

04*2025

ATTRAVERSARE IL TEMPO

Tracce materiali e nuove prospettive



Laura Farroni, Manuela Incerti, Alessandra Pagliano
(a cura di)

libreriauniversitaria.it
edizioni

→ Architettura, geometria e astronomia

Collana diretta da **Laura Farroni, Manuela Incerti, Alessandra Pagliano**

→ Architettura, geometria e astronomia

Direttrici della Collana

Laura Farroni, Manuela Incerti, Alessandra Pagliano

Comitato scientifico – Scientific Committee

Elio Antonello, INAF (Italy); Mario Arnaldi (Italy); Fabrizio Bòoli, Università di Bologna (Italy); Alessio Bortot, Università degli Studi di Trieste (Italy); Roberto Buonanno, Università di Roma Tor Vergata (Italy); Filippo Camerota, Museo Galileo Firenze (Italy); Marco Canciani, Università degli Studi Roma Tre (Italy); Cristina Candito, Università degli Studi di Genova (Italy); Massimiliano Ciammaichella, Università IUAV di Venezia (Italy); Luigi Cocchiarella, Politecnico di Milano (Italy); Agostino De Rosa, Università IUAV di Venezia (Italy); Francesco Di Paola, Università degli Studi di Palermo (Italy); Salvatore Esposito, INFN Sezione di Napoli (Italy); Laura Farroni, Università degli Studi Roma Tre (Italy); Francesca Fatta, Università Mediterranea di Reggio Calabria (Italy); Mauro Gargano, Osservatorio Astronomico di Capodimonte INAF (Italy); Angélique Ferrand, Université de Nantes (France); A. César González-García, Consejo Superior de Investigaciones Científicas Instituto de Ciencias del Patrimonio (Spain); Andrea Giordano, Università degli Studi di Padova (Italy); Paolo Giulierini, Dirigente Area Cultura del Comune di Cortona (Italy); Stachel Hellmuth, Technische Universität Wien (Austria); Manuela Incerti, Università degli Studi di Ferrara (Italy); Alessandro Ippoliti, Università degli Studi di Ferrara (Italy); Nicoletta Lanciano, Sapienza Università di Roma (Italy); Matteo Flavio Mancini, Università degli Studi Roma Tre (Italy); Riccardo Migliari, Sapienza Università di Roma (Italy); Paola Moscati, CNR (Italy); Alessandra Pagliano, Università di Napoli Federico II (Italy); Daniela Palomba, Università di Napoli Federico II (Italy); João Pedro Xavier, Universidade do Porto (Portugal); Ornella Zerlenga, Università della Campania L. Vanvitelli (Italy).

La pubblicazione di ogni ricerca è subordinata all'accettazione da parte del comitato scientifico e ogni contributo è sottoposto a doppia revisione cieca.

Progetto Grafico

Giulia Pellegrini – variabile comunicazione visiva

Comitato redazionale

Alessandra Coppola, Stefano Costantini, Matteo Flavio Mancini

Gestione profilo Instagram

Stefano Costantini

Immagine di copertina: Francesco del Cossa, 1469-70, Salone dei Mesi, Aprile (dettaglio), Palazzo Schifanoia, Ferrara (Fotografia di Antonio Cesari). Su concessione dei Musei di Arte Antica, Comune di Ferrara.

Immagini a pp. 6, 10 e 16: Francesco del Cossa, 1469-70, Salone dei Mesi, Marzo (dettagli), Palazzo Schifanoia, Ferrara (Fotografia di Antonio Cesari). Su concessione dei Musei di Arte Antica, Comune di Ferrara.

Proprietà letteraria riservata

© libreriauniversitaria.it Edizioni

Webster, divisione di TXT SpA. I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento totale o parziale con qualsiasi mezzo (compresi i microfilm e le copie fotostatiche) sono riservati per tutti i Paesi. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta, distribuita o trasmessa in qualsivoglia forma senza l'autorizzazione scritta dell'Editore, a eccezione di brevi citazioni incorporate in recensioni o per altri usi non commerciali permessi dalla legge sul copyright. Per richieste di permessi contattare in forma scritta l'Editore al seguente indirizzo: redazione@libreriauniversitaria.it

ISBN: 978-88-3359-786-7

Prima edizione: maggio 2025

Il nostro indirizzo internet è: www.edizioni.libreriauniversitaria.it

Per segnalazioni di errori o suggerimenti relativi a questo volume potete contattare:

Webster, divisione di TXT SpA

Via V.S. Breda, 26 - 35010, Limena PD

Tel.: +39 049 76651 / Fax: +39 049 7665200

redazione@libreriauniversitaria.it

organizzazione a cura di



volume pubblicato con il contributo del Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Ferrara

con il patrocinio di



libreriauniversitaria.it
edizioni

ATTRAVERSARE IL TEMPO

Tracce materiali e nuove prospettive

Laura Farroni, Manuela Incerti, Alessandra Pagliano
(a cura di)

Full English texts

CROSSING TIME

Material evidence and emerging perspectives

Laura Farroni, Manuela Incerti, Alessandra Pagliano
(editors)



Indice

- 10 **Introduzione**
Attraversare il tempo: patrimonio astronomico e dialogo interdisciplinare
Manuela Incerti
- 16 **Tracce materiali e nuove prospettive**
Laura Farroni, Manuela Incerti, Alessandra Pagliano
- 20 **Luna incognita: la cartografia lunare recente (1990-2020) e le sue minime e massime lacune**
Emanuele Garbin
- 32 **Luci del Nord. La traduzione scultorea di un pensiero scientifico**
Gabriella Liva
- 44 **Architettura tra cielo e terra. Il disegno come epistemologia del progetto dello spazio sacro contemporaneo**
Laura Farroni
- 56 **L'orologio catottrico del Lycée Stendhal a Grenoble, analisi geometrica e AR per il cultural heritage**
Alessio Bortot, Agostino De Rosa, Nhan Ho Trong
- 70 **La meridiana della Certosa di San Martino: accessibilità culturale e valorizzazione con la Realtà Virtuale**
Laura Papa
- 82 **Le stelle di Schifanoia. Misure e interpretazioni**
Manuela Incerti
- 98 **Uno sguardo sul patrimonio scientifico astronomico architettonico di La Silla**
Cecilia Wolff, Nicoletta Lanciano
- 110 **L'accomodamento delle conoscenze europee per l'Osservatorio astronomico di Pechino tra XVII e XVIII secolo**
Matteo Flavio Mancini
- 120 **Luce, ombre, architettura nella percezione delle prospettive solide. Le finestre del cortile di Palazzo Doria Pamphilj**
Marco Fasolo, Flavia Camagni, Elisa Guarino
- 130 **L'ovale di Bernini e le idee di Kepler: prime riflessioni sulla geometria della forma a Palazzo Barberini**
Stefano Costantini
- 142 **Orologi solari medievali in due affreschi del Trecento toscano. Spunti per un nuovo filone di studi**
Mario Arnaldi
- 154 **Il restauro funzionale della meridiana verticale della piazza Municipale di Ferrara**
Clara Coppini
- 164 **Studio e concept di un orologio solare cilindrico a 'gnomoni fissi'**
Francesco Di Paola, Manuel Pizarro
- 172 **Nuove installazioni gnomoniche per la Reggia di Portici**
Edgardo Filippone
- 178 **La misura del tempo nella Certosa di Calci: il rilievo per la conoscenza gnomonica, il restauro e la valorizzazione**
Alessandra Pagliano, Marco Giorgio Bevilacqua, Piergiuseppe Rechichi
- 192 **Domed architecture as image of the Universe**
Valerie Shrimplin

Full English texts

Crossing Time: Astronomical Heritage and Interdisciplinary Dialogue, Manuela Incerti → 206 / **Material Evidence and Emerging Perspectives**, Laura Farroni, Manuela Incerti, Alessandra Pagliano → 209 / **Luna Incognita: the uncertain boundary between known and unknown in recent lunar cartography (1990-2020)**, Emanuele Garbin → 211 / **Lights of the North. Research, observation and sculptural translation of a scientific thought**, Gabriella Liva → 216 / **Architecture Between Heaven and Earth. Drawing as the Epistemology of Contemporary Sacred Space Design**, Laura Farroni → 222 / **The catoptric *Horloge Solaire* at the *Lycée Stendhal* in Grenoble, geometrical analysis and AR for cultural heritage**, Alessio Bortot, Agostino De Rosa, Nhan Ho Trong → 226 / **The Sundial of the Carthusian Monastery of San Martino: Cultural Accessibility and Enhancement through Virtual Reality**, Laura Papa → 231 / **The Stars of Schifanoia. Measurements and Interpretations**, Manuela Incerti → 235 / **A look at the scientific, astronomical, and architectural heritage of La Silla**, Cecilia Wolff, Nicoletta Lanciano → 239 / **The Accommodation of European Knowledge at the Beijing Astronomical Observatory (17th-18th Centuries)**, Matteo Flavio Mancini → 244 / **Light, Shadows, and Architecture in the Perception of Solid Perspectives: The Windows of Palazzo Doria Pamphilj**, Marco Fasolo, Flavia Camagni, Elisa Guarino → 247 / **The Oval of Bernini and Kepler's Ideas: initial reflections on the Geometry at Palazzo Barberini**, Costantini Stefano → 251 / **Medieval sundials in two 14th-century Tuscan frescoes: discoveries and insights for new studies**, Mario Arnaldi → 256 / **The functional restoration of the vertical sundial in Ferrara's Municipal Square**, Clara Coppini → 262 / **Study and concept of a cylindrical sundial with 'fixed gnomons'**, Francesco Di Paola, Manuel Pizarro → 265 / **New sundials for the Royal Palace of Portici**, Edgardo Filippone → 267 / **The measurement of time in the Charterhouse of Calci: the survey for gnomonic knowledge, restoration and valorisation**, Alessandra Pagliano, Marco Giorgio Bevilacqua, Piergiuseppe Rechichi → 270



Attraversare il tempo: patrimonio astronomico e dialogo interdisciplinare

Manuela Incerti

La ricchezza semantica del verbo attraversare, scelto come tema guida per la terza *call* di *Architettura Geometria Astronomia*¹, rivela una complessità inaspettata, a partire dalla sua apparente semplicità d'uso nel linguaggio quotidiano. L'analisi delle definizioni offerte dalle principali fonti lessicografiche italiane denota diverse accezioni che meritano una riflessione approfondita. *Attraversare* può indicare l'atto di *passare da una parte all'altra di uno spazio, di un ambiente, di un elemento*, ma anche quello di *percorrere interamente qualcosa nello spazio o nel tempo, intersecare, incrociare*, o ancora *vivere, esperire una situazione o un'epoca*. Comprendere l'ampio spettro di accezioni del verbo *attraversare*, di seguito sinteticamente elencate, può non solo essere fonte di ispirazione, ma anche costituire uno strumento interpretativo utile alla comprensione dei lavori di ricerca pubblicati in questo volume.

Alcuni di questi significati si avvicinano alla sensibilità e alle logiche progettuali proprie dell'architetto:

Transito spaziale: indica l'atto di passare da una parte all'altra di uno spazio, di un ambiente, di un elemento. Questa accezione primaria connota un movimento fisico attraverso una dimensione spaziale definita².

Percorrenza totale: si riferisce all'azione di coprire interamente qualcosa nello spazio o nel tempo. Questa sfumatura implica una completezza nel movimento, una copertura totale dell'entità interessata.

Movimento direzionale: il termine può suggerire una specifica direzione del movimento, sia essa trasversale o longitudinale rispetto ad un asse di riferimento³;

Intersezione: evoca l'idea di intersecare, incrociare, suggerendo un punto di contatto o di sovrapposizione tra elementi distinti.

Altri significati assumono una portata più universale e teorica, riferendosi a domini che vanno oltre la dimensione architettonica:

Esperienza: denota l'atto di vivere, esperire una situazione o un'epoca. Questa accezione estende il significato del verbo alla dimensione esistenziale e temporale, connotando un coinvolgimento attivo con un determinato contesto.

Superamento di una separazione: può implicare il valicare un confine o una barriera, sia essa fisica o concettuale, come guardare attraverso una finestra o superare una distanza simbolica.

Condizione temporale: in riferimento al tempo, attraversare descrive il susseguirsi di momenti o periodi, connotando spesso il superamento di fasi specifiche⁴.

Collegamento: in senso figurato, può significare unire o mettere in relazione ambiti concettuali o disciplinari differenti.

Ricezione passiva: infine, il verbo può implicare l'essere toccati o influenzati da qualcosa, come un edificio attraversato dalla luce o la nostra comprensione attuale attraversata da modelli del passato.

Proprio a partire da questa complessità dei significati del verbo *attraversare*, che spazia dal movimento fisico all'esperienza concettuale, fino alla relazione tra elementi diversi, è possibile sviluppare alcune considerazioni in relazione al tema centrale della nostra *Call for Papers*.

Il cielo come eredità comune

Il cielo, definito nella call come *eredità comune e universale*, rappresenta il punto di partenza. Sin dalle origini della storia, esso è stato oggetto di sistematica indagine e osservazione da parte dell'umanità, che ne ha tracciato i moti e misurato i fenomeni, rendendolo così un riferimento imprescindibile tanto per l'orientamento fisico e spaziale quanto per la costruzione del sapere teorico.

L'indagine del cielo ha prodotto avanzamenti scientifici significativi fin dall'antichità, che si sono concretizzati anche nella ideazione di strumenti di misura inizialmente rudimentali, nella definizione dei primi calendari basati sui cicli lunari e solari, e nella creazione di architetture megalitiche e templi allineati con eventi celesti. Queste antiche osservazioni hanno gettato le basi per la comprensione dei moti planetari e stellari. In epoca moderna e contemporanea, con lo sviluppo di telescopi sempre più potenti e sofisticati, sia terrestri che spaziali, l'indagine del cielo ha compiuto balzi in avanti straordinari. Abbiamo assistito a rivoluzionarie scoperte come l'espansione accelerata dell'Universo, la radiazione cosmica di fondo (prova del Big Bang), l'evidenza di materia ed energia oscura, progressi nell'astrofisica stellare e galattica (ciclo vitale delle stelle, formazione galassie, buchi neri), l'individuazione di esopianeti, l'esplorazione dettagliata del Sistema Solare e la rilevazione delle onde gravitazionali.

Questi avanzamenti, lungi dal separare l'uomo dal cosmo, rafforzano il ruolo del cielo come spazio fondamentale di indagine non solo fisica, ma anche culturale e simbolica. La visione attiva e lo studio sistematico del cielo ci consentono di riconoscerlo e attraversarlo quale spazio di interconnessione tra dinamiche fisiche e costruzioni culturali, tra dimensione fenomenica e rappresentazioni simboliche. In questo senso, l'analisi del cielo si configura come un primo e necessario passo verso la comprensione del tempo e dello spazio, concepiti non solo come coordinate scientifiche, ma anche come elementi fondativi della condizione umana.

Attraversare il tempo: diacronia e dialogo

Tra i significati di portata universale e teorica precedentemente delineati, il verbo attraversare trova un'importante applicazione nel descrivere il movimento lungo la linea del tempo, mettendo in connessione epoche diverse e modelli di pensiero distinti. Il patrimonio astronomico offre l'opportunità di indagare la dimensione temporale attraverso testimonianze materiali e immateriali che narrano l'evoluzione della civiltà umana. Ad esempio, l'analisi delle eclissi storiche o delle supernove registrate in antichi cataloghi permette di attraversare secoli e ricostruire la cronologia di eventi passati. Lo studio della radiazione cosmica di fondo ci consente di attraversare miliardi di anni e osservare l'Universo primordiale.

Si tratta tuttavia di un viaggio intrinsecamente complesso, faticoso e delicato. Le difficoltà aumentano soprattutto quando si risale ad epoche lontane, in cui le testimonianze documentali sono più rare e frammentarie e spesso avvolte nell'alone dell'incertezza. L'analisi e l'interpretazione del passato, in questo contesto, richiedono non solo competenze tecniche e metodologiche specialistiche, ma anche l'adozione di prospettive interdisciplinari ampie e articolate, che consentano di mettere in dialogo, criticamente, metodi e conoscenze provenienti da ambiti disciplinari diversi e apparentemente distanti. Solo attraverso una revisione critica e condivisa, che integri contributi provenienti, ed esempio, da discipline quali storia, geometria, archeologia, architettura e astronomia, è possibile affrontare in modo efficace la complessità stratificata di questo viaggio nel tempo, garantendo una comprensione più profonda e completa del patrimonio con valore astronomico.

Questa necessità di integrare prospettive e metodologie diverse rende evidente la questione dell'attraversamento dei confini disciplinari, che assume un valore metodologico centrale nell'ambito della ricerca contemporanea. In questa prospettiva, creare connessioni significative tra ambiti di studio tradizionalmente distinti non solo arricchisce l'analisi e amplia il campo di indagine, ma consente di restituire pienamente la complessità del sapere, in questo caso inerente il patrimonio astronomico, che combina inestricabilmente aspetti scientifici, culturali, simbolici. La prospettiva multidisciplinare e transdisciplinare⁵ si configura dunque come un approccio essenziale per superare le limitazioni di una visione settoriale, favorendo una comprensione più ampia e integrata.

Attraversare l'esperienza

L'attraversamento del tempo non è un semplice concetto astratto, ma un'esperienza viva e multiforme, che coinvolge tutti i sensi. Si manifesta in un dialogo continuo tra il mondo analogico, fatto di corpi e di percezioni dirette ed esperienze situate, e le potenzialità delle tecnologie digitali, che amplificano, mediano e trasformano il nostro modo di interagire con lo spazio e con il tempo. In questo quadro complesso e in rapida evoluzione, l'individuo è protagonista attivo del processo di scoperta, esplorazione e comprensione, che coinvolge più facoltà percettive e cognitive.

Nel contesto specifico dell'architettura e dell'astronomia, l'esperienza analogica si fonda sull'osservazione diretta e sull'interazione sensoriale con l'ambiente circostante, sia diurna che notturna. Questa include, ad

esempio, l'osservazione prolungata del lento movimento del cielo stellato in luoghi caratterizzati da un inquinamento luminoso minimo, il seguire attentamente il suggestivo dialogo tra luce e ombra proiettato dagli elementi architettonici nel corso delle diverse ore del giorno, la lettura degli orologi solari per la misurazione del tempo e la percezione dello spazio architettonico orientato secondo precise logiche celesti. L'osservazione di edifici storici di carattere monumentale significativamente orientati, come l'Abbaziale di Vézelay o il Pantheon a Roma, offrono infatti esperienze percettive e sensoriali in cui la luce definisce lo spazio e il tempo. Strumenti come il *triquetro* di Tolomeo, l'astrolabio e il baculo di Giacobbe, ideati per l'osservazione astronomica e divenuti di uso comune anche nel rilevamento e nell'attività edificatoria, ci mostrano come le civiltà del passato integravano la comprensione del cosmo con la misurazione e l'organizzazione dello spazio terrestre.

Se la percezione umana gioca un ruolo fondamentale in questa esperienza di attraversamento, la visione, pur essendo predominante, non è l'unico canale sensoriale coinvolto. Altre modalità percettive, come quella uditivo-narrativa e quella aptica, possono arricchire significativamente la nostra comprensione del mondo, soprattutto in contesti di fruizione culturale e divulgazione scientifica in un'ottica di accessibilità. In particolare, la modalità uditivo-narrativa supporta il racconto e la diffusione di contenuti scientifici complessi, sia tramite personale specializzato in contesti espositivi e didattici, sia con dispositivi audio. La percezione aptica, pur essendo meno esplorata in ambito astronomico, è valorizzata in alcuni musei innovativi, come il Museo Galileo di Firenze, che propone un percorso tattile appositamente progettato per non vedenti e ipovedenti. Alcuni strumenti originali e loro copie fedeli permettono ai visitatori di esplorarli attraverso il tatto, rendendo così possibile la comprensione sia del funzionamento meccanico sia del significato storico nel contesto dello sviluppo delle scienze⁶.

Le tecnologie digitali hanno modificato significativamente l'attraversamento temporale, aprendo nuove frontiere e sfide. Se da un lato esse possono apparentemente allontanarci dall'esperienza diretta, favorendo una fruizione mediata e virtuale che rischia di privilegiare l'aspetto visivo a scapito degli altri sensi, dall'altro offrono strumenti straordinariamente potenti per amplificare, estendere e arricchire la nostra percezione del tempo e dello spazio. Tuttavia, questa transizione verso esperienze digitali solleva interrogativi cruciali su come rappresentare e comunicare efficacemente l'esperienza umana in un contesto tecnologico. La transizione dalla dimensione sensoriale all'esperienza digitale richiede dunque nuove forme di rappresentazione e interazione, ed è in questo contesto che le discipline del Disegno possono svolgere un ruolo critico fondamentale, guidando lo sviluppo di interfacce intuitive e di rappresentazioni rigorose ed efficaci in grado di mediare tra l'esperienza analogica e quella digitale.

Realtà virtuale e aumentata⁷ aprono indubbiamente inedite prospettive nell'esplorazione immersiva del patrimonio culturale, consentendo di attraversare il tempo e lo spazio in modo interattivo e coinvolgente, offrendo punti di vista alternativi e stimolando nuove interazioni con il passato. Queste tecnologie innovative possono, ad esempio, ricreare ambienti perduti, simulare con precisione le variazioni di luce naturale e artificiale nel corso del tempo, o permettere di 'toccare' virtualmente superfici e materiali antichi, ampliando così lo spettro dell'esperienza sensoriale e offrendo nuove e preziose chiavi di lettura del patrimonio scientifico e culturale. Se da un lato le tecnologie digitali offrono straordinarie opportunità di attraversamento dell'esperienza, dall'altro è però fondamentale evitare che la mediazione tecnologica si traduca in una perdita di autenticità e di connessione con il mondo fisico. Un'attenta progettazione è necessaria per bilanciare i vantaggi della dimensione digitale con l'importanza dell'esperienza diretta e sensoriale in chiave di accessibilità⁸.

Conclusioni

Questo volume si propone come una riflessione collettiva sull'idea di attraversamento, inteso come azione culturale e conoscitiva che abbraccia storia, scienza, arte e tecnologia. L'attraversamento del tempo e dello spazio implica infatti un complesso processo cognitivo che, pur comprendendola, va oltre la semplice percezione sensoriale. Richiede l'elaborazione di informazioni provenienti da diverse fonti, l'integrazione di conoscenze storiche, scientifiche e culturali, e la costruzione di un quadro coerente del passato e del presente. Questo processo è influenzato dalle modalità con cui l'individuo interagisce con l'ambiente circostante e con gli altri. L'interazione sociale gioca un ruolo fondamentale nell'attraversamento culturale, poiché la condivisione di esperienze e conoscenze permette di costruire una memoria collettiva e di sviluppare un senso di appartenenza. Le tecnologie digitali possono amplificare queste dinamiche cognitive e sociali, facilitando l'accesso alle informazioni, la visualizzazione di dati complessi e la comunicazione tra individui e comunità.

In conclusione, l'attraversamento del tempo è un invito a percorrere con lo sguardo e con il pensiero le trame che legano passato e futuro, sapere scientifico e umanistico, cielo e terra. Un invito che chiede alle discipline del Disegno di farsi strumento critico per indagare l'universo visibile e invisibile, fornendo rappresentazioni efficaci e chiavi interpretative che restituiscono senso e valore a un'eredità culturale che è patrimonio comune dell'umanità.

