefani C. et al. (2013). A web platform for the consultation of spatialized and semantically enriched iconographic sources on cultural heritage buildings. In *Journal on Computing and Cultural Heritage*, vol. 6, n. 13, pp. 1-17. <<https://doi.org/10.1145/2499931.2499934>> (accessed June 2, 2024).

Authors

Piergiuseppe Rechichi, Università di Pisa, piergiuseppe.rechichi@phd.unipi.it

Virginia Miele, Università di Pisa, virginia.miele@ing.unipi.it

Marco Giorgio Bevilacqua, Università di Pisa, marco.giorgio.bevilacqua@unipi.it

To cite this chapter: Piergiuseppe Rechichi, Virginia Miele, Marco Giorgio Bevilacqua (2024). Modelli informativi digitali di architettura militare della prima età moderna. Il caso del Corno Dogale di Pietro Sardi/Digital informative models of early modern military architecture. The case of the Corno Dogale by Pietro Sardi. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (Eds.). *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, pp. 3603-3626.

Copyright © 2024 by FrancoAngeli s.r.l. Milano, Italy

Isbn 9788835166948