Note

1. I primi due volumi della Collana, curati da Laura Farroni, Manuela Incerti e Alessandra Pagliano sono: *Rappresentare il tempo. Architettura geometria astronomia* (2022) e *Misurare il tempo. Strumenti e tecniche tra storia e contemporaneità* (2023) entrambi editi in doppia lingua.
2. Cfr. (Lynch 1965). Il concetto di transito spaziale qui espresso trova un parallelo nelle analisi di Lynch sulla percezione e l'esperienza dello spazio urbano.
3. Si veda (Arnheim 1977). Per Arnheim, la direzione del movimento non è un semplice dato fisico, ma un fattore strutturale e percettivo fondamentale nell'organizzazione dell'immagine e nella comunicazione visiva.
4. Si veda in proposito (Le Goff 1977). Il volume analizza come la percezione del tempo abbia plasmato le strutture sociali ed economiche del Medioevo.
5. Il *Manifesto sulla transdisciplinarietà*, documento fondativo per un approccio epistemologico olistico alla conoscenza, fu elaborato e pubblicato nel 1994 in seguito al primo *Congresso Internazionale della Transdisciplinarietà*, svoltosi presso il Convento di Arrabida, Portogallo. La sua genesi fu il risultato della convergenza intellettuale di Basarab Nicolescu (fisico teorico sostenitore del dialogo tra scienza e filosofia), Edgar Morin (sociologo e filosofo noto per la sua epistemologia della complessità e la critica al pensiero settoriale) e Lima de Freitas (artista e pensatore portoghese). Per il contesto accademico italiano, un riferimento primario è costituito dalla traduzione e curatela degli scritti di Nicolescu, pubblicata nel 2014 (Nicolescu 2014). Tale edizione ha contribuito in modo sostanziale alla disseminazione e alla comprensione dei postulati fondamentali della transdisciplinarietà nel dibattito scientifico e culturale nazionale. Una raccolta esaustiva di contributi che analizzano le molteplici implicazioni e applicazioni di questo approccio è stata curata da Ruta nel 2021 (Ruta 2021), offrendo un panorama aggiornato e diversificato delle indagini e delle riflessioni sulla transdisciplinarietà nel contesto contemporaneo.
6. Si veda a questo proposito (Candito, Celoria & Meloni 2024).
7. Su questi temi si veda ad esempio (Pagliano & Papa 2025).
8. Sul dibattito in atto si veda ad esempio (Farroni & Mancini 2025).

Bibliografia

- Arnheim R. (1962). *Arte e percezione visiva*. Milano: Feltrinelli.
- Candito C., Celoria I., Meloni A. (2024). Percezione accessibile delle forme geometriche del tempo. In Empler T. Caldarone A., Fusinetti A. (a cura di). *Il Disegno per l'Accessibilità e l'Inclusione*. Atti del 3° convegno DAI. Alghero: Publica.
- Farroni L., Mancini M.F. (a cura di). (2025). *Ambienti Flessibili. Creatività, inclusione, ecologia, reale/virtuale. Teorie e buone pratiche per l'architettura*. Roma: Roma Tre Press.
- Le Goff J. (1977). *Tempo della Chiesa e tempo del mercante. E altri saggi sul lavoro e la cultura nel Medioevo*. Torino: Einaudi.
- Lynch K. (1965). *L'immagine della città*. Torino: Edizioni di Comunità.
- Nicolescu B. (2014). *Il manifesto della transdisciplinarietà*. Messina: Armando Siciliano.
- Pagliano A., Papa L. (2025). La realtà virtuale per la fruizione inclusiva dei beni culturali. In Farroni L., Mancini M.F. (a cura di). *Ambienti Flessibili. Creatività, inclusione, ecologia, reale/virtuale. Teorie e buone pratiche per l'architettura*. Roma: Roma Tre Press.
- Ruta G. (a cura di). (2021). *Le scienze: dentro, 'a confine', ed oltre... : inter- e transdisciplinarietà : condivisione per una possibile convergenza*. Roma: Editrice LAS.



Tracce materiali e nuove prospettive

Laura Farroni, Manuela Incerti, Alessandra Pagliano

Dimensioni del tempo (M.I.)

Il volume *Attraversare il Tempo* esplora le molteplici sfaccettature di un concetto chiave che si rivela di insospettabile ricchezza. Come evidenziato nel saggio di apertura, il verbo “attraversare” può assumere diverse accezioni: può indicare un movimento fisico attraverso uno spazio, un percorso nel tempo, un’esperienza di vita, un superamento di confini oppure una connessione tra ambiti differenti. Il sottotitolo di questo volume, *Tracce materiali e nuove prospettive*, riflette la duplice natura dell’attraversamento proposto: da un lato, l’analisi delle testimonianze concrete che documentano la relazione millenaria dell’uomo con il cielo; dall’altro, l’apertura a nuove modalità di lettura, interpretazione e valorizzazione rese oggi possibili da approcci interdisciplinari e tecnologie emergenti, con un’attenzione particolare alla messa a punto di metodologie condivise per lo studio di questo patrimonio.

Le tracce materiali comprendono osservatori, meridiane, edifici sacri e civili, dislocati in contesti geografici e culturali differenti, veri e propri dispositivi di osservazione celeste costruiti in funzione del Sole, delle stelle e del trascorrere del tempo. Le nuove prospettive, invece, si articolano attraverso metodologie digitali, rilievi avanzati, modellazioni, ricostruzioni virtuali e realtà aumentata, che consentono di restituire valore a un patrimonio spesso dimenticato o poco leggibile, aprendo a nuove forme di conoscenza e fruizione.

Questo volume raccoglie gli esiti della terza call del ciclo *Architettura, Geometria e Astronomia*, un progetto di ricerca che si propone di indagare, anno dopo anno, le relazioni tra spazio costruito e osservazione del cielo, con un’attenzione crescente verso l’interazione tra eredità materiale e strumenti contemporanei di analisi. *Attraversare il tempo*, in questo contesto, diventa un gesto di scoperta e rinnovamento: un attraversamento che è, al contempo, studio del passato e apertura verso il futuro.

I contributi qui raccolti affrontano, da angolazioni diverse, il rapporto tra luce, tempo, architettura e conoscenza astronomica. Si va dalla cartografia lunare recente (Emanuele Garbin), fino alla traduzione plastica del pensiero scientifico (Gabriella Liva). Il disegno come epistemologia del progetto dello spazio sacro (Laura Farroni) si affianca all’analisi di dispositivi gnomonici storici e contemporanei: dalla *Horloge Solaire* di Grenoble (Bortot, De Rosa, Ho Trong), alla meridiana della Certosa di San Martino (Laura Papa), alle nuove installazioni gnomoniche per la Reggia di Portici (Edgardo Filippone). Il volume include anche ricerche che intrecciano astronomia e architettura in contesti storici e geografici differenti: dalle stelle rappresentate nel Salone dei Mesi di Schifanoia (Manuela Incerti), al patrimonio osservativo di La Silla (Wolff e Lanciano), dall’Osservatorio di Pechino tra XVII e XVIII secolo (Matteo Flavio Mancini), alle finestre prospettiche di Palazzo Doria Pamphilj (Fasolo, Camagni, Guarino), fino alla forma ellittica berniniana a Palazzo Barberini (Stefano Costantini). Completano il quadro studi sul rilievo e il restauro di meridiane e orologi solari: dalla Certosa di Calci (Bevilacqua, Pagliano, Rechichi) agli affreschi toscani del Trecento (Mario Arnaldi), fino al restauro funzionale della meridiana verticale della piazza (Clara Coppini). Insieme, questi contributi offrono uno sguardo ricco e articolato sul modo in cui anche l’architettura, nel tempo, ha recepito e manifestato la conoscenza del cielo.

Tracce materiali (A.P.)

Le *tracce materiali* che costituiscono la testimonianza storica delle tecniche e delle filosofie con le quali le società del passato hanno attraversato i secoli fino ad oggi, nel tentativo di controllare l’effimero e inafferrabile scorrere del tempo sono da ascrivere al campo delle architetture orientate astronomicamente, ma anche

al campo dei dispositivi solari quali orologi e meridiane, che altro non sono che la rappresentazione grafica sulla Terra del moto apparente del Sole lungo la superficie di una eterea sfera celeste. Tale disegno si otteneva, secondo i principi dell'astronomia di posizione, a mezzo di rette proiettanti, ovvero i raggi luminosi che allineano le diverse posizioni assunte dall'astro con la punta dello gnomone e con l'ombra portata lungo il quadrante. Questo immateriale contatto tra Terra e Cielo costituisce un elemento di intramontabile fascino che rende ancora oggi le meridiane, e più in generale gli orologi solari, un naturale luogo d'incontro di arte, filosofia, geometria, geografia, fisica e astronomia. Questi preziosi oggetti artistici, spesso realizzati in monumentali complessi architettonici, sono la memoria di un sapere antico e prezioso, di quando l'uomo regolava il proprio agire in stretta connessione con lo svolgersi di naturali sequenze temporali e astronomiche nel corso della giornata e dell'anno. La misura del tempo e l'osservazione della sua eterna ciclicità, ha condizionato per secoli le abitudini quotidiane delle comunità, ma anche i riti e le liturgie di tutte le religioni, basate sulla periodica ripetitività dei fenomeni celesti. I quadranti solari sono la testimonianza grafica sulla Terra di complessi eventi astronomico-proiettivi, perennemente in atto sulla sfera celeste, a distanze da noi infinite, e la loro realizzazione vide frequentemente la convergenza delle più svariate dottrine, dalla matematica alla fisica, dalla cartografia alla geografia, dalla geometria all'arte, che testimoniano il fervente clima culturale creatosi in Europa tra il XV e il XIX secolo.

Nel presente volume ci siamo dunque posti l'obiettivo di individuare testimonianze, studi e ricerche capaci di valorizzare il dialogo tra diversi campi del sapere (restauro, geometria, nuove tecnologie, storia dell'architettura, gnomonica e astronomia) con la finalità principale di attivare la divulgazione, la comunicazione e la conseguente fruizione dei beni culturali appartenenti al patrimonio gnomonico, molto spesso abbandonati o, addirittura, sconosciuti attraverso il recupero e la valorizzazione degli stessi.

Nuove prospettive (L.F.)

Se la ricognizione delle *tracce materiali* ha evidenziato la pregnanza storica e culturale degli artefatti che testimoniano l'antico legame tra l'uomo e il cielo – dalle architetture orientate agli strumenti gnomonici –, l'odierno panorama scientifico e tecnologico dischiude orizzonti inediti per la loro interpretazione e valorizzazione. Abbracciando le potenzialità offerte dalle metodologie digitali avanzate, come il rilievo tridimensionale, la modellazione virtuale e la realtà aumentata, si apre un nuovo capitolo nello studio di questo patrimonio. Queste sono alcune delle *nuove prospettive* che non si limitano a fornire strumenti di analisi più precisi e capaci di restituire leggibilità a manufatti spesso frammentari o nascosti sotto il suolo. Esse promuovono un approccio interdisciplinare che integra competenze diverse – dal restauro all'astronomia, dalla geometria all'informatica – per svelare significati nascosti e potenzialità di fruizione innovative. In questo senso, l'attraversamento del tempo, già sottolineato nell'introduzione come chiave interpretativa del volume, si arricchisce di una dimensione dinamica e interattiva, trasformando le statiche *tracce materiali* in interfacce dinamiche verso la conoscenza e la condivisione del rapporto tra cielo e terra modificatosi e/o caratterizzatosi nel tempo.

Ma non solo. Nuove prospettive sono intese anche come possibilità di delineare nuovi approcci di lettura del patrimonio archeoastronomico e astronomico comprendente l'architettura e l'arte in vista di orizzonti del sapere che possano riflettere maggiormente le esigenze contemporanee della società e del vivere. Forse, riflettere su questi argomenti è aiutare l'umanità a porsi domande sulla rigenerazione degli spazi, dei luoghi, degli edifici, degli ambienti, per ritrovare un giusto equilibrio nel rapporto uomo-natura che oggi sembra essere interrotto. In questo volume volutamente sono affrontati temi apparentemente *borderline* rispetto al rapporto tra architettura, geometria e astronomia. Essi evidenziano aspetti macroscopici di argomenti dell'esigenza di ricerca e curiosità dei ricercatori che trovano fili conduttori inediti e specialistici. È il caso del saggio sulla cartografia lunare recente (Emanuele Garbin), o sulla luce del Nord (Gabriella Liva).

L'osservazione del cielo, evolutasi nel tempo, se ha raggiunto sofisticati metodi e strumentazioni, ha al contempo anche raggiunto alti livelli di invisibilità dovuto allo sviluppo delle città e all'uso dell'illuminazione artificiale. Quindi, riconquistare un diverso rapporto con il cielo nella sua dimensione cosmica, con la luce come fonte sostenibile è quello che in fondo è auspicato negli obiettivi dell'Agenda 2030 (nonostante gli attuali cambiamenti di visione a livello internazionale). Ed allora il cielo si pone come fonte di idee per l'architettura contemporanea, in grado di porsi ad usi comunitari e sociali. Il saggio sulle architetture tra cielo e terra (Laura Farroni) offre considerazioni per analizzare paradigmi nella progettazione architettonica analizzando architetture dedicate al culto della dottrina cattolica, dalle quali si possono estrapolare forme della conoscenza sulla luce e sulle configurazioni spaziali, relazionando le dimensioni cosmiche, da usare per altri ambienti.

Futuri possibili sono previsti nel saggio sull'osservatorio di La Silla (Wolff, Lanciano) con la consapevolezza dell'importanza di non lasciare andare perduto il patrimonio scientifico mondiale, il cui intento è espresso anche dal saggio sull'osservatorio di Pechino (Matteo Flavio Mancini). Spunti di nuove prospettive emergono infine anche per gli orologi solari medievali rappresentati in due affreschi del Trecento toscano

(Mario Arnaldi), indice di nuove letture orarie a dimostrazione che l'argomento oggetto del volume ancora lascia aperte strade per molte indagini.

Conclusioni

Con questo saggio si delinea il tema dell'attraversamento del tempo attraverso due lenti complementari: l'analisi delle tracce materiali e l'adozione di nuove prospettive. Le tracce materiali, come abbiamo visto, costituiscono una preziosa testimonianza del costante tentativo dell'umanità di comprendere e rappresentare il cosmo. Le nuove prospettive, d'altra parte, ci offrono strumenti potenti per reinterpretare queste tracce, aprendo nuove strade alla ricerca, alla progettazione contemporanea e alla fruizione del patrimonio astronomico. Questo volume rappresenta il punto di arrivo di un'intensa attività triennale e auspichiamo possa costituire un fertile punto di partenza per future esplorazioni e approfondimenti.



I settori polari
nella mappa della
serie delle *Shaded
Relief Maps of the
Moon*, pubblicata
dall'USGS nel
1981.

Luna Incognita: l'incerto confine tra noto e ignoto nella recente cartografia lunare (1990-2020)

Abstract

Questo contributo considera il caso particolare della recente cartografia lunare come un esempio della difficile comprensione da parte della scienza della dismisura e dell'invadenza dell'invisibile. Qui si mostra come i cartografi, e gli scienziati stessi, spesso facciano fatica a pensare adeguatamente il confine tra i domini del noto e dell'ignoto, nel contesto più generale della loro e delle altre discipline. Della cartografia lunare si considerano le mappe redatte tra il 1990 e il 2020, descrivendone brevemente i metodi impiegati nei rilievi metrici e fotografici, e le diverse tecniche di restituzione grafica.

This paper considers the particular case of lunar cartography as an example of the difficult misunderstanding by science of the boundless bigness and intrusiveness of the invisible. Here, we would like to show how cartographers and scientists alike have trouble thinking properly about the boundary between the domains of the known and the unknown, within the overall context of their own and other disciplines. In the realm of lunar mapping, we are taking into account maps produced from 1990 to 2020 and briefly describing the methods utilized in metric and photographic surveys, as well as the various techniques of graphical translation.

Parole chiave

Cartografia lunare
Cartografia planetaria
Sonde lunari
Missioni spaziali
Rilievi lunari

Emanuele Garbin
Università Iuav di Venezia
→ emanuele.garbin@iuav.it

Introduzione

La cartografia lunare, per le particolari condizioni di accessibilità e visibilità del suo oggetto, ha da sempre posto in modo esemplare la questione del confine tra gli opposti domini del noto e dell'ignoto, così come questo confine si mostra nella visione diretta e indiretta e nelle stesse rappresentazioni cartografiche. Qui ci si propone di prendere in esame le più recenti carte della Luna – quelle prodotte nel trentennio che va dal 1990 al 2020 – ponendo particolare attenzione a quel confine e alle porzioni ignote piuttosto che a quelle note. Nel corso di questa breve indagine ci si può rendere conto di come la scienza – e non solo la scienza – tenda a pensare quello che già sa e a non pensare e a dissimulare inconsapevolmente quello che non sa, non senza conseguenze sul suo eventuale avanzamento. Tra le cause di questa disattenzione c'è lo stesso eccesso di informazione e di documentazione, che tende a 'nascondere' il nascosto per effetto di una ingiustificata presunzione di conoscenza. Questo studio si è basato sul confronto tra le diverse mappe e metodi di mappatura, ponendo una maggiore attenzione alle irriducibili carenze e alle irregolarità, piuttosto che alle regolarità, dei procedimenti grafici adottati. Il repertorio esaminato è principalmente quello vastissimo dell'intero archivio cartografico e fotografico della NASA, recentemente digitalizzato e reso interamente accessibile in rete. Tra i riferimenti teorici principali ci sono quelli relativi all'ontologia esistenziale e analitica, qui appena citati ma considerati un'utile premessa alla rappresentazione di oggetti al limite del visibile e del conoscibile.

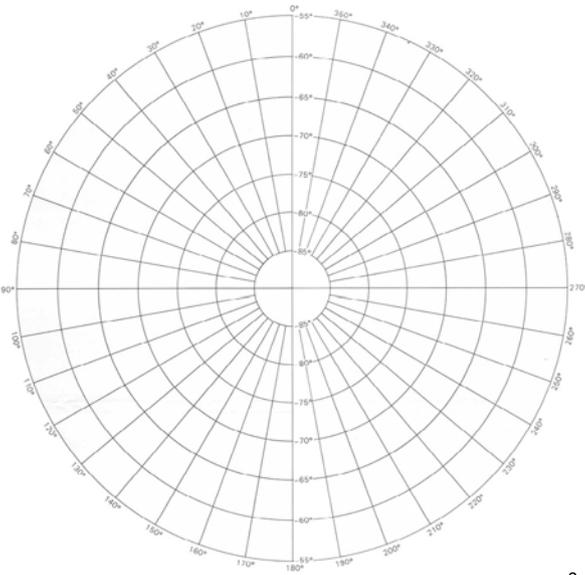
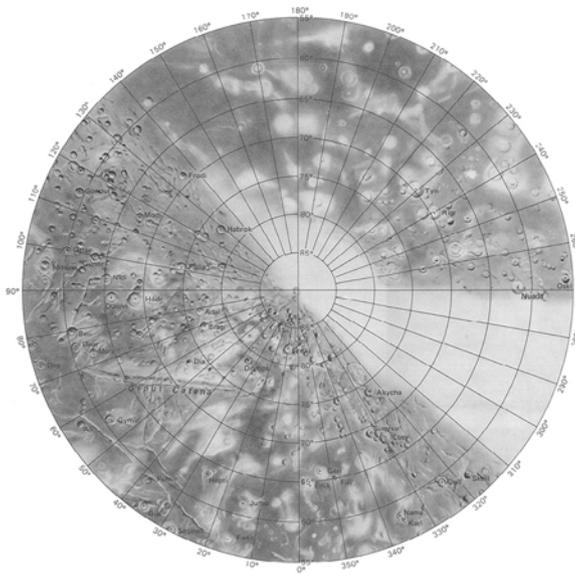
Le mappe e i metodi di mappatura

Dopo la conclusione del progetto Apollo, per almeno vent'anni non vengono più organizzate missioni lunari con o senza equipaggio umano, e l'esplorazione della Luna si limita alla redazione delle mappe sulla base della grande quantità di dati e materiali fotografici raccolti [fig. 1]. Prima delle nuove versioni delle mappe della Luna, i cartografi dell'USGS – l'United States Geological Survey – disegnano quelle di Marte, fotografato dalla sonda Mariner 9 nel 1971, e quelle di Mercurio, fotografato da Mariner 10 nel 1974 e nel 1975¹. Le immagini ricevute da Mariner 9 sono già digitali e quindi trattate come tali: le elaborazioni consistono in correzioni della luminosità, applicazioni di filtri di vario tipo, evidenziazione dei contorni, trasformazioni da un tipo di proiezione all'altra. I metodi non digitali sono impiegati per le elaborazioni che all'epoca non possono essere automatizzate, principalmente per ridurre i bordi del mosaico fotografico, e per distinguere le ombre dall'albedo. La carta è disegnata con l'aerografo distribuendo il colore con uno spruzzatore elettrico – e eventualmente togliendolo con una gomma elettrica – e controllandone l'intensità con un densitometro. Le foto sono tradotte in un disegno caratterizzato da un tratto massimamente normalizzato, e la più grande attenzione è posta nell'uniformare la resa dei rilievi e dell'albedo.

La difficoltà della scienza di pensare il niente e soprattutto il confine che separa l'ente dal niente – una difficoltà che peraltro è stata della stessa metafisica e

1. I settori subpolari (50° N-50° S) nella mappa della serie delle *Shaded Relief Maps of the Moon*, pubblicata dall'USGS nel 1992.





2.
I settori polari (55-90° N e 55-90° S) della *Preliminary Pictorial Map of Callisto* pubblicata dall'USGS nel 1979.

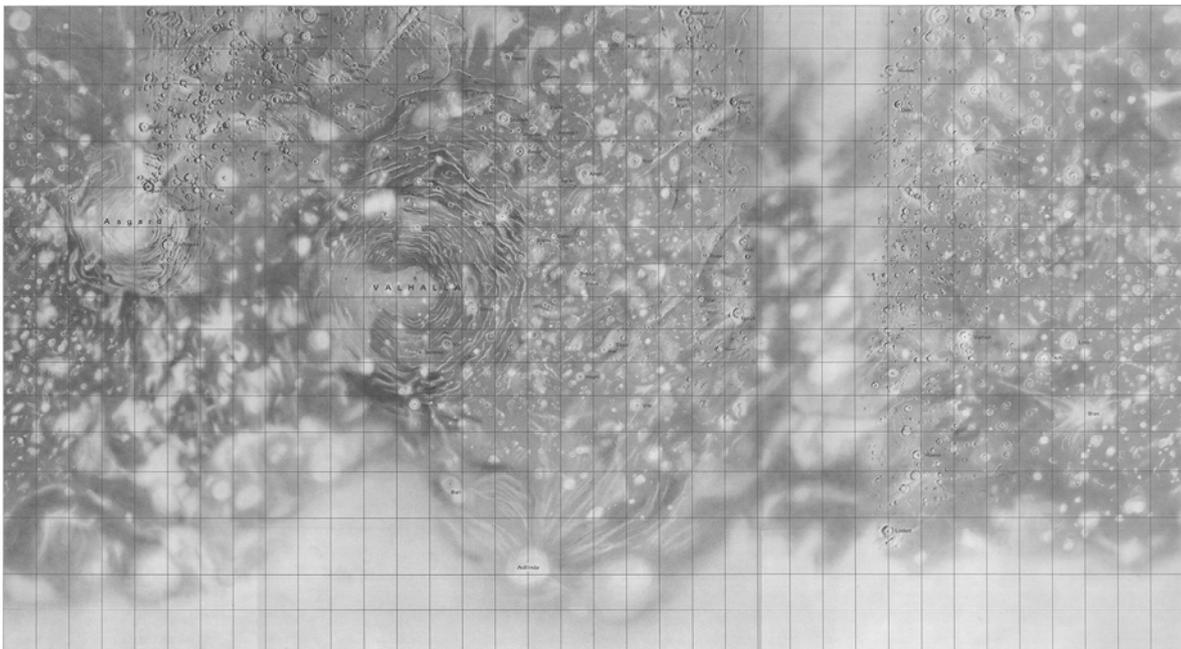
3.
I settori subpolari (70° N-70° S) della *Preliminary Pictorial Map of Callisto* pubblicata dall'USGS nel 1979.

2.

non solo della fisica – è un tema ricorrente della ontologia heideggeriana e post-heideggeriana: al proposito si vedano in particolare le considerazioni sul rapporto tra la scienza e il niente così come espresse da Heidegger in *Che cos'è metafisica?*. È pur vero che la stessa filosofia analitica si è posta in diverse occasioni il problema di definire la cosa fisica e quindi dististinguendola da quello che cosa non è: si pensi alle considerazioni di Willard Quine sull'essenza degli oggetti fisici e le difficoltà che lui stesso ha dovuto ammettere². Per quanto riguarda la cartografia planetaria la difficoltà di rappresentare il niente e il suo bordo si può constatare in negativo: in tutte le pubblicazioni e i manuali ad uso dei cartografi della NASA e dell'US Geological Survey impegnati nel disegno delle mappe nei primi cinquant'anni delle

esplorazioni spaziali non c'è nessuna indicazione relativa alla rappresentazione dei settori pochissimo o affatto documentati, così che la resa grafica della progressiva 'sparizione' dell'immagine è lasciata all'arbitrio del cartografo³.

Nelle carte dei pianeti più lontani, così come in quelle della Luna, si possono vedere tanti modi diversi, e spesso contraddittori, di rendere le aree non ancora ben fotografate. Nella mappa delle latitudini subpolari di Callisto del 1979, il disegno sfuma verso il polo sud in una ampia campitura uniforme di colore grigio [fig. 3], ma poi, nello stesso foglio, la mappa del solo polo [fig. 2] non è nemmeno più quel grigio ma il bianco del fondo e la rete delle coordinate⁴. Dove c'è qualcosa da mostrare, il passaggio dalle parti più definite a quelle indefinite è una sfumatura



3.

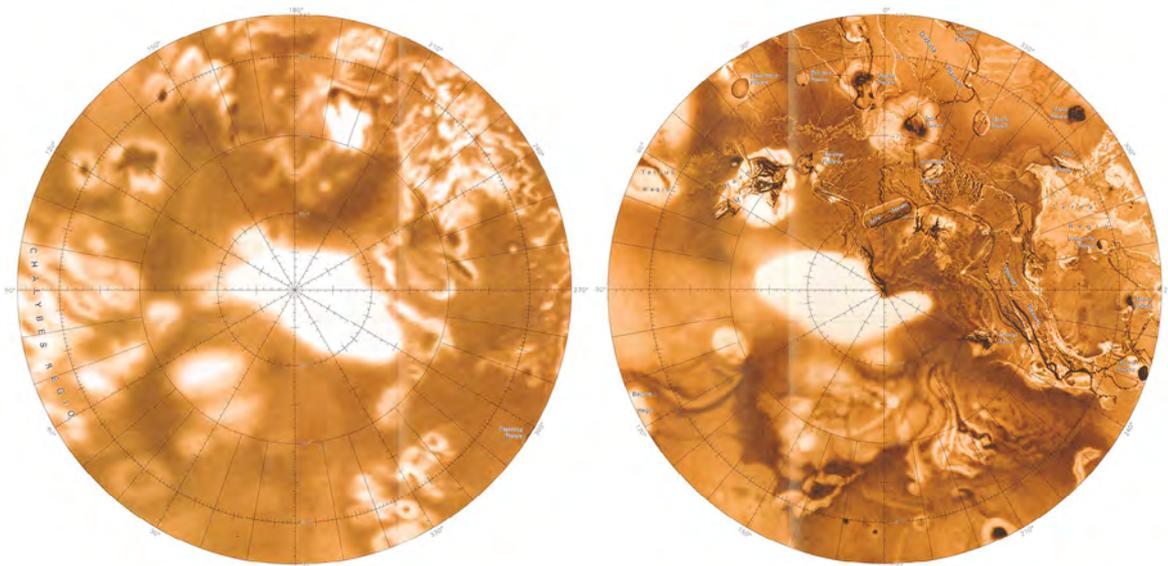
graduale, che però potrebbe anche essere scambiata per una minor rugosità del suolo. Nella carta di Europa, anche questa del 1979, è la mappa del polo nord ad essere lasciata bianca, mentre in quella del polo sud la campitura grigia uniforme e vuota si interrompe in corrispondenza di alcuni settori bianchi, quasi fossero un tipo diverso di vuoto⁵. Nella mappa di Io del 1987, i settori polari [fig. 4] sfumano in grandi macchie bianche di un vuoto ancora più vuoto, e però altre macchie bianche più piccole sparse in tutta la mappa subpolare [fig. 5] potrebbero essere allo stesso tempo delle parti più chiare o piuttosto delle parti più vuote⁶. La stessa incerta distinzione tra le parti quasi vuote e quelle che lo sembrano di più si vede nella mappa di Encelado del 1992, dove il fondo bianco prevale sul fondo grigio, ma stavolta il disegno, altrimenti tutto bianco, del polo sud non viene nemmeno più impaginato⁷.

È solo ventidue anni dopo l'ultima missione Apollo che una spedizione ha nuovamente come obiettivo la Luna e la sua immagine: nel 1994 la sonda Clementine la raggiunge e si posiziona su un'orbita polare.

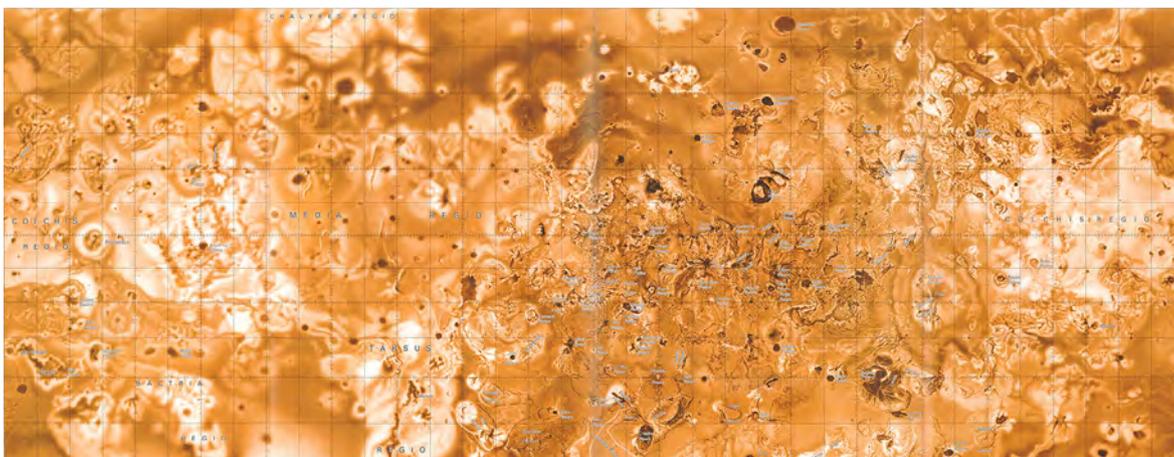
La dotazione di Clementine comprende una serie di telecamere e un sistema di rilevamento laser. Il complicato piano di volo è pensato in modo da permettere la mappatura completa della Luna tenendo conto della progressione del giorno lunare: nei due mesi di riprese sistematiche, l'orbita polare della sonda ruota gradualmente e lentamente, e così le telecamere riescono a riprendere tutta la superficie del satellite. La copertura fotografica è quasi completa, ma la mappatura non è propriamente uniforme, perché l'orbita ellittica eccentrica si avvicina di più alla fascia subequatoriale meridionale nel primo mese, e a quella subequatoriale settentrionale nel secondo mese, restando sempre relativamente lontana dai settori polari⁸. L'altimetro laser rileva direttamente la posizione di circa 72.000 punti della superficie lunare: la portata però è limitata, e in prossimità dei poli non può effettuare misure, che devono essere ottenute dalle foto stereoscopiche. Nello sforzo di rendere l'immagine di tutta la Luna si afferma nuovamente un criterio di completezza e di uniformità, ma allo stesso tempo è anche negato: la superficie lunare

4. I settori polari (55-90° N e 55-90° S) della *Shaded Relief and Surface Markings Map of Io* pubblicata dall'USGS nel 1987.

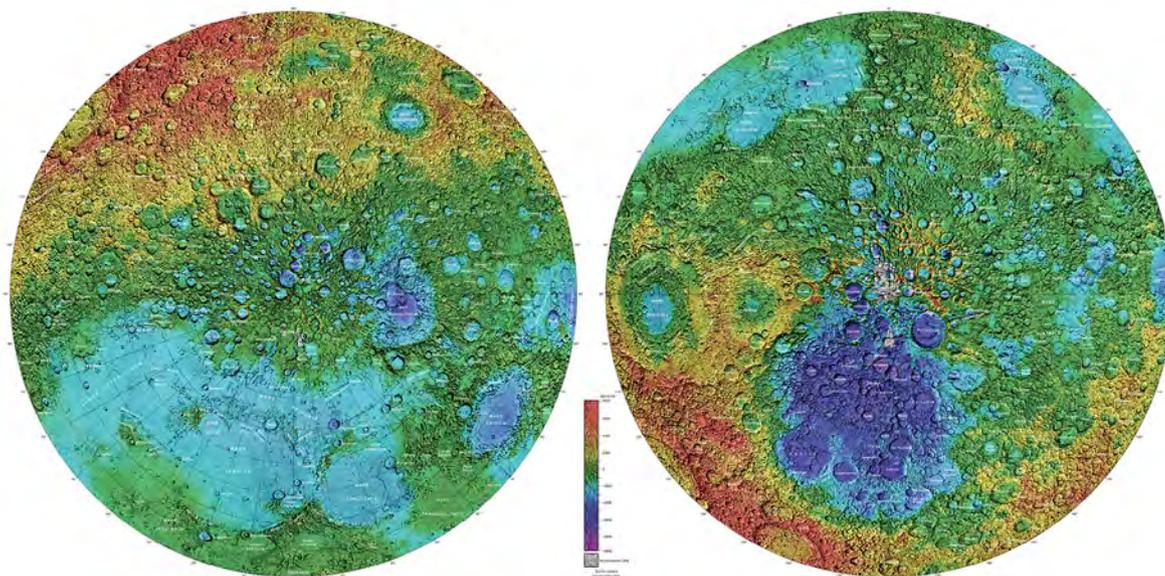
5. I settori subpolari (57° N-57° S) della *Shaded Relief and Surface Markings Map of Io* pubblicata dall'USGS nel 1987.



4.



5.



6. Gli emisferi polari della *Color-Coded Topography and Shaded Relief Map of the Lunar North and South Hemispheres* pubblicata dall'USGS nel 2002.

6.

sembra ormai completamente accessibile e visibile, eppure non è ancora tutta allo stesso modo accessibile e visibile.

Il progresso nel riempimento e perfezionamento dell'immagine della Luna è notevole e riguarda anche le parti che si mantengono invisibili, perché se ne può meglio apprezzare l'ampiezza e l'importanza. Le porzioni dei settori polari che sono perennemente in ombra sono riprese più e più volte dalla sonda che orbita sopra di loro, anche se gli strumenti non riescono ad ispezionarle. Insieme e vicino ai crateri il cui fondo è immerso da sempre nelle tenebre la sonda vede anche quelle cime che sono perennemente o quasi perennemente illuminate dai raggi del Sole, i 'picchi della luce eterna' di cui già parlava Camille Flammarion nel XIX secolo. Le particolari condizioni di illuminazione dei settori polari li rendono di speciale interesse in previsione di un ritorno, perché nelle parti illuminate l'energia solare è sempre disponibile e perché in conseguenza dell'inclinazione relativamente costante dei raggi del Sole il suolo non si riscalda e non si raffredda mai quanto nei settori subpolari ed equatoriali, mantenendosi ad una temperatura più favorevole alle attività umane. Pensando a delle basi stabili c'è chi ipotizza la presenza di riserve di acqua congelata intrappolata sul fondo dei crateri in ombra e, anche se su Clementine non ci sono strumenti per rilevarla, durante la missione si tenta comunque un esperimento. L'antenna trasmittente della sonda viene puntata sul polo sud, e il segnale rimandato dalla Luna e ricevuto sulla Terra è analizzato considerando il particolare modo in cui le onde di questo tipo sono disperse dal ghiaccio: i risultati ottenuti sono compatibili con la presenza di acqua ghiacciata al polo e le indagini successive confermeranno questa ipotesi.

I dati metrici della sonda permettono di produrre

dei modelli DEM – Digital Elevation Model – della superficie lunare, e le nuove carte della Luna, tra cui le *Color-Coded Topography and Shaded Relief Maps* degli emisferi lunari [fig. 6] alla scala 1:10.000.000, pubblicate dall'USGS nel 2002⁹. In queste carte la variazione delle altezze è mostrata da una scala cromatica convenzionale dove il rosso è il colore delle quote superiori a 7000 metri e il blu e il viola di quelle inferiori a 4000 metri sotto lo 0, che corrisponde alla superficie di una sfera di raggio 1737,4 km. Nei settori per cui i dati delle altezze non sono disponibili la mappa non è colorata ed è lasciata in grigio, che qui è il non-colore dell'incertezza. La limitata tavolozza della legenda approssima molto il rilievo altimetrico, ma mette anche in evidenza delle caratteristiche morfologiche della *big picture* altrimenti poco visibili se non proprio invisibili. Nelle carte di questa serie si distingue bene il cerchio blu del bacino Polo Sud-Aitken, l'impronta larga 2500 e profonda otto e più chilometri di un antichissimo impatto, nascosta dai crateri degli impatti successivi e qui visibile in tutta la sua estensione proprio per la relativa differenza di profondità rispetto ai settori circostanti. Nelle tavole sono riportati gli schemi dei due emisferi, che mostrano la provenienza dei dati topografici: nell'ampia fascia delle latitudini subpolari i dati sono quelli rilevati dall'altimetro laser, mentre i dati delle latitudini polari sono ricavati dalle foto stereoscopiche. La specifica *net of rationality* delle nuove carte si vede bene in questi schemi e in quelli delle orbite di Clementine¹⁰: una trama regolare e discontinua di punti e di foto allineati alle orbite della sonda, che poi si confonde in corrispondenza dei poli dove i rilievi e le loro ombre la interrompono. Le riprese fatte nelle frequenze visibili e in quelle invisibili dalle telecamere di Clementine danno informazioni sulla composizione del suolo lu-

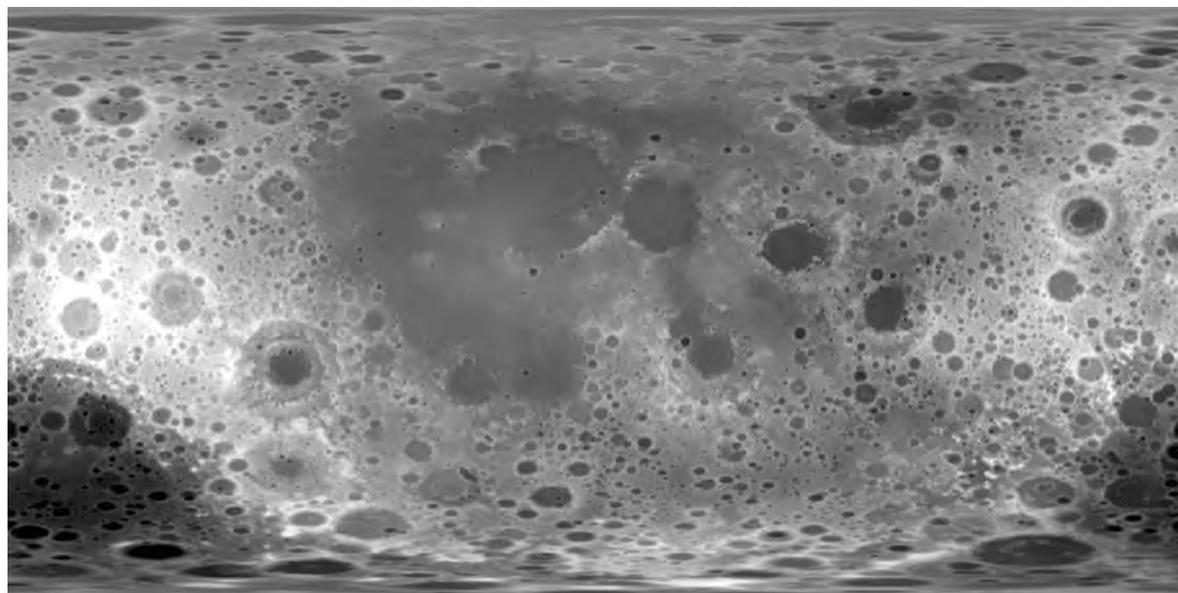
nare: l'immagine della Luna si scompone in livelli e nelle relative mappe colorate convenzionalmente, e la stessa altezza è uno di questi livelli tradotto in una tavolozza di colori convenzionali.

Tra la fine del XX secolo e gli inizi del XXI i piani per un nuovo programma di esplorazione umana della Luna sono stati più volte annunciati e poi ridimensionati e rinviati, almeno fino al recente annuncio del programma Artemis, presentato ufficialmente dalla NASA nel 2019. Qui ci si limita a citare il discorso pronunciato dal presidente Barack Obama il 15 aprile 2010 al Kennedy Space Center come esempio di un'esplorazione – in questo caso spaziale – che mette in ombra se stessa. In quel discorso Obama annuncia una profonda revisione dei programmi della NASA – alcuni sono cancellati, ad altri vengono assegnati maggiori finanziamenti – e indica in Marte e nella sua esplorazione la prossima frontiera dei viaggi spaziali. Alla Luna dedica poche parole, rivolgendosi all'astronauta Edwin 'Buzz' Aldrin presente tra il pubblico: "Ora, io capisco che qualcuno pensa che dovremmo cercare di tornare prima sulla Luna, come era già stato previsto. Ma su questo voglio essere molto chiaro. Ci siamo già stati. Buzz c'è già stato. C'è molto di più da esplorare nello spazio, e da imparare"¹¹. La Luna era già da tempo entrata nell'ombra di se stessa: al momento della partenza del razzo di Apollo 11 da Cape Canaveral, il 16 luglio 1969, l'allora vicepresidente Spiro Agnew in un'intervista pubblicata il giorno dopo sul *The New York Times*, già parlava di Marte come il prossimo obiettivo delle missioni spaziali: "La mia personale impressione è che dovremmo porci l'obiettivo semplice, ottimistico e ambizioso di un volo con equipaggio su Marte entro la fine di questo secolo. Che lo si dica o no, qualcuno comunque lo farà"¹². Attualmente si stanno effettivamente progettando le prossime spedizioni su Marte, anche se il progetto

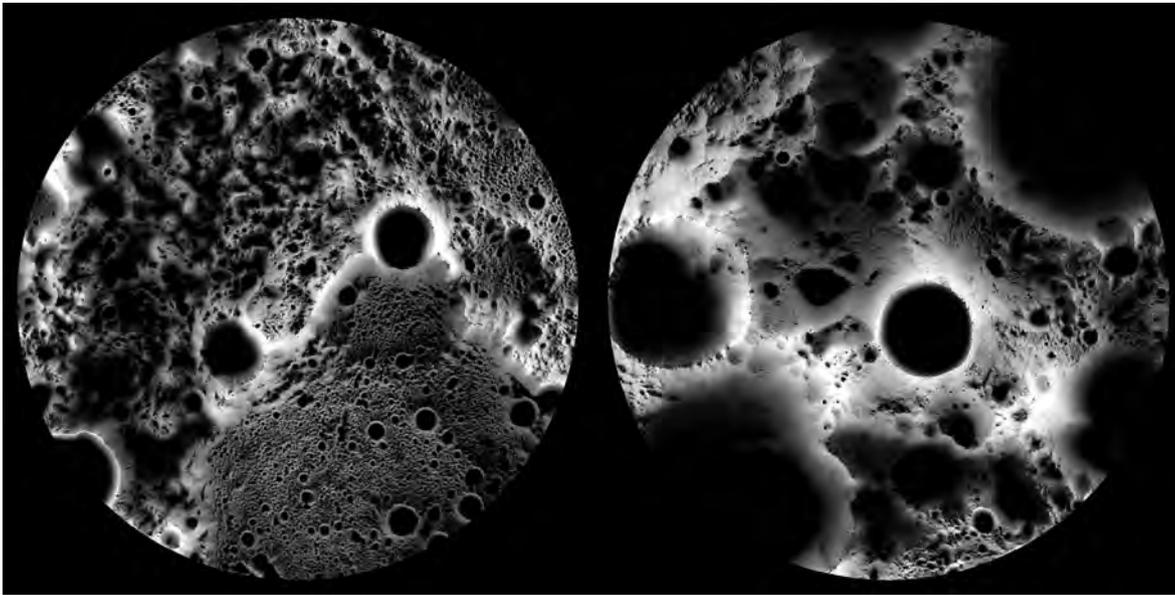
non è ancora affatto definito, così come non è definita la data di partenza, e però Marte stesso – come già la Luna – è finito nell'ombra della sua stessa immagine: le numerosissime e dettagliatissime foto inviate dalle sonde e dai veicoli a terra cominciano a dare l'impressione che non ci sia molto altro da vedere, e la stessa eventuale scoperta di forme di vita marziana o delle loro tracce non sembra poter cambiare davvero una visione del mondo ampiamente condivisa. Nell'epoca dell'immagine totale del mondo, o del mondo ridotto ad immagine, questa stessa immagine appare e immediatamente è sostituita da un'altra e scompare.

I prodotti cartografici del programma di esplorazione spaziale cinese danno conto della progressiva trasformazione dell'immagine della Luna e della sua trama digitale. La sonda Chang'E-1 raggiunge la Luna nel 2007 e si mette su un'orbita polare circolare ad un'altezza di 200 chilometri. Lo schema delle orbite polari consecutive, più vicine tra loro ai poli e più distanziate all'equatore, è simile a quello di Clementine, ma più 'pieno' e regolare: dalle foto e dalle misure dell'altimetro laser di Chang'E-1 – che rileva una nuvola di più di nove milioni di punti, molti di più di quelli misurati da Clementine – i cartografi cinesi derivano una mappa DOM – Digital Orthophoto Map – con una risoluzione di 120 metri e diversi modelli DEM – Digital Elevation Model – della superficie lunare¹³. Nel 2010 viene lanciata la sonda Chang'E-2: anche questa sonda ha il compito di mappare la Luna, e la fotocamera ne riprende tutta la superficie dall'altezza di 100 chilometri con una risoluzione di 7 metri, e alcune parti da un'altezza di 15 chilometri e con una risoluzione di circa un metro e mezzo. Il programma cinese prosegue poi con la missione di Chang'E-3 che alluna nel 2013 portando con sé il rover Yutu: durante la discesa le immagini riprese direttamente da Chang'E 3 sono

8.
Un'immagine del modello DEM globale (con la definizione di 118 metri per pixel) ricavato dai dati di LRO, e pubblicato dall'USGS nel 2014 sul sito dell'Astrogeology Science Center.



8.



7.
Le aree in ombra permanente nelle WAC Time-Weighted North and South Polar illumination Maps pubblicate sul sito della LROC – Lunar Reconnaissance Orbiter Camera – nel 2013.

7.

composte insieme a quelle di Chang'E-2 e usate per elaborare istantaneamente il modello TIN – Triangulated Irregular Network – del sito di allunaggio e per guidare il touchdown e i movimenti del rover sul suolo lunare.

La prima edizione dell'atlante topografico di Chang'E-1 – *The Chang'E-1 Topographic Atlas of the Moon* – è pubblicata nel 2012¹⁴. La carta complessiva è ricavata dal modello DEM di Chang'E-1 con la risoluzione di 500 metri. All'inizio dell'atlante sono impaginate diverse versioni proiettive della stessa mappa della Luna – ortografiche, di Mercatore, di Mollweide – e questa varietà di versioni attesta la separazione del dato dalla sua immagine, perché il dato può essere proiettato in tutti i modi possibili. Le tavole dell'atlante vero e proprio sono il rendering uniformemente illuminato e ombreggiato del modello DEM senza la minima concessione al vero colore o all'albedo del suolo lunare che invece può essere visto nell'atlante fotografico di Chang'E-1 – *The Chang'E-1 Image Atlas of the Moon* – pubblicato nel 2010¹⁵. La riduzione del colore alla tavolozza cromatica delle altezze produce una impressione di monotonia accentuata dalla smussatura dei rilievi, dove questa dipende non solo dalla loro effettiva smussatura, ma anche dall'interpolazione dei punti del modello DEM: mentre il tratto manuale mantiene le differenze di rugosità, il tratto digitale smussa e omologa paesaggi altrimenti differenti. La trama dell'immagine complessiva che ne risulta è esemplare di un modo di intendere e immaginare la Luna e non solo la Luna. La sua è una *net of rationality* che mira alla completezza e si impone per una pienezza di contenuto, e che però dissimula tutto il vuoto che c'è tra punto e punto e nel punto stesso.

Nel 2009 viene lanciata la sonda Lunar Reconnaissance Orbiter, con il compito di produrre dei rilievi

dettagliati della Luna in previsione delle future spedizioni con equipaggio umano. A tutt'oggi la sonda funziona ancora e continua a trasmettere a terra foto e dati che si accumulano e producono una immagine di tipo nuovo, nel suo complesso eccessiva e interminabile¹⁶. L'altimetro di LRO – il Lunar Orbiter Laser Altimeter o LOLA – rileva delle serie di punti con una distanza di circa 25 metri uno dall'altro sulla traccia dell'orbita polare e con una distanza tra le tracce di 25 metri ai poli e di 500 metri all'equatore. L'apparato fotografico di LRO è costituito dalla Wide Angle Camera o WAC, una fotocamera con un campo visivo ampio e una risoluzione di 100 metri dall'altezza di 50 chilometri, e dalle Narrow Angle Camera o NAC, due fotocamere con un campo visivo ridotto e una risoluzione di 50 centimetri dalla stessa altezza di 50 chilometri.

L'immagine della Luna ormai si sviluppa nel tempo ed è sempre meno un'immagine che una sorta di ispezione continua, una mappa in divenire che mostra le minime modificazioni del paesaggio lunare. Tra i prodotti della missione di LRO ci sono una mappa fotografica di tutta la Luna derivata dalle foto della Wide Angle Camera con una risoluzione di 100 metri per pixel; una mappa topografica globale [figg. 9, 10] ricavata dalle misure dell'altimetro LOLA – più di 6.500.000.000 di misure prese tra il 2009 e il 2013 –; diversi modelli DEM globali, tra cui quello con la definizione di 118 metri per pixel all'equatore [fig. 8]¹⁷. Poi ci sono anche le foto di numerosi siti di interesse riprese dalla Narrow Angle Camera e i relativi modelli DEM parziali ottenuti [figg. 11-14]: la misura del vuoto tra un pieno – un punto – e l'altro del modello si riduce ed è di poco superiore o addirittura uguale o inferiore alla misura umana, e così il vuoto stesso diventa meno temibile e quindi anche meno 'visibile' in quanto tale. Tra

i prodotti specificamente realizzati per la rete c'è il Lunar QuickMap, il navigatore delle mappe ricavate dai rilievi del Lunar Reconnaissance Orbiter e delle altre sonde più recenti – Clementine, Lunar Prospector, Chandrayaan-1, GRAIL e Kaguya. I diversi livelli tematici sono sovrapponibili e visibili in trasparenza e si può scegliere tra quattro tipi di proiezione: cilindrica fino a 75° N e S, stereografica da 60° a 90° N e S, ortografica dei quattro emisferi – *farside*, *nearside*, settentrionale, meridionale – oppure libera¹⁸. Quest'ultima modalità proiettiva si presenta come un globo tridimensionale esplorabile da tutte le direzioni e da tutte le distanze: avvicinandosi molto sembra di sorvolare la Luna, e però la monotonia geografica e grafica – la Luna è sempre resa in bianco e nero – non invita ad una esplorazione prolungata, perché si ha l'impressione di non aver più niente di nuovo da scoprire.

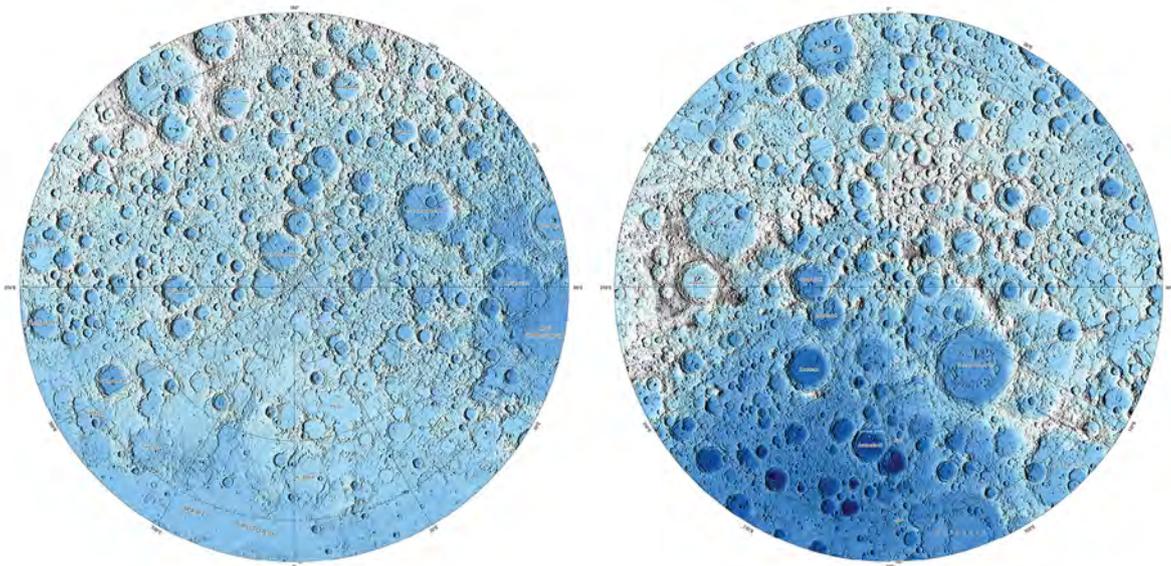
Un effetto speciale lo fanno le foto ravvicinate riprese dalle due Narrow Angle Camera, ortogonali al suolo oppure oblique: la maggiore definizione dell'immagine permette di distinguere tutti gli effetti primari e

secondari degli impatti più recenti, che possono anche risalire a milioni di anni fa, ma non sono ancora stati coperti dagli *ejecta* di altri impatti. Le fratture e i crolli più minuti danno l'impressione di osservare il paesaggio di una catastrofe accaduta da pochissimo e in pochissimo tempo, un'impressione che contrasta con quella dell'antichità e della monotonia dei soliti paesaggi lunari. LRO vede anche gli effetti di impatti recentissimi, e questa nuova capacità ispettiva dà il senso di un diverso tempo lunare.

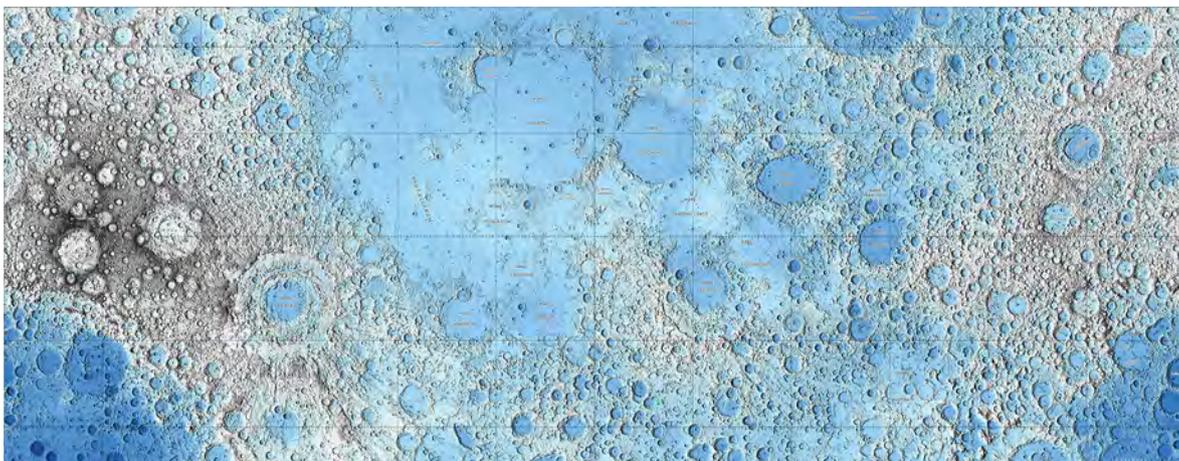
La pienezza pur sempre limitata dei più recenti rilievi metrici e fotografici – realizzati quasi esclusivamente in bianco e nero – fa pensare ad una scoperta fatta dagli astronauti di Apollo 17, l'ultima missione lunare con equipaggio umano. Durante una delle loro attività extraveicolari, Eugen Cernan e Harrison Schmitt vedono qualcosa che attira la loro attenzione e li sorprende: si tratta di una porzione di suolo lunare di pochi metri quadrati e di un insolito colore giallo arancio, che fa immediatamente pensare a loro e a chi li segue da terra a dei processi di ossidazione. Questa ipotesi non sarà confermata, ma

9.
I settori polari (55-90° N e 55-90° S) della *Topographic Map of the Moon* pubblicata dall'USGS nel 2015.

10.
I settori subpolari (57° N-57° S) della *Topographic Map of the Moon* pubblicata dall'USGS nel 2015.



9.



10.

se lo fosse stata avrebbe cambiato completamente le teorie correnti sulla formazione della Luna, e verosimilmente della Terra stessa¹⁹. A far riflettere sulla parzialità della nostra conoscenza della Luna – e più in generale di tutta la nostra conoscenza – è il fatto che quel terreno giallo, così come tanti altri fenomeni potenzialmente della massima importanza, non potrebbe essere rilevato nemmeno dai più potenti apparati fotografici delle attuali sonde.

Uno degli ultimi prodotti della missione del Lunar Reconnaissance Orbiter è l'atlante delle regioni lunari permanentemente in ombra – *Permanently Shadowed Regions* [fig. 7] –, pubblicato nel 2018²⁰. Più precisamente, si tratta di una serie di foto delle 324 zone in ombra perenne più ampie di 10 chilometri quadrati, e in queste foto finalmente si vede qualcosa, perché sono state riprese con una esposizione prolungata, sfruttando in questo modo la debolissima luce diffusa che comunque arriva sul fondo dei crateri polari: verrebbe da pensare che finalmente il dominio del visibile si sia esteso a tutta la Luna, se non fosse che l'invisibile – ovvero l'incomprensibile – si ritrae nel visibile stesso, dove è ancora meno visibile.

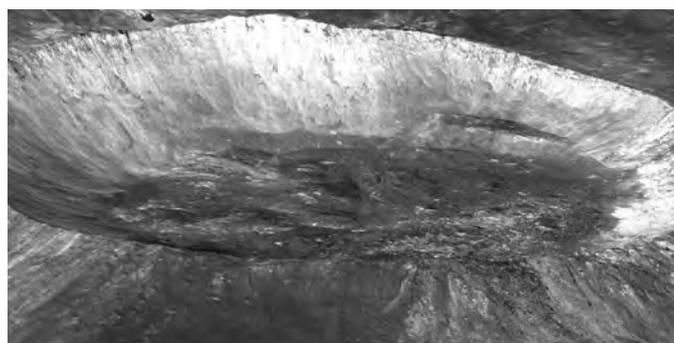
La comune natura dei modelli digitali li rende assimilabili tra loro, e così quelli della Luna possono essere 'esposti' assieme agli altri modelli del microcosmo e del macrocosmo, prescindendo dalla loro comparabilità: l'ambito dell'incontro allora non è più quello scientifico, ma piuttosto quello della rappresentazione artistica. Gli *x-verse* di Ryoji Ikeda sono accumulazioni di immagini ricavate da basi di dati biologici, geografici, astronomici, che si distinguono per la loro eccedente numerosità e si presen-

tano come paesaggi di dati tradotti in punti o linee²¹. In *data-verse 1* del 2019 si riconoscono tra l'altro la nuvola di punti di una porzione della superficie terrestre, i modelli di alcuni settori della superficie lunare, e poi i grandi e più grandi ammassi di stelle e di galassie. Oltre alla materia digitale, quel che accomuna questi modelli è il rappresentarsi come scansione, cioè come una linea o un piano che attraversa una porzione di microcosmo o di macrocosmo. In quest'epoca, la comprensione si identifica sempre di più con la scansione, e la scansione con la comprensione: si potrebbe quasi dire che la scansione sia una delle 'forme simboliche' del tempo presente così come lo è stata a suo tempo la prospettiva. Nei filmati di Ikeda questa linea che tutto attraversa è il tema visivo ricorrente: questo nuovo terminatore a volte ha l'aspetto di una banda stretta di accentuata luminosità, altre volte è il bordo mobile che separa quello che già si vede da quello che ancora non si vede, dove l'invisibile è comunque sempre già visto o prevedibile. In *data-verse 1* questo limite di progressiva visibilità scorre sul modello della Luna dall'alto al basso e dal basso in alto, da sinistra a destra e da destra a sinistra. Quando il punto di vista si avvicina e penetra le nuvole di punti si vede il vuoto – il nero – di cui anche sono fatte e che le circonda, ma lo si vede appena, perché il campo visivo si adatta all'ampiezza della nuvola stessa e perché quel niente tra punto e punto è mero niente, sfondo insignificante e inconsistente.

Gli astronauti che sulla Luna ci sono effettivamente stati, l'hanno descritta come una grande "distesa di niente" e hanno a loro modo contribuito all'imma-

11-12.
Viste dall'esterno del modello del cratere lunare Giordano Bruno, ricavato dalla sovrapposizione delle ortofoto (*High Sun e Low Sun*) al DEM di LRO (modelli e immagini prodotti dall'autore, con Carla Colzani).

13-14.
Viste dall'interno del modello del cratere lunare Giordano Bruno, ricavato dalla sovrapposizione delle ortofoto (*High Sun e Low Sun*) al DEM di LRO (modelli e immagini prodotti dall'autore, con Carla Colzani).



11.



12.



13.



14.

gine condivisa di un niente da vedere e da pensare. L'interesse per la Luna si è mutato nell'interesse per le sue risorse, ovvero per la Luna non già in quanto tale ma in quanto risorsa. Questo e solo questo sembra ormai giustificare le prossime missioni e finalmente il suo possesso: e però forse era proprio quel niente da vedere e da pensare – dove niente può essere inteso non come mero niente ma come non ancora qualcosa – la sua risorsa più propria e quella che più rapidamente verrà consumata.

Conclusioni

La cartografia lunare è un caso esemplare e il pretesto per un discorso più generale sul bordo ultimo delle immagini, da sviluppare ulteriormente in riferimento alle diverse scienze particolari. Dell'ignoto la scienza si nega ogni immagine – pena l'accusa

di essere non più scienza fisica ma metafisica – almeno fino a quando non se ne può effettivamente sapere qualcosa, non fosse altro che per estrapolazione del noto. Dell'ignoto che penetra i domini del noto spesso non ce ne si avvede, per l'ormai quasi 'impensabile' ricchezza di documentazione. Questo contributo – sintesi parziale di un più ampio studio condotto dall'autore sull'immagine e l'immaginario scientifico – vorrebbe spostare l'attenzione dalla 'pienezza' della mappa del noto ai suoi bordi esterni e interni, e indurre a ripensare i limiti della rappresentazione, o i contorni di quelle cose che sono appunto al limite del visibile e del conoscibile. A questo scopo si ritiene di particolare utilità il riferimento agli studi di ontologia, che si occupano appunto del problematico rapporto tra ente e niente e del bordo – o del disegno – che li distingue.

Note

1. Qui si fa riferimento a: *Shaded Relief Maps of the Moon*, 1:5.000.000, USGS, 1978-1992; *Shaded Relief Map of Mars* (M 25M 2R); 1:25.000.000, USGS, 1975; *Shaded Relief Maps of Mercury* (H 15M R), 1:15.000.000, USGS, 1979; *Mercury: Relief and Albedo Markings visible on Mariner 10 Images* (H 15M 1RM), 1:15.000.000, 1979.
2. Così Heidegger: "La scienza appunto rifiuta il niente e lo abbandona come nullità. [...] Contro di esso la scienza deve ora ribadire la sua serietà e il suo rigore, deve affermare che ciò che le importa è unicamente l'ente. Che cosa può essere per la scienza il niente se non una mostruosità e una fantasticheria? Se la scienza ha ragione, allora una cosa è certa: del niente la scienza non vuol saperne niente". Heidegger M. (2008). *Che cos'è metafisica?* In Id. *Segnavia*. Milano: Adelphi, p. 62. (Prima ed. *Wegmarken*. Frankfurt am Main 1976). Riguardo al concetto di oggetto fisico di Willard Van Orman Quine si vedano soprattutto: Quine W. V. O. (1982). *Il destino degli oggetti fisici*. (Prima ed. *Whither physical objects*. In *Boston Studies in Philosophy of Science*, n. 39) e *Via i mondi!* (Prima ed. *Worlds Away*. In *The Journal of Philosophy*, n. 73/12). In Id., *Saggi filosofici 1970-1981*. Roma: Armando.
3. Qui ci si limita a citare le pubblicazioni di Raymond Batson e dei suoi collaboratori: (Batson R. M. 1973); (Inge J. L., Bridges P. M. 1976); (Greeley R., Batson R. M. (eds.). 1990). Si vedano anche i testi che accompagnano le singole mappe e le introduzioni agli atlanti citati in questo contributo.
4. Si tratta della *Preliminary Pictorial Map of Callisto* (JC 25M 2RMN), 1:25.000.000, USGS, 1979.
5. *Preliminary Pictorial Map of Europa* (JC 25M 2RMN), 1:25.000.000, USGS, 1979.
6. *Shaded Relief and Surface Markings Map of Io* (JI 15M 1AN), 1:15.000.000, USGS, 1987.
7. *Pictorial Map of Enceladus*, 1:2.000.000, USGS, 1992.
8. Si veda (Sorensen T. C, Spudis P. D. 2005). Il mosaico fotografico di Clementine è pubblicato in (Bussey B., Spudis, P. D. 2004). Una seconda versione dell'atlante è (Sorensen T. C, Spudis P. D. 2012).
9. Le tre carte pubblicate dall'U.S. Geological Survey sono: *Color-Coded Topography and Shaded Relief Map of the Lunar Near Side and Far Side Hemispheres* (L 10M 0/0 180 RTK), 1:10.000.000, USGS, 2002; *Color-Coded Topography and Shaded Relief Map of the Lunar West and East Hemispheres* (L 10M 0/±90 RTK), 1:10.000.000, USGS, 2002; *Color-Coded Topography and Shaded Relief Map of the Lunar North and South Hemispheres* (L10M ±90/0 RTK), 1:10.000.000, USGS, 2002.
10. Il concetto di 'rete di razionalità' – *net of rationality* – di un'immagine è ripreso da William Ivins, che lo impiega in riferimento al tratto e al tratteggio caratteristico delle più comuni tecniche di stampa: Ivins W. M. (1953). *Prints and Visual Communication*. Cambridge Mass.: Harvard University Press.
11. *Remarks by the President on Space Exploration in the 21st Century*, discorso pronunciato dal presidente Barack Obama il 15 aprile 2010 al John F. Kennedy Space Center, Merritt Island, Florida. Riportato integralmente negli archivi presidenziali pubblicati in rete all'indirizzo <<https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/remarks-president-space-exploration-21st-century>> (consultato il 5 dicembre 2024).
12. Witkin R. (17 luglio 1969). Agnew Proposes a Mars Landing. *The New York Times*, pp. 1, 22.
13. Riguardo alle prime tre missioni del programma Chang'E si vedano (Li C. et al. 2010a); (Li C. et al. 2010b); (Li C. et al. 2015); (Liu Y. et al. 2014); (Zuo W., Li C., Zhang Z. 2014).
14. L'atlante topografico è (Compiling Committee 2012).
15. L'atlante fotografico è (Compiling Committee 2010).
16. Sugli obiettivi e i risultati dei primi anni della missione di LRO si vedano (Vondrak R. R., Keller J. W., Russell C. T. (eds.). 2010) e (Keller J. W. et al. 2016).
17. La mappa fotografica e quella topografica sono: Trent M. Hare et al., *Scientific Investigations Map (SIM): Imma-*

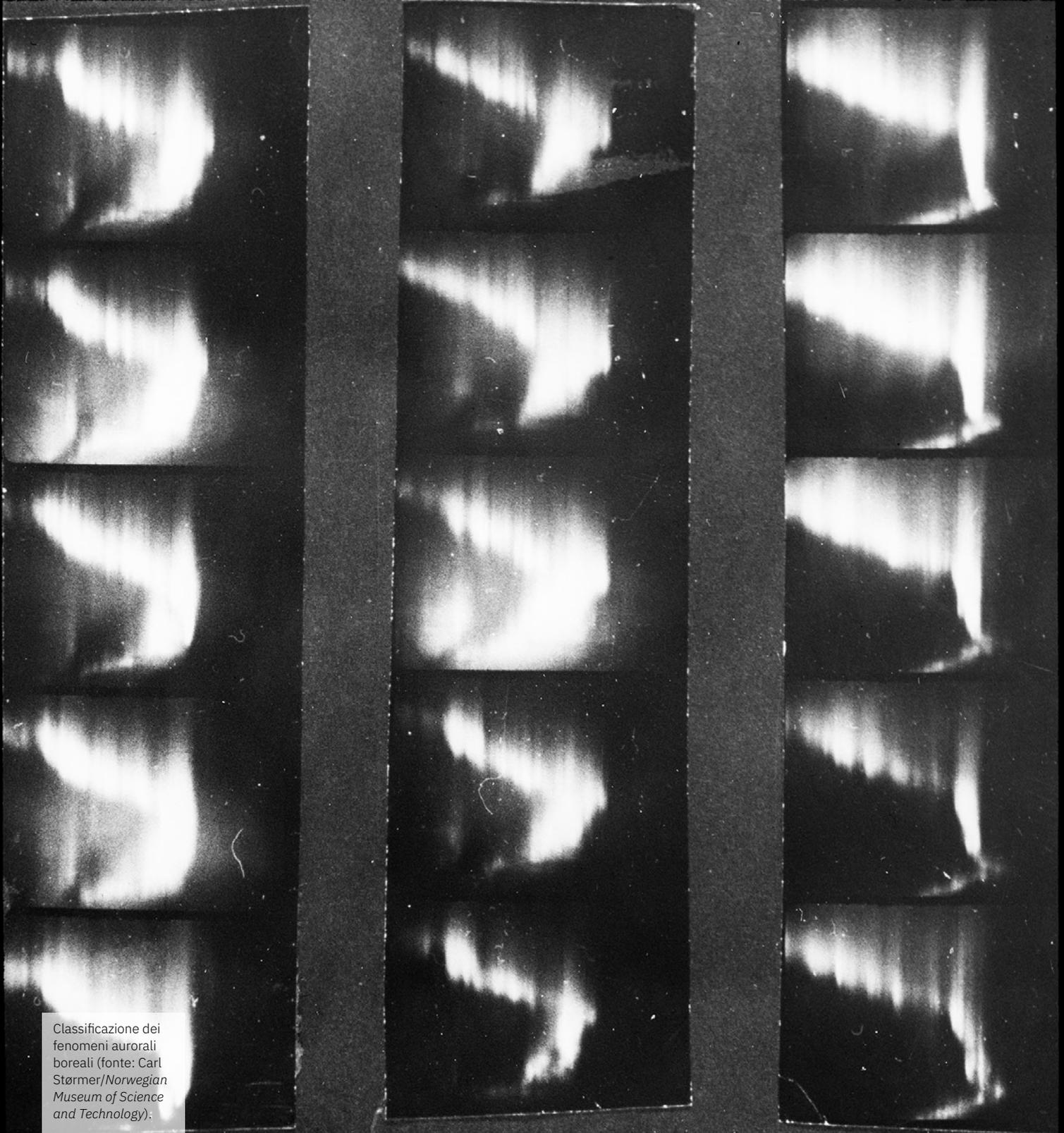
ge Map of the Moon, 1:10.000.000, USGS, 2015; Id., *Scientific Investigations Map (SIM): Topographic Map of the Moon*, 1:10.000.000, USGS, 2015. Sul sito dell'Astrogeology Science Center dell'USGS sono disponibili il DEM globale di 118 metri per pixel del 2014 – <https://astrogeology.usgs.gov/search/map/moon_lro_lola_dem_118m> (consultato il 6 dicembre 2024) – e la versione perfezionata di 59 metri per pixel delle latitudini comprese tra 60° N e 60° S del 2015 – <https://astrogeology.usgs.gov/search/map/moon_lro_lola_selene_kaguya_tc_dem_merge_60n60s_59m> (consultato il 6

dicembre 2024). La produzione fotografica e cartografica ricavata dai dati di LRO è in continuo aggiornamento e accrescimento.

18. La homepage di Lunar QuickMap è <<https://quickmap.lroc.asu.edu>> (consultato il 5 dicembre 2024).
19. Schmitt H. H. (1975). *The Great Voyages of Exploration*. In Cortright E. M. (ed.), *Apollo Expeditions to the Moon*. Washington D. C.: NASA, pp. 266 sgg.
20. Si veda (Cisneros E. et al. 2018).
21. Sui *data-verse* di Ikeda si veda <https://www.ryojiikeda.com/project/x_verse/> (consultato il 6 dicembre 2024).

Bibliografia

- Batson R. M. (1973). *Television Cartography*, documento interno USGS.
- Bussey B., Spudis, P. D. (2004). *The Clementine Atlas of the Moon*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bussey B., Spudis, P. D. (2012). *The Clementine Atlas of the Moon: Revised and Updated Edition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Chin G. et al. (2007). Lunar Reconnaissance Orbiter Overview: The Instrument Suite and Mission. In *Space Science Reviews*, n. 129, pp. 391-419.
- Cisneros E. et al. (2018). *Lunar Reconnaissance Orbiter Camera: Permanently Shadowed Regions Atlas*. Phoenix: NASA-Arizona State University.
- Garbin E. (2021). *Selenografica: L'immagine e il disegno della Luna nascosta*. Macerata: Quodlibet.
- Greeley R., Batson R. M. (eds.). (1990). *Planetary Mapping*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Inge, J. L., Bridges P. M. (1976). Applied Photo Interpretation for Airbrush Cartography. In *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, n. 42/6, pp. 749-760.
- Keller J. W. et al. (2016). The Lunar Reconnaissance Orbiter Mission – Six years of science and exploration at the Moon. In *Icarus*, n. 273, pp. 2-24.
- Li C. et al. (2010a). The global image of the Moon obtained by the Chang'E-1: Data processing and lunar cartography. In *Science China Earth Science*, n. 53/8, pp. 1091-1102.
- Li C. et al. (2010b). Laser altimetry data of Chang'E-1 and the global lunar DEM model. In *Science China Earth Science*, n. 53/11, pp. 1582-1593.
- Li C. et al. (2015). The Chang'E 3 Mission Overview. In *Space Science Reviews*, n. 190, pp. 85-101.
- Compiling Committee. (2010). *The Chang'E-1 Image Atlas of the Moon*. Beijing: SinoMaps Press.
- Compiling Committee. (2012). *The Chang'E-1 Topographic Atlas of the Moon*. Beijing: SinoMaps Press.
- Liu Y. et al. (2014). High Precision Topographic Mapping at Chang'E-3 Landing Site. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, n. XL-4. Hannover: ISPRS, pp. 157-161.
- Malpas J. E. (1999). *Place and Experience: A Philosophical Topography*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nozette S. et al. (1994). The Clementine Mission to the Moon: Scientific Overview. In *Science*, n. 266, pp. 1835-1839.
- Sorensen T. C, Spudis P. D. (2005). The Clementine mission – A 10-year perspective. In *Journal of Earth System Science*, n. 114/6, pp. 645-668.
- Spudis P.D. (1996). *The Once and Future Moon*. Washington DC-London: Smithsonian Institution Press.
- Vondrak R. R., Keller J. W., Russell C. T. (eds.). (2010). *Lunar Reconnaissance Orbiter Mission*. New York: Springer.
- Whitaker E. A. (2003). *Mapping and naming the Moon: A history of lunar cartography and nomenclature*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Zuo W., Li C., Zhang Z. (2014). Scientific data and their release of Chang'E-1 and Chang'E-2. In *Chinese Journal of Geochemistry*, n. 33/1, pp. 24-44.



Classificazione dei fenomeni aurorali boreali (fonte: Carl Størmer/*Norwegian Museum of Science and Technology*):

Luci del Nord. Ricerca, osservazione e traduzione scultorea di un pensiero scientifico

Abstract

Il saggio approfondisce la tematica delle aurore polari, soffermandosi sulla metodologia di ricerca del matematico Carl Störmer (1874-1957). Spaziando dal calcolo sperimentale alla sua personale pratica fotografica, lo studioso riflette nell'ambito della conoscenza scientifica e dell'interpretazione geometrica realizzando una serie di accurati modelli fisici atti a rappresentare e comunicare l'affascinante movimento dei bagliori di luce. Al pari del lavoro dell'artista John Pickering (1934-2016), in entrambi i casi emerge l'ossessione di interpretare e comunicare attraverso il calcolo, il disegno e il modello un pensiero scientifico.

The essay examines the topic of polar auroras, with a particular focus on the research methodology employed by the mathematician Carl Størmer (1874-1957). The scholar reflects on the field of scientific knowledge and geometric interpretation, using a range of techniques, from experimental calculation to his personal photographic practice. He produces a series of accurate physical models to represent and communicate the fascinating movement of the flashes of light. In both cases, the passion to interpret and communicate scientific thought through calculation, drawing and modelling is evident, as in the work of artist John Pickering (1934-2016).

Parole chiave

Aurore boreali
Fotografia
Störmer
Pickering
Modelli fisici

Gabriella Liva
IUAV Università di Venezia
→ gabrliv@iuav.it

"It is my earnest hope that this book may further research on aurora. My work has given me infinite pleasure and satisfaction, but I regard it as no more than a pioneer effort. This fascinating phenomenon, the aurora, guards its secrets well and it may be far in the future before they are completely yielded up to man".

Carl Störmer

Prefazione in *The Polar Aurora* p.8, 1955.

Introduzione

Secondo la mitologia greca, *Eos* era la dea che annuncia la nascita del giorno; eterea e bellissima su un carro trainato da cavalli, prese il nome di Aurora nella civiltà romana¹.

Secoli dopo furono Pierre Gassendi (1592-1656) e Galileo Galilei (1564-1642)² a unire le due culture antiche nel binomio di "Aurora Boreale" derivato da "Aurora", dea romana dell'alba, e "Borea", il vento greco di origine nordica.

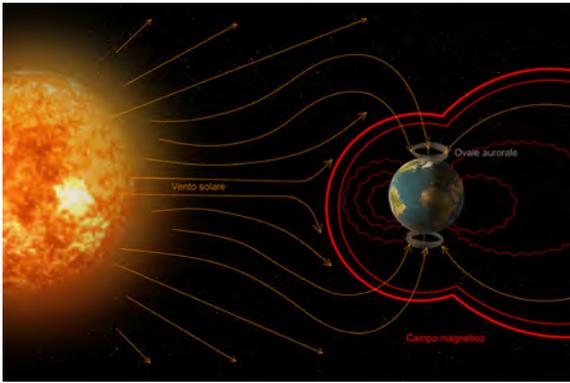
Fin dall'antichità le aurore polari, accese manifestazioni di luce nei cieli polari, sono state oggetto di grande meraviglia e curiosità scientifica. Proprio l'incapacità di spiegare razionalmente l'apparizione del fenomeno nel cielo notturno e, in alcune zone remote, diurno innescò una serie di leggende, diffuse soprattutto nelle aree settentrionali del globo: si parlava di scie colorate associate a uno stretto passaggio illuminato da fiaccole attraverso il quale le anime dei defunti potevano giungere al Paradiso o di forme in movimento interpretate come simboli di nascita reale o di morte connessa ai fantasmi delle persone estinte. Nonostante i tempi non fossero maturi per trovare una plausibile giustificazione scientifica connessa al Sole e al campo magnetico (Whitehouse 2007), importanti osservazioni furono condotte dall'astronomo danese Tycho Brahe (1546-1601) che intrecciò notazioni e dimostrazioni intorno ai moti celesti con gli studi di dinamica terrestre, grazie alla costruzione e all'uso di imponenti strumenti di misurazione e verifica (Dreyer 2016, Ferguson 2001). La piccola isola svedese di Hven nello stretto dell'Øresund, tra Scania e Sjælland divenne il luogo ideale per una serie di architetture orientate alla quantificazione degli accadimenti celesti. Il Castello di Uraniborg (Liva 2023, pp. 438-439) e poi nel 1586 la costruzione attigua dell'osservatorio di Stjerneborg, letteralmente il Castello delle stelle, permisero tra il 1582 e il 1598, in prossimità del 55° parallelo, l'osservazione di una serie di fenomeni aurorali. Negli stessi anni, il medico inglese William Gilbert (1544-1603) condusse la prima indagine approfondita sul campo magnetico terrestre. I suoi risultati furono riassunti nel trattato *De Magnete* (1600) in cui affermò che la Terra - negli esperimenti utilizzava una sfera di magnetite chiamata *terrella*, dal latino "piccola Terra" - era pari a un enorme magnete e la sua forza era massima in corrispondenza dei poli magnetici, sfasati dai poli

geografici di pochi gradi di latitudine. Nei decenni successivi, le "sensate esperienze" e le "necessarie dimostrazioni"³ per la conoscenza e la misura dei cieli portarono diversi studiosi a indagare con maggiore intensità il magnetismo e l'energia elettrica connessi al fenomeno delle aurore boreali. Accanto all'approfondimento delle proprietà di alcuni materiali come l'ambra, lo zolfo e altre pietre dure responsabili dei fenomeni di combustione, si affermò l'esistenza di un "fluido elettrico" (*effluvium*), legato all'attrazione e repulsione di particelle nell'aria e nel vuoto parziale, ovvero in una porzione di spazio riprodotta artificialmente in cui la pressione fosse inferiore a quella atmosferica. La pubblicazione del libro *Storia dell'elettricità* di J. Priestley nel 1767 testimoniava la curiosità per i fenomeni elettrici oscillanti tra conoscenza scientifica e divertimento (Heilbron 1979, Canby 1965). Proprio durante il Settecento, e con maggiore diffusione nell'Ottocento, si intensificarono gli esperimenti in laboratorio sugli effetti delle scariche elettriche prodotte in un'atmosfera rarefatta e vennero realizzati appositi contenitori tubolari in vetro, in cui semplici elettrodi erano in grado di generare effetti luminosi molto simili ai bagliori aurorali. Qualche esemplare è giunto a noi e viene conservato con il nome di "tubo per aurore elettriche"⁴.

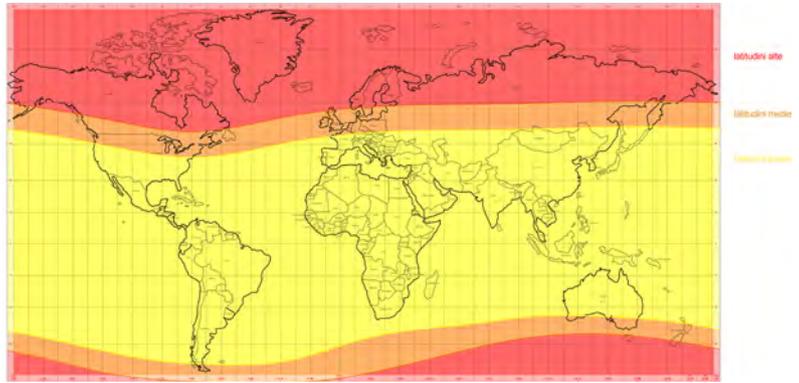
Spiegazione scientifica delle emissioni aurorali

Le luci del Nord, archi o lampi luminosi, trasformatesi da un'alternativa alla superstizione in un esempio di accettazione del metodo scientifico, oggi sono stati ampiamente spiegati (Sandholt, Carlson, Egeland 2002; Kragh 2009): le emissioni aurorali ottiche, nell'atmosfera superiore delle regioni polari del nostro pianeta, sono la prova della caduta di particelle solari dal cosmo sulla Terra. Il campo gravitazionale del Sole non riesce a mantenere l'atmosfera legata a sé e si espande verso l'universo provocando il "vento solare", composto principalmente da protoni ed elettroni. Le sue particelle sono di bassa densità e, una volta raggiunto il campo magnetico terrestre⁵, sono responsabili dei raggi e drappaggi fosforescenti che si estendono soprattutto lungo il 70° parallelo [fig. 1].

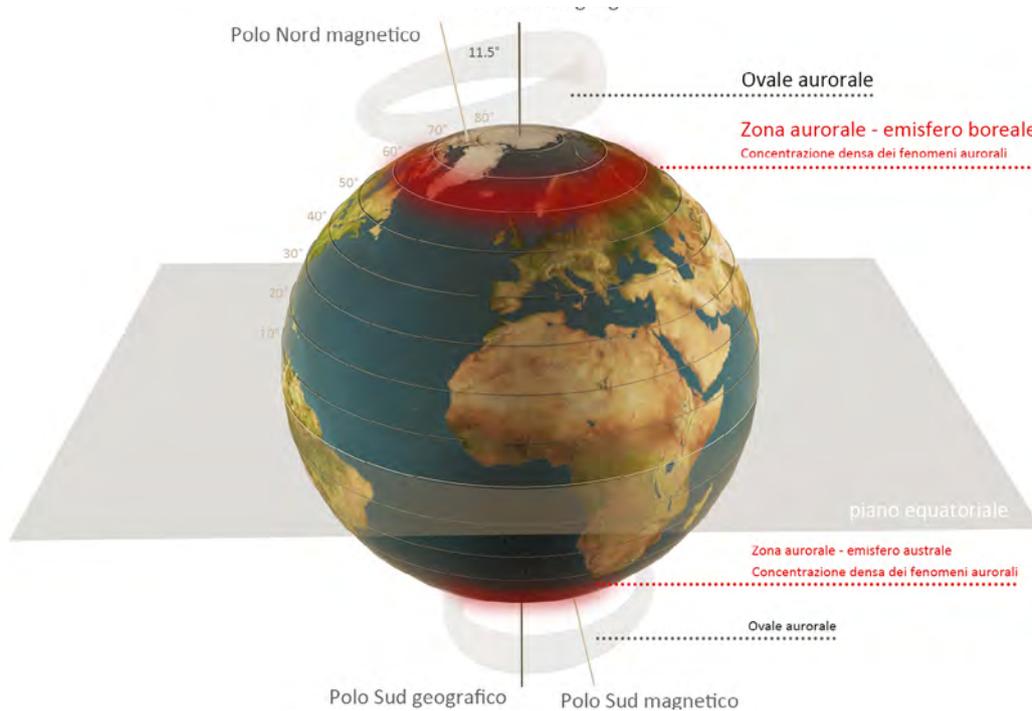
La loro distribuzione statistica è connessa all'orientamento del campo geomagnetico rispetto al piano eclittico e la loro natura ricade nelle questioni di ottica e di elettromagnetismo, giustificando i colori secondo tre variabili: la presenza di gas che compongono l'atmosfera, l'altezza alla quale questi fenomeni si sviluppano e l'energia delle particelle del vento solare⁶. Intorno ai poli magnetici di entrambi gli emisferi, boreale e australe, si crea una zona ovale continua, detta "ovale aurorale", la cui proiezione sulla Terra determina la "zona aurorale" dove i fenomeni possono essere osservati più frequentemente e con un'intensità maggiore [fig. 2].



1.



3.



2.

L'estensione dell'ovale aurorale varia in base all'intensità dell'attività solare: se quest'ultima aumenta, l'ovale si allarga verso l'equatore rendendo visibile il fenomeno a latitudini inferiori [fig 3].

A livello sub-molecolare, nel momento in cui una particella del vento solare urta l'elettrone di un atomo di ossigeno o azoto, l'elettrone stesso si carica di energia e salta al livello energetico superiore. In questa condizione l'elettrone essendo instabile tende a ripristinare la situazione iniziale liberando l'energia acquisita sotto forma di radiazioni luminose. La lunghezza d'onda di queste scariche elettromagnetiche è spesso pari a 550 nm, grandezza che l'occhio umano percepisce come una luce verde, il colore prevalente delle aurore boreali. Naturalmente la colorazione dipende dagli atomi coinvolti nella collisione: se l'atomo di ossigeno viene colpito dagli elettroni a bassa energia emette luce rossa, mentre l'atomo di azoto luce blu. Complici anche le differenze di quote dove avvengono tali fenomeni,

le cromie si fondono insieme dando vita a spettacoli iridescenti con sfumature viola, rosa, gialle e bianche⁷.

Calcolo scientifico, sperimentazione fisica e tecnica fotografica per spiegare e misurare la luce

Fino alla metà del XIX secolo, gli scienziati pensarono in maniera errata che quelle strane e vibranti luci colorate, visibili soprattutto nei mesi invernali, fossero semplicemente i riflessi dei raggi del Sole su giganteschi iceberg galleggianti o lampi in alta quota. Fu l'astronomo inglese Richard Christopher Carrington (1826-1875) che, nel 1859, intuì come l'evento fosse in realtà legato all'attività del Sole. Seguirono diverse spedizioni di successo alle latitudini polari settentrionali, tra cui nota è quella sulla nave *Fram* sul Mar Glaciale Artico, da parte dell'esploratore Fridtjof Nansen (1861-1930). Sia il suo libro, *Fram across the Polar Sea* (1897), che i suoi ipnotici disegni testimoniano importanti manife-

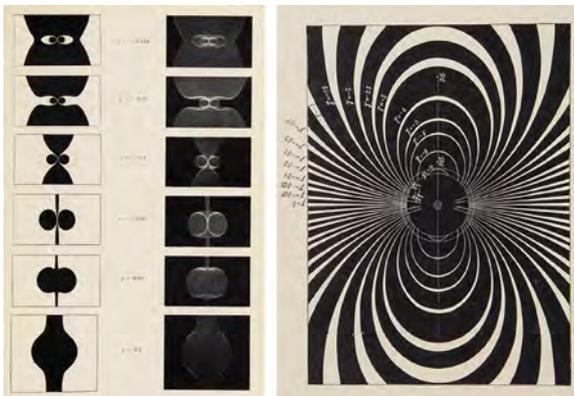
1. Schema esemplificativo dell'interazione Sole-Terra. Software utilizzato: 3DS Max 2025 (elaborazione grafica dell'autore 2024).

2. Schema esemplificativo che evidenzia le zone aurorali. Software utilizzato: 3DS Max 2025 (elaborazione grafica dell'autore 2024).

3. Rappresentazione della concentrazione dei fenomeni aurorali. Colore rosso: latitudine alta; colore arancione: latitudine media; colore giallo: latitudine bassa. Software utilizzato: Autocad 2025 (elaborazione grafica dell'autore 2024).



4.



5.

stazioni dei fenomeni aurorali nelle zone artiche. Le successive spedizioni del professor Kristian Birkeland (1867-1917) insieme a Nansen certamente influenzarono la decisione di Fredrik Carl Störmer (1874-1957), matematico norvegese con la passione per l'arte della fotografia, di intraprendere ricerche in quel campo. Grazie alla posizione strategica della Norvegia rispetto all'ovale aurorale, Birkeland istituì nelle regioni norvegesi una rete di osservatori che raccoglievano dati sul campo magnetico [fig. 4]. Nel 1906 dimostrò, presso l'Università di Oslo, come l'aurora fosse causata dal Sole, ovvero che i raggi catodici (al tempo definiti così, oggi chiamati elettroni) una volta espulsi dal Sole, si dirigevano verso i poli magnetici terrestri (Chapman 1958). In laboratorio, il professor Birkeland utilizzò la "terrella" di Gilbert, ovvero prese una sfera e ne ricoprì la superficie con una sostanza fluorescente ai raggi catodici; vi collocò all'interno un'elettrocalamita in modo tale che l'oggetto, percorso dalla corrente elettrica, diventasse magnetico come era successo 300 anni prima. Infine, sospese il globo in uno spazio cosmico artificiale, ovvero un recipiente di vetro a vuoto, e vi diresse un fascio di raggi catodici. Appena la calamita entrò in attività, i raggi catodici resero fosforescente l'emisfero rivolto al catodo, per poi evitare la superficie della sfera, eccetto in alcune zone corrispondenti alle regioni polari. Sul Polo

Sud e sul Polo Nord i raggi formano due coni di luce a struttura raggiata osservabile distintamente fino a 5 cm dalla sfera⁸ [Birkeland 1908]. Proprio i continui esperimenti di flessione dei raggi catodici nel campo nella sfera uniformemente magnetizzata catturarono l'attenzione di Störmer: "...ciò che egli [Birkeland] allora mi disse si impresso sul mio spirito profondamente e segnò l'indirizzo che avrebbero assunto i miei studi futuri" (Contu 1932, p. 258). A Störmer sorse l'idea di calcolare le traiettorie degli elettroni sotto l'azione di un globo magnetico, di applicare i risultati prima all'esperienza di Birkeland e quindi alle aurore per risalire teoricamente alle linee caratteristiche del fenomeno. Si occupò per molti anni della matematizzazione delle aurore boreali e formulò i primi integrali delle equazioni di moto di particelle che si spostano a una velocità costante⁹.

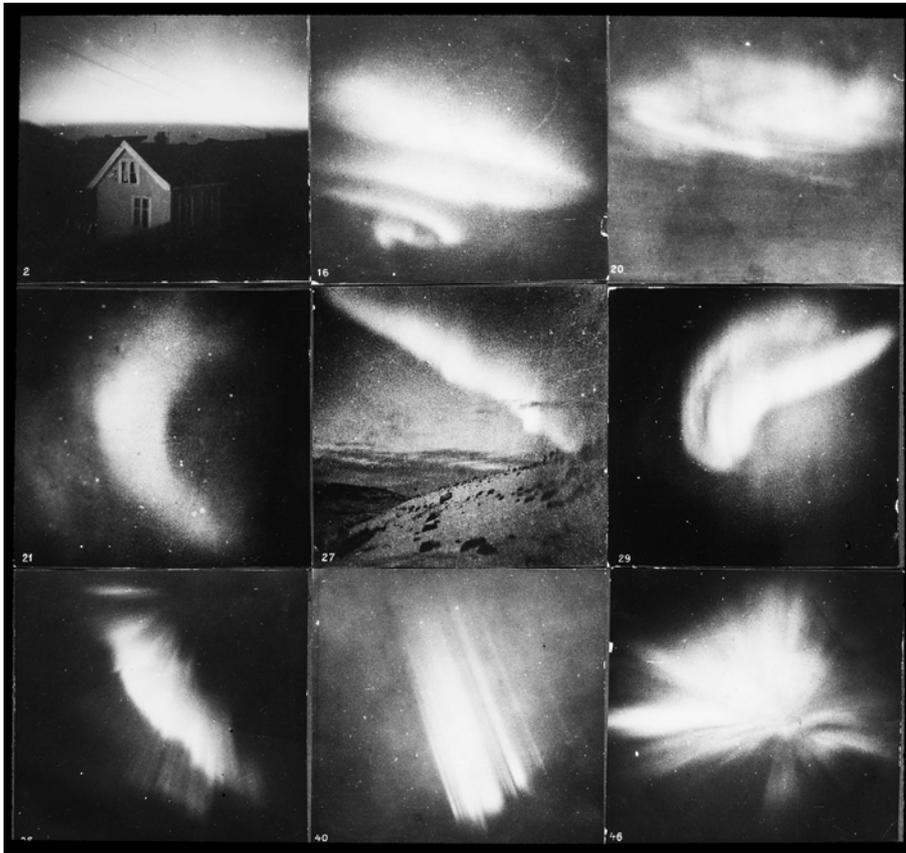
Ulteriore passo in avanti nella conoscenza del comportamento degli elettroni fu legato alla dimostrazione che le particelle cariche, in movimento nei campi magnetici terrestri, sono confinate in volumi specifici intorno alla Terra da cui non possono uscire. Nel 1903 Störmer si dedicò a quelle che chiamò "regioni proibite", dimostrate anche sperimentalmente nelle simulazioni della "terrella" di Birkeland. All'interno di una "regione proibita" le particelle di carica e girano a spirale intorno al campo magnetico, rimbalzando avanti e indietro lungo di esso. Störmer aveva ipotizzato che ampie parti delle regioni proibite fossero completamente vuote di particelle cariche. Attraverso una serie di schemi di sintesi il matematico rappresentò, attraverso sezioni trasversali, le aree in cui le particelle erano presenti (regioni bianche) e quelle in cui erano assenti (regioni nere)¹⁰ (Störmer 1955, p. 425) [fig. 5].

Le carte di lavoro, i libri e le fotografie di Störmer affrontavano il concetto di "diventare visibile" a qualcosa di apparentemente sfuggente e inconsistente. Proprio la mancanza di una spiegazione logica provocò l'ossessione della ricerca verso formule complesse per tracciare i movimenti delle orbite della luce, dando vita a un atlante fotografico di forme aurorali, diagrammi di altezza-frequenza delle scie e molte carte sinottiche che proiettavano sul piano numerosi archi aurorali. Registrò aurore con strutture a raggi, aurore con archi dai bordi inferiori netti, archi e fasce con estese dilatazioni, serie di raggi puntuali disposti uno accanto all'altro, realizzando tra il 1909 e il 1957 una mappatura delle emissioni luminose (Störmer 1910) [fig. 6].

Grazie a uno spettroscopio tascabile il matematico esaminava il cielo notturno, cercando prove spettrali della presenza di aurore e riusciva a osservare le principali e ripetute caratteristiche cromatiche delle aurore¹¹. Naturalmente pubblicò anche descrizioni di tipi speciali di aurore, notevoli per la loro forma

4. Johannes Birkeland e Carl Störmer, osservazioni delle aurore boreali, Bossekop, febbraio 1910 (fotografia A. B. Wilse/Norsk Folkemuseum).

5. C. Störmer, *The Polar Aurora*, 1955. Schemi di sintesi delle "regioni proibite".



6.

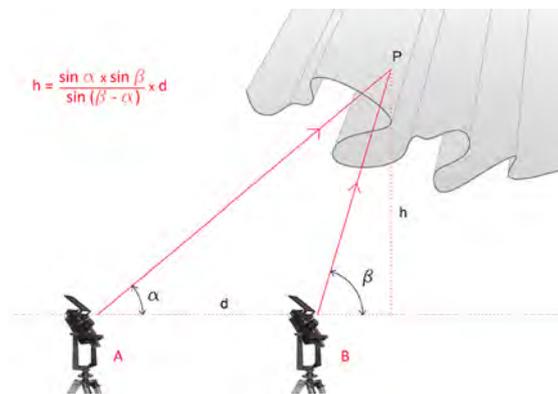
6. Classificazione dei fenomeni aurorali boreali (fonte: Carl Størmer/Norwegian Museum of Science and Technology).

7. Schema di base del metodo fotografico. Seguono dei calcoli algebrici che tengono conto della sfericità della Terra. Software utilizzato: Autocad 2025 (elaborazione grafica dell'autore 2024).

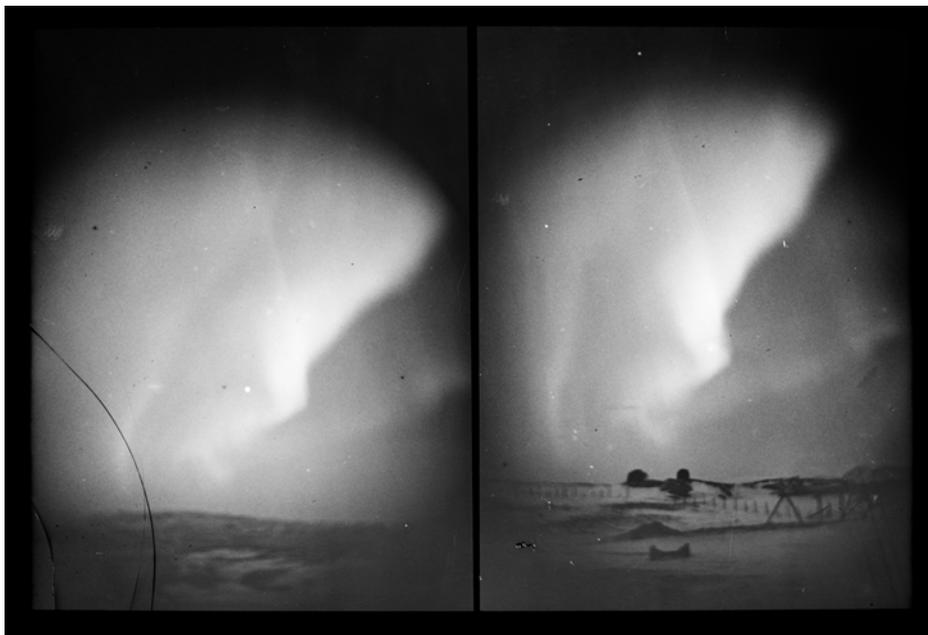
insolita, movimento, pulsazione o altezza scoprendo ulteriori proprietà per quelle illuminate dal Sole, ovvero in corrispondenza di altezze maggiori dove erano ancora presenti i raggi solari.

Per ottenere inoltre più dati sull'aurora e per confrontare la teoria con la pratica, in quanto né i calcoli matematici né le simulazioni di laboratorio erano sufficienti a svelare l'apparizione dell'emissione luminosa, fu, quindi, sviluppato e applicato con successo un metodo fotografico adottato per determinare l'altezza e la posizione dell'aurora [fig. 7]. I principali risultati furono ottenuti dall'analisi di un vasto numero di fotografie parallattiche a partire da sfondi stellari conosciuti [figg. 8,9]. Størmer sollecitò Ole Andres Krogness (1886-1934), uno degli assistenti di Birkeland, a costruire un'efficace telecamera aurorale, sperimentando tutti i tipi disponibili di lenti e lastre di pellicola. Il matematico norvegese si dedicò a osservazioni dirette del fenomeno, intese a stabilire la forma geometrica e quindi la forma reale, l'altezza e la posizione dell'aurora nello spazio. Il metodo fotografico prometteva risultati ottimali, nonostante i bagliori notturni fossero spesso di debole intensità e animati da un moto rapidissimo. Le prove sistematiche iniziarono nel 1909 e venne utilizzato un dispositivo fotografico che si serviva di lenti della ditta Ernemann di Dresda e lastre ultrasensibili Lumière ad etichetta

violetta, necessarie a imprimere intense aurore con pose di meno d'un secondo. Due stazioni di posa, collegate fra loro telefonicamente e distanti l'una dall'altra di almeno 30 km, inquadravano la stessa porzione di cielo. I due scatti ottenuti non erano identici, anche se a un rapido sguardo contenevano le medesime stelle e la stessa porzione di luce. In realtà, la posizione del fenomeno aurorale rispetto allo sfondo fisso era diversa tra le due lastre. Conosciuta l'ubicazione delle stazioni, noti gli elementi che definivano la durata della posa e la misura della differente posizione dell'aurora nei due fotogram-

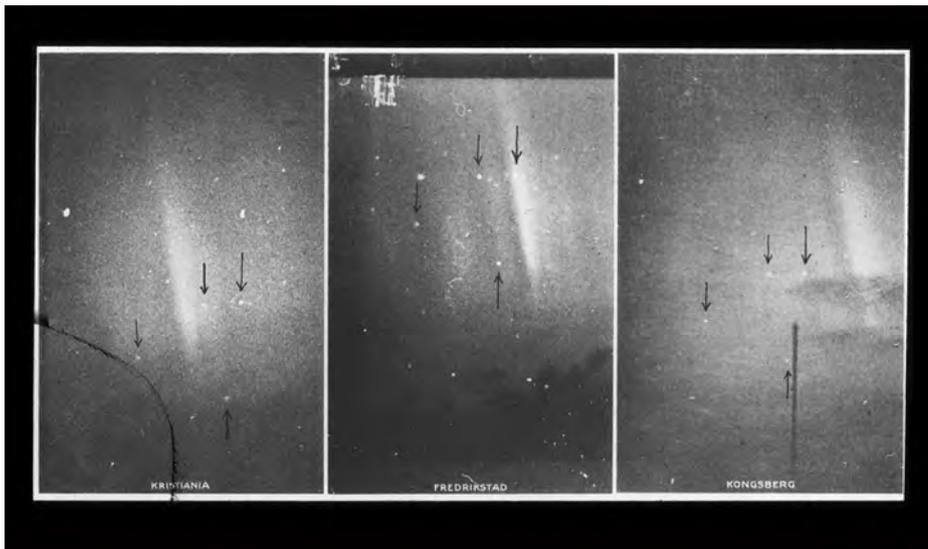


7.



8.

8-9.
Misurazione dei
fenomeni aurorali
boreali su sfondi
stellari fissi (fonte:
Carl Størmer/
Norwegian Museum
of Science and
Technology).



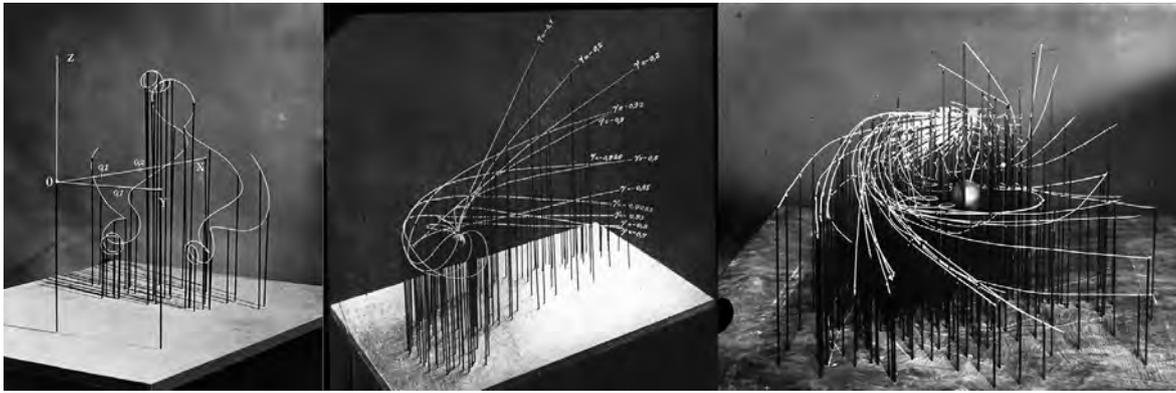
9.

mi era possibile procedere con il calcolo dell'altezza del fenomeno e della sua conformazione spaziale.

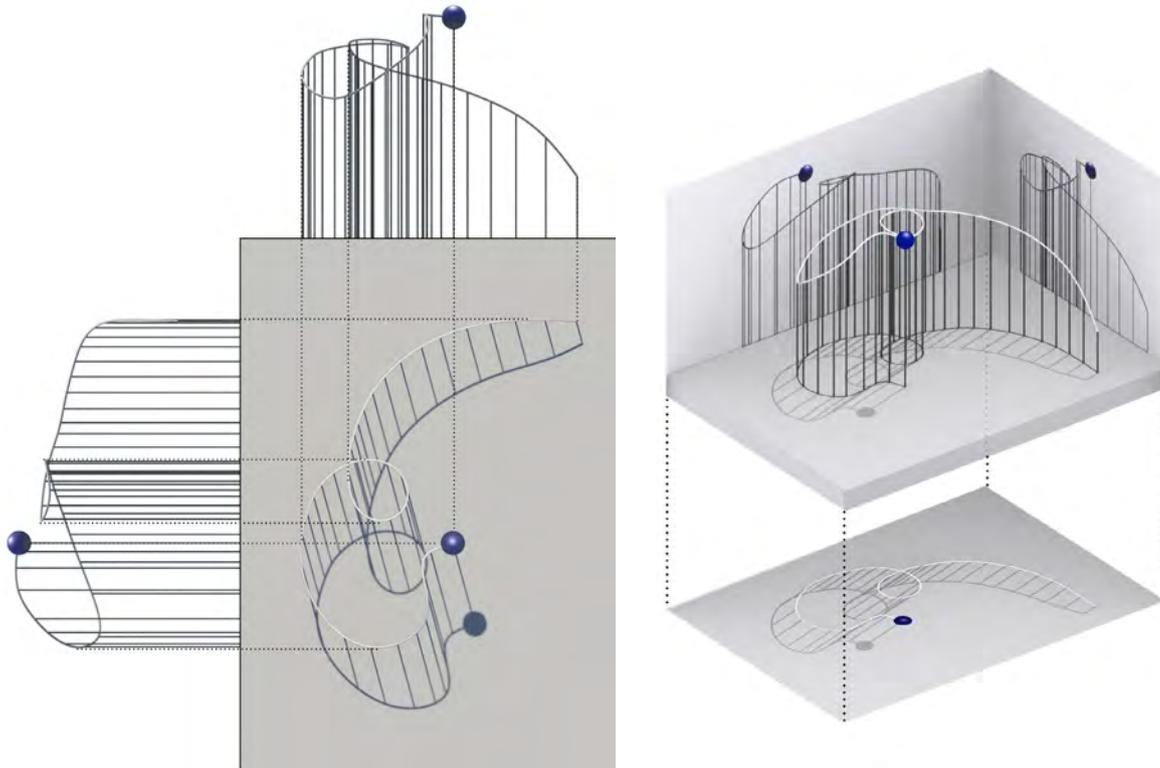
Forme scultoree della fisica e della matematica

I calcoli matematici e le ipotesi di interazione tra il Sole e il nostro pianeta vennero tradotti da Størmer in una forma scultorea tridimensionale molto affascinante, in grado di trasformare intere sequenze di valori numerici in concreti tracciati materici che sembravano danzare nello spazio¹² [fig. 10]. In molte pagine del suo libro, *The Polar Aurora* (1955), il professore illustrò i suoi risultati algebrici con efficaci modelli fisici di fili metallici per spiegare le emissioni cosmiche e mediante diagrammi o schemi di sintesi per registrare e catalogare le forme e le frequenze delle luci ad alta quota (Størmer 1955,

pp. 427-442). Ragionando sulle traiettorie delle particelle responsabili dei fenomeni aurorali, alcuni modelli partivano dalla rappresentazione del movimento di un solo elettrone emesso dal Sole nella direzione rivolta alla sfera costituente la Terra: “dal 1904 al 1907 si calcolano numericamente circa 120 traiettorie diverse, lavoro enorme che richiede quasi 5000 ore di computi e parecchi chilogrammi di carta” (Contu 1932, p. 260). Di un elettrone, pari in laboratorio a una piccola corrente elettrica che veniva deviata da campi magnetici, Størmer ne rappresentò diverse traiettorie arrivando alla conclusione che esse non seguissero un moto rettilineo ma elicoidale. “Di forme variatissime, a misura che l'elettrone si avvicina alla Terra rassomigliano sempre più alle spirali elicoidali che posson formarsi



10. Modelli fisici delle traiettorie particellari solari con filamenti metallici. Sulla destra la sfera terrestre (fonte: Carl Störmer/ Norwegian Museum of Science and Technology).



11. Vista assonometrica e proiezioni ortogonali della traiettoria di un elettrone a partire dai modelli fisici realizzati da Störmer. Software utilizzato: 3DS Max 2025 (elaborazione grafica dell'autore 2025).

11.

disegnando una retta sopra una sottile pellicola trasparente di gelatina e arrotondando questa a mo' d'un cono di rivoluzione" (Contu 1932, p. 261). La metafora utilizzata faceva comprendere come la forza del campo magnetico influenzasse la propagazione della carica costringendola a un moto roto traslatorio attorno a una superficie conica avvicinandosi al vertice e poi allontanandosi. Dopo numerosi tentativi, Störmer decise di invertire il metodo di studio, partendo non dal Sole per controllare le traiettorie, ma dalla Terra, per poi risalire al Sole: "...un calcolo, cioè, a ritroso, che mi era pur consentito dai metodi matematici. Progredendo nel calcolo fino alla distanza a cui si trova il Sole, giungo trovare e la situazione del Sole corrispondente alla traiettoria stessa e la direzione

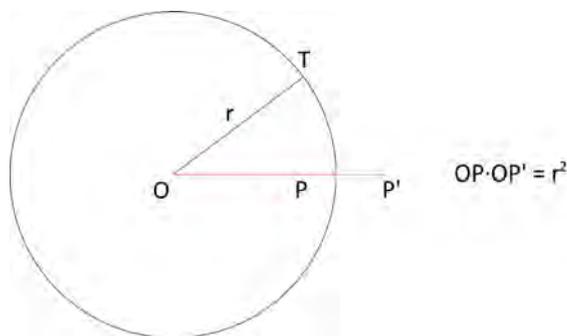
di emissione" (Contu 1932, p. 261). Dalla vastità dello spazio siderale alla dimensione umana, i modelli fisici erano costituiti da filamenti di rame di alcuni millimetri, avvolti in tessuto di seta bianca e supportati in quota da filari di stecche recuperate da comuni ombrelli¹³. Le traiettorie chiare presentavano percorsi a curvatura variabile e la loro rappresentazione fisica non era riconducibile ad alcuna linea retta. Partendo da un solo elettrone, ipotizzato come sfera visibile, era possibile tener conto dei suoi spostamenti flessibili nello spazio in un sistema di riferimento x, y, z . Suddividendo la traiettoria in alcune posizioni note dello spazio matematico, prima veniva disegnata la proiezione delle traiettorie sul piano d'appoggio e successivamente si inserivano le stecche metalliche che rappresentavano

le singole quote [fig. 11]. Alla costruzione di una traiettoria, seguivano modelli con più traiettorie che si infittivano e si incurvavano, in modo repentino, in corrispondenza della Terra, sfera a raggio maggiore. Venivano impiegate molte ore per il calcolo numerico dei punti di stazione e per realizzare un'orbita completa. Tali configurazioni isolavano il fenomeno e simulavano il comportamento presente nello spazio avendo lo scopo di rendere maggior comprensibili le sperimentazioni di Birkeland¹⁴.

La trasposizione scultorea dei fenomeni naturali e del loro evolversi attraverso il tempo, dunque, testimonia il tentativo di rendere visibile e controllabile l'immateriale contatto tra Cielo e Terra, tra Sole e Terra, tra macrocosmo e microcosmo ascrivendo i suoi modelli in una serie di configurazioni che, esprimono il desiderio umano di catturare la luce cosmica e di fornire forme visibili e tangibili a un pensiero scientifico che va ben oltre alla funzione utilitaristica. Tale approccio di ricerca unisce la figura di Carl Störmer a John Pickering (1934 - 2016), artista inglese, che utilizzava il rigore e l'ordine matematico per tradurre elenchi di numeri in sculture dalle intriganti morfologie¹⁵.

Sfidando il limite tra la geometria euclidea e non-euclidea, Pickering cominciò a lavorare direttamente con i principi base dell'algebra, con le sequenze numeriche e più precisamente con le numerose variabili di un'equazione in grado di descrivere una trasformazione bidimensionale detta inversione¹⁶ (Liaropoulos-Legendre 2006). Nella figura 12 il punto P, collocato all'interno del cerchio (cerchio di inversione) è corrispondente al punto P' (ove P' è punto inverso di P) [fig. 12]. Se P non coincide con P', P e P' sono allineati con il centro O (centro di inversione), le distanze di P e P' dal centro O sono in relazione tra di loro in modo tale che il prodotto delle distanze dei due punti dal centro sia uguale al quadrato del raggio: $OP \cdot OP' = r^2$, dove r (raggio di inversione) è il raggio del cerchio di inversione. Dato dunque il punto P e quindi la lunghezza OP, è possibile risalire alla lunghezza OP' con la semplice equazione $OP' = r^2 / OP$.

Come Störmer, il risultato di intere pagine di analisi e numeri erano modelli, calcolati e costruiti manualmente, che richiedevano l'uso di numerosi profili di carta ritagliati e incollati insieme, in moltissime ore di lavoro. Ogni elemento, dallo spessore variabile, era inciso o segnato da tutta una serie di linee di riferimento che sintetizzano il lavoro di calcolo e analisi algebrica. I modelli infine poggiavano o erano collegati a un piano che palesava il processo di inversione riconducibile a un disegno bidimensionale di punti, rette e piani che poi si sviluppano e si posizionano nello spazio, verificando la stretta correlazione tra oggetto reale e la sua immagine proiettata [fig. 13]. Il sofisticato intreccio



12.

tra le forme ci porta a interpretare e capire, passo dopo passo, lo sviluppo delle geometrie e ad allontanandoci dai principi euclidei, per esplorare nuove entità spaziali legate alle trasformazioni topologiche (Liva 2008).

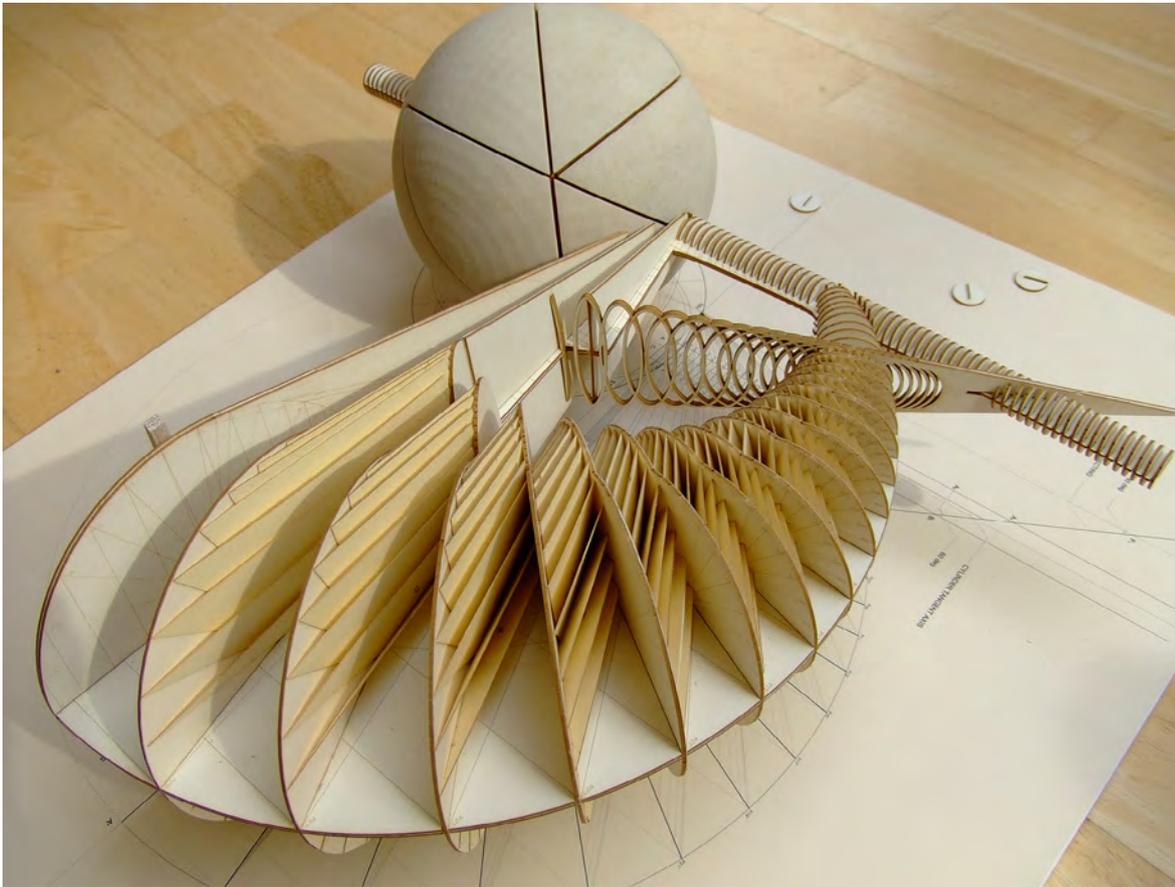
Rappresentazioni digitali

La ricerca, *in itinere*, parte proprio dal materiale archivistico e documentario di Störmer conservato presso il *The Norwegian Museum of Science and Technology* di Oslo e da una serie di pubblicazioni condivise online. Le foto, le lettere, i resoconti riguardanti le particelle cariche nella magnetosfera, gli strumenti fotografici e i testi hanno permesso di ricostruire, passo dopo passo, i metodi da lui adottati per studiare, controllare e giustificare le straordinarie apparizioni di bagliori luminosi.

L'analisi, il ridisegno e la realizzazione di modelli digitali delle orbite calcolate e del posizionamento celeste dei fenomeni aurorali hanno proprio l'obiettivo di rappresentare e rendere maggiormente comprensibile un accadimento fisico-astronomico riconducibile a una precisa logica scientifica. Esattamente come Störmer, la ricerca unisce la dimensione microscopica dei raggi catodici a quella macroscopica degli eventi extraterrestri. La prima fase riguarda la visualizzazione delle traiettorie particellari: infatti, supportati dal calcolo matematico e dalle sperimentazioni laboratoriali, è possibile risalire al movimento di rototraslazione delle cariche elettriche, simulando in scala ridotta l'avvicinamento e l'allontanamento dalla Terra. La successiva traduzione digitale dei numerosi plastici consentirebbe di ottenere una visione dinamica grazie ad animazioni che semplificano la complessità spaziale e scompongono il fenomeno in elementi discreti. La rappresentazione delle equazioni di moto verrebbe agevolata dalla modellazione algoritmica che permette di variare in tempo reale i valori numerici indicati dallo studioso norvegese.

Una seconda fase prevede una serie di simulazioni sulla sfera celeste, a partire dagli schemi astronomici riportati da Störmer nel suo libro *The Polar*

12.
Principio di inversione.
(elaborazione grafica dell'autore 2024).



13.
John Pickering.
Model 1: Inverting a cylinder, the centre of inversion not lying on the cylinder, also connecting ellipses by projection.
John Pickering collaborò con George Legendre per inserire la sua ricerca in un sistema CAD volto a produrre questa versione tagliata al laser e stampata in 3D del modello originale fatto a mano (John Pickering Foundation).

13.

Aurora. Il metodo parallattico, sostenuto da formule algebriche, individua delle porzioni celesti ben definite su cui ancorare il posizionamento dei fenomeni luminosi. La metodologia applicata agli scatti fotografici, che prevedevano la sovrapposizione delle doppie proiezioni su un tavolo luminoso in modo che le stelle dello sfondo coincidano, può essere riprodotta con maggior accuratezza in ambiente digitale. Allo stesso modo la distanza angolare tra due stelle che poteva essere ottenuta da cataloghi stellari o calcolata con formule matematiche può essere verificata direttamente su modelli tridimensionali orientati e georiferiti rispetto alla geografia terrestre. Le costruzioni trigonometriche, infatti, devono essere applicate non a una superficie planare ma sferica ed è interessante ricostruire i tre sistemi di coordinate ipotizzati da Störmer. I metodi grafici da lui suggeriti per trovare rapidamente gli angoli dei “triangoli” sulle superfici sferiche hanno lo scopo di segnare sulla carta geografica i punti principali per il tracciamento delle scie luminose.

Determinate forme e distanze delle aurore boreali è, infine, possibile realizzare un atlante digitale che raccolga, classifichi e implementi la schedatura realizzata da Störmer per una maggiore divulgazione e valorizzazione delle aurore boreali.

Conclusioni

Alla luce di queste riflessioni, si comprende come esista un interesse nell’ambito della conoscenza matematico-scientifica e dell’interpretazione geometrico-artistica. Approfondendo la metodologia di ricerca di Störmer, in parte affine a quella di Pickering, emerge come la passione verso il calcolo diventi un’ossessione nel comprendere la sequenza numerica e nel trovare una logica rappresentativa che riesca a tradurre le equazioni algebriche in immagini e in modelli in grado di visualizzare la complessità di un fenomeno. I dati che hanno reso comprensibile l’aurora boreale, l’uso della fotografia per confrontare immagini che fossero abbastanza accurate da poterle usare come base per lo studio del posizionamento della luce nell’atmosfera, l’applicazione di una formula matematica per generare spazi geometrici immaginari dimostrano lo sforzo nell’interpretare e nel comunicare un pensiero scientifico anche attraverso l’arte o gli strumenti della rappresentazione. I disegni, gli schemi, i modelli diventano delle concrete tracce di sintesi che appartengono a una ricerca artistica volta a creare immagini efficaci alla valorizzazione di concetti matematici difficilmente comprensibili. Le colonne di numeri, apparentemente fredde e ripetitive, lasciano il posto a dinamici movimenti di punti,

linee rette e curve, superfici che si elevano dal piano, conquistando lo spazio, e si traducono in una rappresentazione fisica in cui l'abilità e la pazienza manuale dei loro artefici diventano un mezzo per comunicare concetti astratti o non visibili. In particolare, l'approccio esplorativo e multidisciplinare di Störmer che analizza, documenta e fa propri i molteplici saperi - afferenti alla matematica, alla fisica e all'astronomia - rende visibile e tangibile il movimento della luce e, ancor prima, l'origine dell'emissione della luce, rivelandone la sua natura più intima. Attraverso il disegno, la classificazione del dato, il rilievo fotografico, il calcolo scientifico e la costruzione fisica del fenomeno, Störmer ha consegnato alle generazioni future una metodologia di lavoro che ci ha permesso di continuare la ricerca e di svelare i segreti delle aurore boreali, catturando la complessità e la distanza della luce¹⁷. Per concludere, come negli ultimi anni l'impegno

fisico di Pickering si è affiancato al design computazionale avviando diverse collaborazioni artistiche con altri creativi - in particolare lo *Specialist Modelling Group* di Foster and Partners e George L. Legendre, direttore di *IJP Architects* - così il calcolo e la pazienza di Störmer nel trovare le equazioni di moto, possono essere gestite attraverso l'uso del computer in grado, digitalmente, di riprodurre, esplorare e conservare memoria della forma matematica dell'universo e degli straordinari modelli fisici dei raggi catodici.

Crediti e ringraziamenti

Si ringrazia la collaborazione del museo *The Norwegian Museum of Science and Technology* di Oslo, in particolare il direttore Frode Meinich e l'archivista Arne Langleite per il prezioso materiale attinente a Carl Störmer. Si ringrazia anche la collaborazione con la *John Pickering Foundation*.

Note

1. Aurora: dal latino *aurum*, oro o dal sabino *Ausel*, nome di una divinità solare.
2. Il termine è presente ne *Il Saggiatore* (1623) di Galileo Galilei (Brunetti 2005, p. 690).
3. L'applicazione del metodo scientifico, sostenuto da Galileo Galilei ne *Il Saggiatore* fu adottato in tutti i campi della conoscenza.
4. Un tubo per l'aurora elettrica è presente presso il Museo Galileo - Istituto e Museo di Storia della Scienza. <https://catalogo.museogalileo.it/oggetto/TuboAuroraElettrica.html> oppure al Museo del Dipartimento di Matematica e Fisica <https://web.le.infn.it/museo/tubo-per-laurora-elettrica-2/>
5. La magnetosfera, scudo di difesa della Terra da radiazioni ionizzanti e raggi cosmici, dipende dall'orientamento astronomico del campo geomagnetico rispetto al vento solare.
6. Le emissioni aurorali risultano più intense in concomitanza di tempeste magnetiche causate da una forte attività delle macchie solari.
7. Normalmente fino ai 95 km la luce appare blu, sopra i 95 km viola, fino a 160 km verde, superiore ai 240 km rossa.
8. Tali esperimenti erano anche finalizzati a studiare le perturbazioni del magnetismo terrestre, note anche con il nome di "tempeste" o "burrasche magnetiche".
9. Dai primi integrali Störmer trasse preziose e illuminanti inferenze riguardanti le traiettorie della natura e dai calcoli dedusse una varietà di orbite pari almeno a 48.
10. Negli anni '60, dopo la morte di Störmer, lo studio sulle "zone proibite" ha attirato l'attenzione degli studiosi in relazione alla formazione di fasce di radiazione all'interno della magnetosfera terrestre portando alla definizione di quelle che oggi sono note come "fasce di Van Allen".
11. Nel campo di ricerca della spettroscopia aurorale, fu particolarmente attivo il fisico Lars Vegard (1880-1963) che tra il 1910 e il 1950 circa, veniva riconosciuto come la principale autorità mondiale.
12. La modellizzazione della meccanica celeste divenne parte integrante della sezione dedicata a Störmer alla 14esima Biennale di Istanbul "*Saltwater: A Theory of Thought Forms*", grazie al lavoro e alla passione di archivisti fotografici del museo, Arne Langleite e Thale Elisabeth Sørliè (*Istanbul Foundation for Culture and Arts* 2015). La presentazione del progetto dichiarava le seguenti parole, presenti nella prefazione del noto libro di Störmer, *The Polar Aurora* (1955): "Ciò che può risultare quando un matematico puro è anche un appassionato fotografo amatoriale". L'esposizione si sviluppava su ciascuno dei tre piani dell'edificio esibendo fotografie, album fotografici, materiale di ricerca, libri e oggetti provenienti dall'archivio del matematico. Dalla Biennale emerse lo stretto rapporto tra il calcolo matematico e la sua rappresentazione artistica.
13. All'epoca, Störmer acquistò numerose stecche/costole da una fabbrica di ombrelli norvegese a Bergen. Dopo qualche anno, il produttore locale si insospettì e pensò che Störmer stesse sviluppando una propria fabbrica a Oslo. Si rifiutò di fornire altre centine fino a quando non fosse stata spiegata in modo soddisfacente la natura del progetto di Störmer. La questione fu banalmente risolta da una lettera scritta a mano da Störmer in cui prometteva di non costruire una fabbrica di ombrelli ma di servirsi del materiale metallico esclusivamente per le sue ricerche in campo matematico-astronomico.
14. Anche se oggi è difficile stabilire il numero esatto di modelli di orbita Störmer, sicuramente ne sono stati costruiti più di 60. Esistono circa 120 illustrazioni/disegni di disegni che mostrano diverse orbite.
15. Sito personale dell'artista: <https://www.johnpickering-sculptor.com/> (consultato il 7 dicembre 2024)
16. L'inversione rispetto ad un cerchio o trasformazione per raggi vettori reciproci è una costruzione introdotta da Jacob Steiner nell'Ottocento per generare un numero infinito di punti. L'inversione circolare fornisce un interessante esempio di trasformazione geometrica, una

corrispondenza in cui ad ogni punto interno di una circonferenza corrisponde un punto ad essa esterno e viceversa, con l'unica eccezione che il centro stesso del cerchio non si trasforma in un altro punto proprio, bensì in uno infinitamente lontano.

17. Proprio alle ipotesi di Birkeland e ai calcoli matematici di Störmer si devono la conoscenza di alcune caratteristiche delle aurore: le particelle cariche di origine solare costituiscono la fonte principale dell'aurora; l'introdu-

zione di una corrente elettrica anulare spiega la localizzazione geografica delle aurore, l'asse magnetico terrestre spiega la posizione geografica delle zone aurorali; l'allineamento dei raggi aurorali parallelo alle linee di forza geomagnetiche; l'allineamento delle bande aurorali perpendicolare alle linee di forza geomagnetiche. I sistematici esperimenti in laboratorio furono supportati da una serie di dati ricavati dall'osservazione mediante supporto fotografico.

Bibliografia

- Bejdić P. (2024). 3D Models and Sketchfab Platform as a New Tool in Veterinary Anatomy Education. In *Journal of Science and Technology*, n. 2(11), pp. 1-6
- Birkeland K.R. (1908). *The Norwegian aurora polaris expedition, 1902-1903*. London, New York: Christiania, H. Aschelhoug.
- Brunetti F. (2005). *Galileo. Opere_1*. Torino: Utet.
- Canby E. T. (1965). *Storia dell'Elettricità*. Torino: U. Mursia & C. Editore.
- Chapman S. (1958). Fredrik Carl Mülertz Störmer. 1874-1957. In *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*, vol. 4, pp. 257-279.
- Contu R. (a cura di). (1932). *Dalle stelle agli atomi di Carlo Stoermer*. Milano: Hoepli.
- Dreyer J.L.E. (2016). *Storia dell'astronomia da Talete a Keplero*. Bologna: Odoya.
- Ferguson, K. (2001). *Dalla terra alle galassie. L'uomo misura l'universo*. Milano: Longanesi.
- Heilbron J.L. (1979). *Electricity in the 17th and 18th centuries: a study of early modern physics*. Berkeley: University of California Press.
- Istanbul Foundation for Culture and Arts (2015). *Saltwater: A Theory of Thought and Forms*. Istanbul: Süreyya Evren.
- Kragh H. (2009). The Spectrum of the Aurora Borealis: From Enigma to Laboratory Science in Historical Studies. In *The Natural Sciences*, vol. 39, n. 4, pp. 377- 417.
- Liaropoulos-Legendre G. (2006). *Mathematical Form: John Pickering and the Architecture of the Inversion Principle*. London: Pamela Johnston Editor.
- Liva G. (in corso di stampa). Archivio di luci. Il calcolo e la geometria delle aurore boreali. In *Vesper*, sezione Archivi n. 12.
- Liva G. (2023). Scheda riferita a Tycho Brahe, Epistolarum astronomicarum libri ..., Uraniborg, G. Timpach, 1610 37.47.C.21. In Museo Galileo (a cura di). *La Città del Sole. Arte barocca e pensiero scientifico nella Roma di Urbano VIII*, pp. 438-439. Livorno: Sillabe Editore.
- Liva G. (2008). John Pickering: la metamorfosi dei numeri in superfici. In P. Belardi, A. Cirafici, A. Di Luggo, E. Dotto, F. Gay, F. Maggio, F. Quici (a cura di). *Ibridazioni*, Atti del Convegno Idee per la rappresentazione, pp. 161-171. Roma: ARTEGRAFICA.
- Sandholt P.E., Carlson H.C., Egeland A. (2002). *Dayside and Polar Cap Aurora*. Kluwer, Dordrecht: Academic Publishers.
- Störmer C. (1955). *The Polar Aurora*. Oxford: Clarendon Press. <<https://archive.org/details/polaraurora0000carl/page/n9/mode/thumb>> (consultato il 7 dicembre 2024)
- Störmer C. (1910). Résultats des mesures photogrammetriques de l'altitude de l'aurora boréale à Bossekop aux mois de février et de mars 1910. In *Comptes rendus*, n. 152, pp. 1194-1196. Paris: Acad. Sci.
- Whitehouse D. (2007). *Il sole. Una biografia. Scienza e mitologia della stella che ci dà la vita*. Milano: Mondadori.



Rendering statico dell'ingresso della chiesa di San Giovanni Battista di Francesco Cellini a Lecce.

Architettura tra cielo e terra. Il disegno come epistemologia del progetto dello spazio sacro contemporaneo

Abstract

Progettare lo spazio sacro coinvolge strategie per la definizione simbolica, strutturale, funzionale, formale, materica, e l'attivazione della percezione della sfera mistica. L'architettura rappresentativa di questi spazi si pone come soglia in cui cielo e terra si incontrano, a prescindere dalla loro posizione geografica e dalla dottrina liturgica. Tutti sottendono un rapporto con la dimensione cosmica, che si declina in modo differente, a volte visibile e a volte no. Il saggio intende restituire, attraverso l'analisi grafica e le ricostruzioni virtuali, gli esiti delle azioni progettuali per la creazione di architetture dedicate al rapporto uomo e trascendente. Il fine è mostrare le soluzioni di esigenze valoriali e antropiche in un dialogo tra materiale e immateriale, fisico e concettuale, luce e ombra. L'attenzione, qui, è rivolta a tre esempi di chiese cattoliche progettate in Italia da Francesco Cellini e dall'Atelier ABDR.

The design of sacred space involves strategies for symbolic, structural, functional, formal, and material definition, as well as the activation of mystical perception. The architecture of such spaces serves as a threshold where heaven and earth meet, regardless of geographical location or liturgical doctrine. All sacred spaces imply a connection to the cosmic dimension, expressed in different ways—sometimes visibly, sometimes imperceptibly. Through graphic analysis and virtual reconstructions, this essay examines the outcomes of design processes aimed at creating architecture dedicated to the relationship between humanity and the transcendent. The goal is to demonstrate how these designs respond to human and spiritual needs, mediating between the material and immaterial, the physical and conceptual, light and shadow. The focus here is on three examples of Catholic churches designed in Italy by Francesco Cellini and Atelier ABDR.

Parole chiave

Spazio sacro
Geometria
Luce
Francesco Cellini
Atelier ABDR

Laura Farroni
Università degli Studi Roma Tre
→ laura.farroni@uniroma3.it

Introduzione

Il tema *Attraversare il Tempo* è declinato in questo saggio su architetture dedicate al culto cristiano cattolico per dimostrare l'accezione più legata all'architettura (Muratori 1956), ossia quella della qualità delle configurazioni spaziali in relazione alla sfera del trascendente e alla visione cosmica. La storia ha dimostrato che il rapporto architettura, geometria e astronomia può essere visibile e percepibile, ma anche invisibile, e sotteso alla manifestazione del fenomeno, nelle tracce dell'antropizzazione (Farroni, Incerti, Pagliano 2024; 2023). Un esempio, appunto, ne sono i luoghi di culto lungo il corso dei secoli. La scienza della rappresentazione è, però, in grado di svelare non solo l'aspetto simbolico presente in essi, ma anche gli aspetti astronomici strettamente legati alla geometria della luce, elemento a cui è affidata la manifestazione del divino e della sfera meditativa.

Progettare lo spazio sacro, infatti, coinvolge strategie per la definizione simbolica, strutturale, funzionale, formale, materica, e le condizioni per l'attivazione della percezione della sfera mistica. L'architettura rappresentativa di questi spazi si pone come soglia in cui cielo e terra si incontrano, a prescindere dalla loro posizione geografica e dalla dottrina liturgica. Il saggio intende restituire, attraverso l'analisi grafica e le ricostruzioni virtuali tridimensionali, gli esiti delle azioni progettuali per la creazione di architetture dedicate al rapporto uomo e trascendente. Il fine è mostrare le soluzioni di esigenze valoriali e antropiche in un dialogo tra materiale e immateriale, fisico e concettuale, luce e ombra. L'attenzione è rivolta a tre esempi di chiese cattoliche progettate in Italia da Francesco Cellini e dall'Atelier ABDR negli anni a cavallo tra XX e XXI secolo, in tre regioni diverse, Lombardia, Lazio e Puglia¹.

Alcune premesse

Prima di presentare i casi di studio occorre procedere ad alcune premesse.

La prima sul concetto di *architetture tra cielo e terra*, la seconda sulla scelta del considerare il disegno come forma di conoscenza del progetto di architettura e la terza sull'evoluzione degli spazi di culto oggi. Questa

ultima rinforza la volontà di non perdere le tracce di esperienze creative legate ai singoli culti come testimonianza di possibili soluzioni elaborate nel tempo che possano implementare nuovi indirizzi attuali.

Architetture tra cielo e terra

Le architetture qui indagate possono essere considerate come architetture create con l'intento di attivare la percezione della sfera mistica attraverso elementi e configurazioni materiali, in osservanza delle indicazioni del Concilio Vaticano II che si ricorda aver promosso una trasformazione importante nella progettazione architettonica di edifici sacri, riorganizzando le funzioni religiose e tenendo in considerazione le nuove esigenze della modernità (Benedetti 1995, 2000; Santi 2022).

Architetture tra cielo e terra vuole essere una espressione evocativa che descrive edifici e strutture che presentano una connessione concettuale e fisica tra l'ambiente terrestre e lo spazio celeste attraverso l'attivazione di connessioni visive e senso percettive dovute alla forma degli spazi e al movimento della luce. Il percorso della luce assume una importanza fondamentale, e rappresenta la connessione tra il celeste e i suoi astri e le tracce dell'antropizzazione.

Si intendono, quindi, quelle costruzioni che, attraverso la loro posizione, il loro orientamento, la loro forma, i loro materiali e il loro simbolismo, stabiliscono una relazione visiva e concettuale tra la dimensione terrena (traccia dell'uomo) e quella celeste (cosmo), evocando un senso di spiritualità e di relazione con la luce, elemento fisico in grado di dare contezza degli elementi che definiscono il cosmo. La progettazione di queste architetture (Moretti 1968) presta particolare attenzione alla relazione tra spazio interno e involucro esterno, e molteplici sono le soluzioni che possono essere proposte, in funzione del trattamento della luce naturale. Essa ha il compito di modellare gli spazi interni per creare atmosfere che possano evocare sensazioni di trascendenza o contemplazione. L'aspetto tipo-morfologico, quindi, è scelta consapevole del progettista insieme ai materiali e alle strutture, attraverso cui la luce esprimerà i colori visibili all'uomo. L'astronomia, in questo caso,

1. Chiesa della Pentecoste a Quarto Oggiaro di Francesco Cellini. A sinistra, vista del progetto inserito nel tessuto urbano; a destra, rendering statico del sagrato.



1.

nell'accezione di scienza che studia ed osserva i corpi celesti, è sottesa al progetto. Le architetture tra cielo e terra esprimono le conoscenze acquisite dall'astronomia, e attraverso la voce del progettista esprimono le forme del cielo, creando linee visive verso di esso. Gli spazi interni vivono tra più livelli, arrivando anche all'assenza di luce.

Queste architetture possono, poi, integrarsi con il paesaggio. Infatti, pur avendo spazi ipogei, possono offrire ampie vedute del cielo, dell'orizzonte o del paesaggio circostante, creando un senso di apertura e connessione con l'ambiente naturale. E questo accade negli spazi di pertinenza, che ormai rientrano nella progettazione dei complessi parrocchiali che contengono l'ambiente chiesa.

Ulteriore aspetto da non tralasciare, ma che in questo particolare studio non sarà affrontato, sono il simbolismo e le metafore che possono essere presenti in questo tipo di edifici. Infatti, la forma, i materiali, le decorazioni possono richiamare elementi celesti, come cupole che ricordano la volta celeste (Incerti 2025), colori che richiamano il cielo e che hanno un significato spirituale o religioso che connette il mondo terreno con il divino.

In sintesi, *architetture tra cielo e terra* non si riferisce a un preciso stile architettonico, ma piuttosto a un modo di concepire e progettare gli edifici, in particolare chiese cristiane, che enfatizza il rapporto tra la

costruzione umana e la vastità del cielo e dello spazio circostante attraverso la luce. E quindi, l'analisi delle opere, tenderà a esprimere non solo la volontà di elevazione, di connessione con la natura, di sfida alla gravità o di esplorazione dei limiti della percezione e dello spazio, ma la dualità dell'architettura: il suo essere ancorata al terreno ma anche la sua capacità di proiettarsi verso l'alto, influenzando l'esperienza del paesaggio e del cielo.

Sul disegno

Le opere di seguito analizzate non sono state costruite, e pertanto sono studiate solo sui grafici di progetto, ed il disegno avrà, dunque, un duplice ruolo.

Da un lato, il disegno/immagine come oggetto da analizzare, che contiene diverse tipologie di messaggi come quello evocativo e quello semantico e che è oggetto di descrizione dei contenuti, della grammatica e sintassi dei segni e delle ontologie su cui si basa il progetto grafico in relazione al progetto architettonico; dall'altro, il disegno come processo analitico, come strumento di conoscenza del progetto dello spazio, in questo caso specificatamente sacro contemporaneo. Espressione, il primo, delle scelte e delle strategie progettuali, mentre il secondo strumento di analisi per comprendere la proposta architettonica e di restituzione degli esiti della conoscenza.

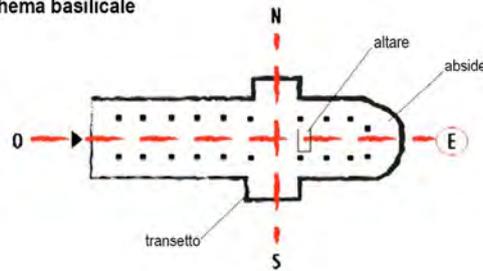
Il disegno è inteso come epistemologia del progetto,

2.
Chiesa della Pentecoste a Quarto Oggiaro di Francesco Cellini. Diagrammi per orientamento, vista 3D del complesso e ridisegno planimetrico.

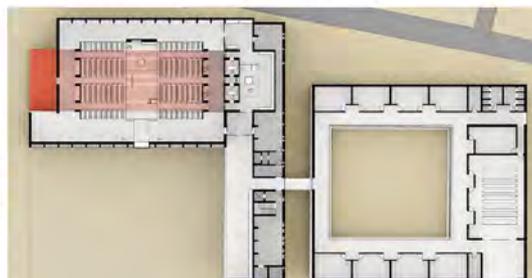
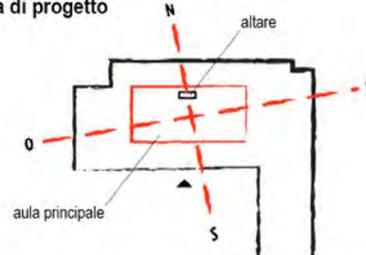
Schema planimetrico e orientamento



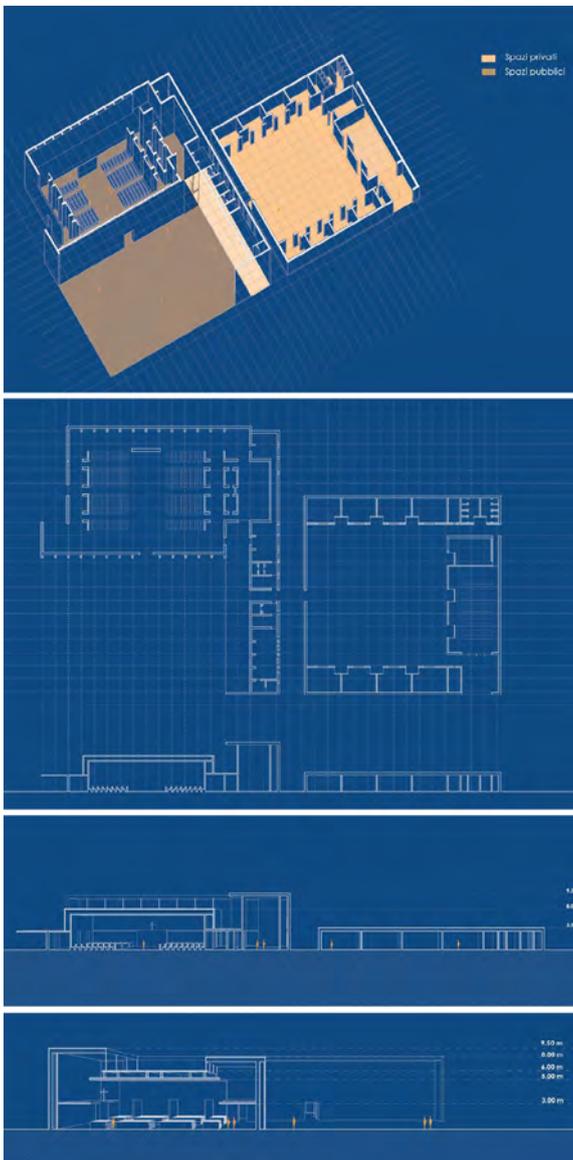
Schema basilicale



Schema di progetto



2.



3.

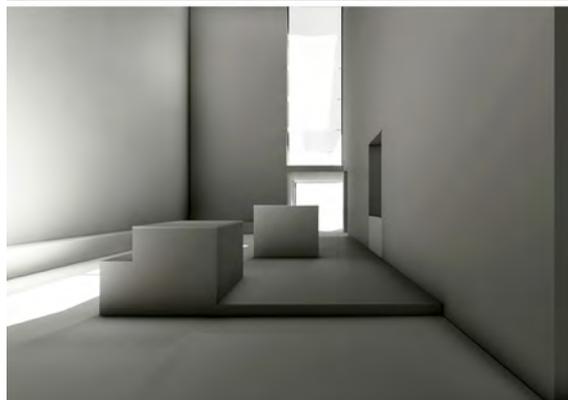
ossia come approccio scientifico metodologico per svelare nuove conoscenze rispetto alla percezione dell'immagine rappresentativa il progetto d'architettura, che può variare da osservatore ad osservatore, nonostante usi un linguaggio normo codificato di segni e simboli. Il lavorare in modo analitico sui grafici del progetto originario permette di porre le fonti primarie su un livello distinto dalle molteplici letture e di combinare, prima, approccio filologico e interpretazione critica, poi, in un processo di studio e di valorizzazione. L'analisi grafico descrittiva, affidata ai metodi e agli strumenti della rappresentazione, permette di ottenere le informazioni del progetto sottoponendole ad un processo di verifica attraverso le ricostruzioni digitali che, non solo strutturano e sistematizzano la nuova conoscenza, ma ne mostrano la validità, secondo gradi di attendibilità (la letteratura sulle ricostruzioni digitali è molto ampia, ma non è questa la sede per ricordarla).



3.
Chiesa della Pentecoste a Quarto Oggiaro di Francesco Cellini. Schemi funzionali e della maglia modulare.



4-5.
Chiesa della Pentecoste a Quarto Oggiaro di Francesco Cellini. Renderings statici dell'interno.



4-5.

Attraverso i disegni si esplora la dimensione temporale del progetto in una ricomposizione del processo che lo ha generato. E attraverso il ridisegno si restituisce la dimensione temporale della fruizione dello spazio e delle qualità delle configurazioni spaziali, legate, nei casi in esame, ai percorsi di luce, alle partiture di luce (Holl 2004). Il disegno permette di discretizzare la ricerca che il progettista ha messo in atto con una continua interrogazione tra quanto si

guarda e quanto si percepisce (Tagliagambe 2025). Si evidenziano così le valenze del disegnare, da un lato come processo primario, dall'altro come ridisegno da parte dell'esperto di settore.

I disegni analizzati sono dei progetti delle seguenti opere:

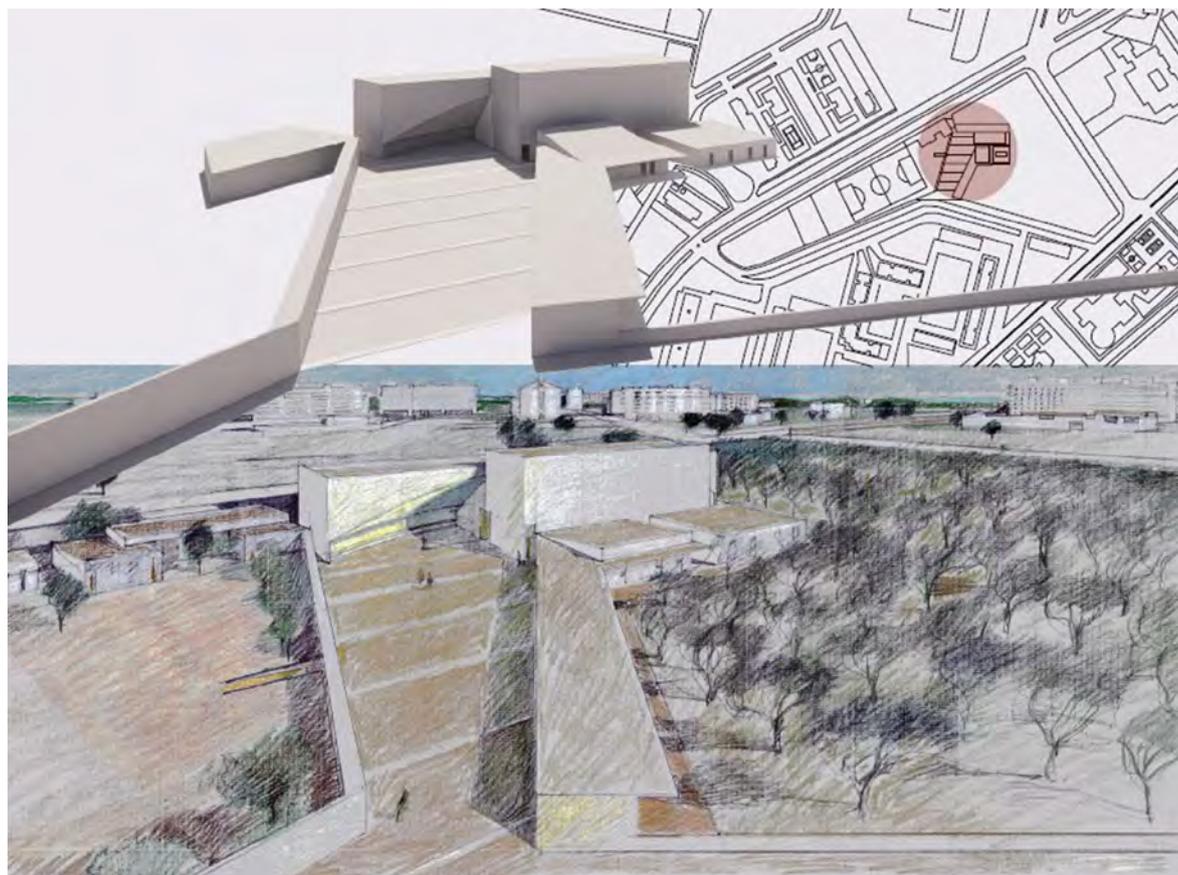
- la Chiesa della Pentecoste di Francesco Cellini con Andrea Salvioni e Marta Sena Augusto, a Quarto Oggiaro, a Milano del 2001. La committenza è stata la Diocesi di Milano. Il progetto è stato segnalato in sede di concorso, ma non costruito e la superficie prevista era di 1800 mq;
- la Chiesa di San Giovanni Battista a Lecce di Francesco Cellini del 1998-1999, localizzata a via Ragusa a Lecce, su commissione della Conferenza Episcopale Italiana. Il progetto è stato analizzato nella sua fase preliminare e consta di una dimensione di 1715 mq di superficie;
- la Chiesa di SS. Cirillo e Metodio a Roma, progettata da Atelier ABDR nel 2001 nel quartiere di Dragoncello di Acilia.

Spazi multireligiosi e inclusività

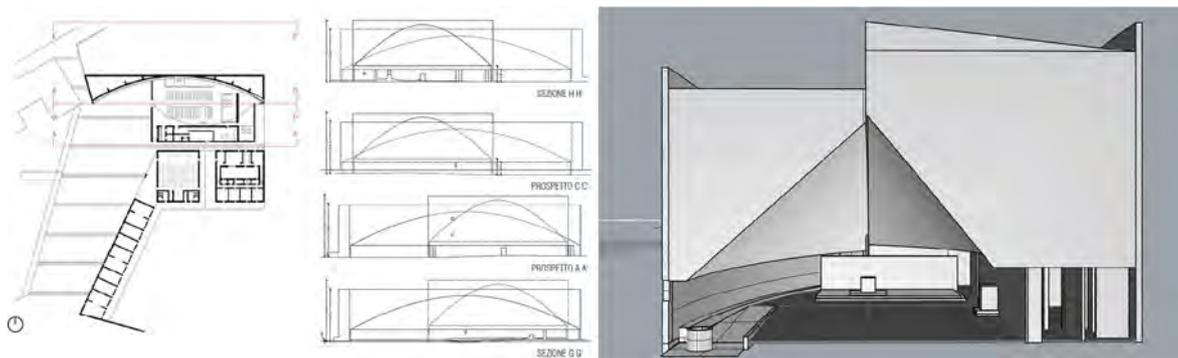
In ultimo, prima di avviare le descrizioni dei progetti, occorre sottolineare come, attualmente, siano aperte riflessioni sul ruolo degli spazi multireligiosi e multifunzione per le comunità nelle città e come si stia studiando sulle situazioni che potrebbero delinearsi al fine dell'inclusione e della convivenza (Nu-

mrich 2023; Burchardt, Giorda 2021). A differenza degli spazi sacri tradizionali, legati ad una specifica religione, uno spazio multireligioso contemporaneo non è necessariamente legato a una specifica dottrina religiosa o istituzione. Può accogliere una spiritualità più individuale, eclettica o laica dove assume importanza l'esperienza soggettiva e interiore, contemporaneamente ad altre. Per cui il luogo deve essere pensato, o comunque caratterizzato da condizioni che facilitino il percorso interiore, sia esso di introspezione, meditazione, consapevolezza o connessione con qualcosa di più grande di sé (Rötting 2021). Questi spazi possono presentarsi in forme permanenti o temporanee, aperti o chiusi, interni ed esterni e devono adattarsi a diverse pratiche e necessità della comunità che li utilizza. Diverse possono essere le declinazioni: spazi naturali, spazi dedicati alla meditazione, spazi artistici e culturali, spazi comunitari e sociali, spazi virtuali e spazi individuali trasformati per la meditazione o contemplazione. Quello che ci interessa sottolineare in questa sede è che il motivo della varietà di questi luoghi è esito di un vivere contemporaneo. In un'epoca spesso caratterizzata dall'incertezza e dalla velocità, questi spazi offrono un'opportunità per ritrovarsi, per rallentare, per ascoltare il silenzio. Essi tendono ad essere spazi accoglienti per persone di diverse provenienze, credenze e orientamenti.

6.
Chiesa di San Giovanni Battista a Lecce di Francesco Cellini. Inserimento del progetto nel luogo e ridisegno prospettico da F. Cellini.

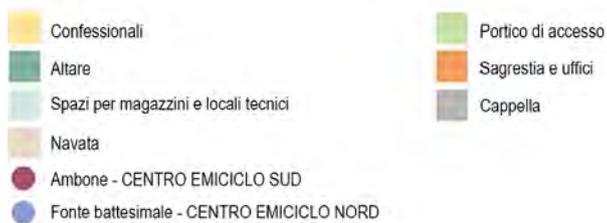


6.



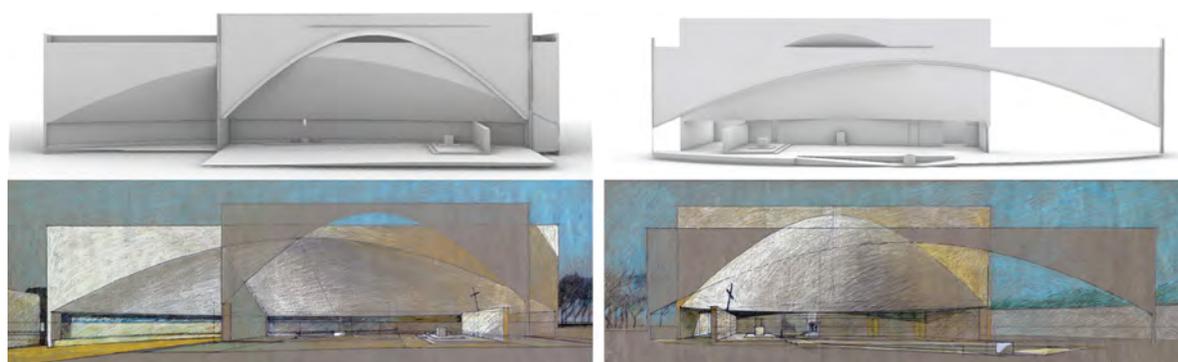
7. Chiesa di San Giovanni Battista a Lecce di Francesco Cellini. Ridisegno planimetrico e in alzata; controllo 3D degli spazi in sezione.

8. Chiesa di San Giovanni Battista a Lecce di Francesco Cellini. Schema funzionale.



9. Chiesa di San Giovanni Battista a Lecce di Francesco Cellini. Controllo configurazioni spaziali in 3D.

10. Chiesa di San Giovanni Battista a Lecce di Francesco Cellini. Renderings statici configurazioni interne.



9.



10.

Quindi, possiamo affermare che uno spazio sacro può nascere da diverse intenzioni. Capire, dunque, la ricerca progettuale nella definizione di spazi di raccordo tra l'umano e il trascendente, che investono la sfera mistica, ma che definiscono l'evoluzione della cultura del progetto di architettura tra cielo e terra, può rivelarsi utile all'interpretazione della dimensione spazio-temporale a prescindere dalla singola fede religiosa.

Analisi e ricostruzioni virtuali di architetture tra cielo e terra

La Chiesa della Pentecoste a Quarto Oggiaro di Francesco Cellini: la luce laterale

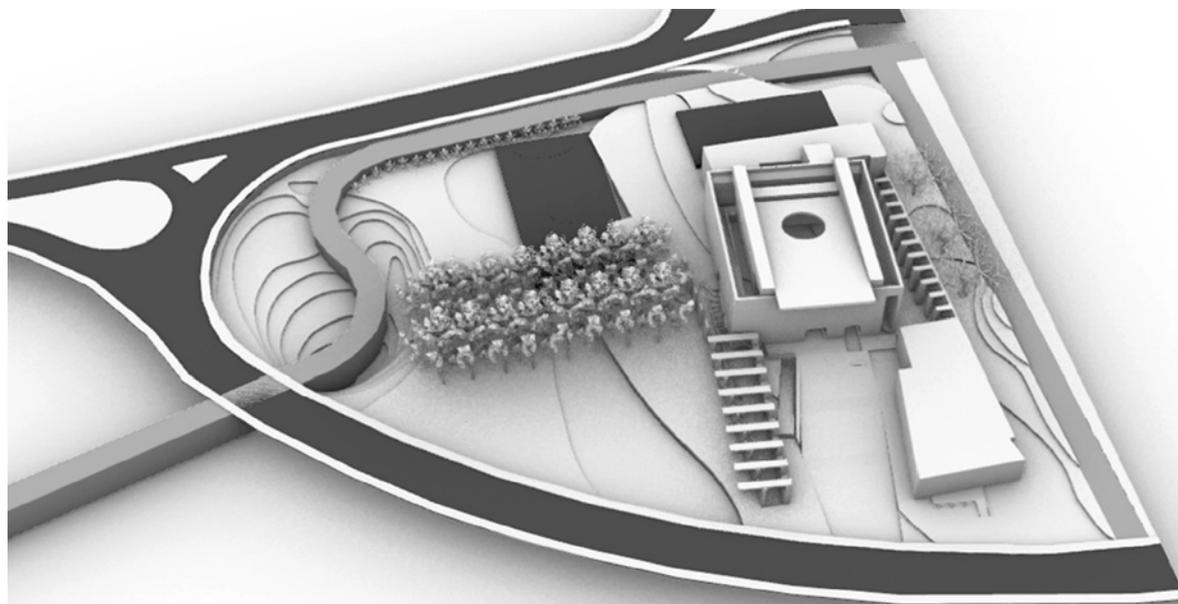
L'intervento di Francesco Cellini si distingue per l'inserimento nel contesto urbano milanese caratterizzato da alta densità [fig. 1]; sono infatti evidenti i rapporti scalari tra la proposta progettuale e gli edifici del quartiere. Tre volumi parallelepipedi in connessione tra loro sono disposti su una griglia modulare che ha l'intento di regolarizzare il disegno del tessuto esistente. Essi si caratterizzano per svuotamenti o sottrazioni di parti pensati per far accedere la luce naturale all'interno degli ambienti. Le diverse altezze garantiscono l'ingresso dei raggi solari, che vengono convogliati secondo un gioco sapiente di superfici opache e trasparenti. Architetture immerse nel cielo. Le coperture sono orizzontali e negano il rapporto con il cielo, che è lasciato, appunto ad alcune cavità attraverso superfici piane che determinano ombre e proteggono trasparenze verticali. La forma quadrata dominante in pianta suggerisce stasi e trascendenza, alla quale si aggiunge l'effetto luminoso laterale della luce che, se da una parte accelera lo spazio longitudinalmente, dall'altra enfatizza i luoghi liturgici posti secondo la sua direzione. Spazi che si definiscono come involucri temporanei che si modificano nelle diverse ore del giorno.

Le funzioni principali possono così sintetizzarsi: sagrato, chiesa con servizi annessi e chiostro interno. L'impianto ad aula unica e senza abside propone la posizione dell'altare secondo l'orientamento Nord-Sud, con l'ingresso principale orientato a Sud, sul sagrato [fig. 2]. Le scelte progettuali che si distinguono, e su cui si imposta il rapporto cielo/terra sono: apertura verso il parco, che permette al sagrato di porsi come una piazza accogliente verso la città; chiusura verso la ferrovia a limitare la visibilità e i rumori. Il solido di ingresso ha una altezza minore dell'aula per fare in modo che la soluzione a superficie piegata della copertura possa avvolgere lo spazio sottostante, permettendo riflessi dei raggi solari che attraversano poi la vetrata verticale dell'aula [fig. 3].

Concettualmente i volumi in pietra scura di ardesia hanno il compito di avvolgere e racchiudere, lasciando spazi di passaggio al flusso della luce che si dispiega in un percorso modulare tridimensionale. Un ritmo dimensionale definisce geometrie elementari e le loro relazioni, in pianta e in alzato. La forma e la posizione dell'aula risultano apparentemente in contrasto con il volume che li comprende, ma la luce riesce a creare una luminosità variabile a seconda di dove si posa, calda verso l'altare essendo riflessa da sud e fredda verso l'ambone (Cellini 2016, p. 162).

L'andamento della luce viene accuratamente rappresentata nei disegni del progetto preliminare. Le prospettive e le sezioni prospettiche di Francesco Cellini, a pastelli su cartoncino colorato, evidenziano gli effetti del movimento apparente del sole durante il giorno e risaltano gli spazi e le funzioni a loro dedicate. L'aula viene definita dallo stesso autore come "una semplice scatola raccolta ai due lati del presbiterio, è calda e intima; la circondano, in basso un ambulacro scuro e, in alto, il chiarore diffuso e smorzato

11.
Chiesa dei SS.
Cirillo e Metodio
ad Acilia di Atelier
ABDR. Inserimento
del modello 3D nel
contesto.



11.

riflesso del cielo” (Cellini 2016, p. 165).

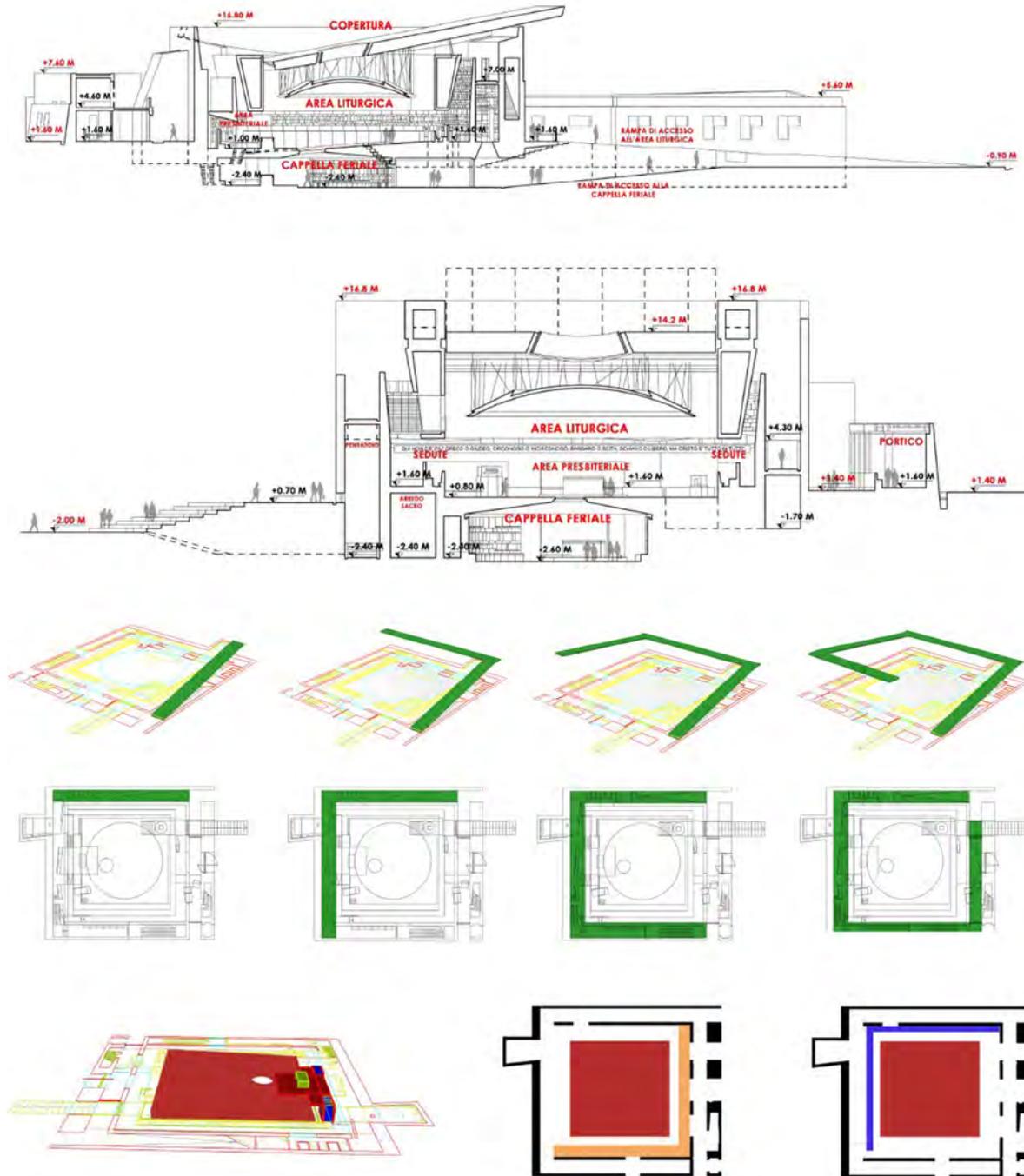
In questo contesto non si presentano i disegni originali di F. Cellini, ma alcuni ridisegni che hanno permesso di riconfigurare in ambiente tridimensionale la spazialità ricercata [figg. 4-5].

La chiesa di San Giovanni Battista di Francesco Cellini a Lecce: geometrie per la luce

Un ampio sagrato a forma trapezoidale costituisce l'accesso al complesso parrocchiale. Attraverso un piano inclinato, infatti, è possibile avviarsi sia allo spazio della chiesa, sia ai servizi parrocchiali [fig. 6]. I volumi costituenti la chiesa appaiono scolpiti, e

sono l'esito di operazioni geometriche tra superfici quadriche e parallelepipedi rettangoli (Farroni, Mancini 2022). Lo spazio configurato si distingue per la percezione avvolgente, frutto dell'uso creativo di due coni retti a direttrice di raggio differente, che si intersecano con i parallelepipedi. Si generano così sia sezioni coniche piane (iperboli) che configurano la forma muraria sull'asse della chiesa, sia le cavità su cui la luce ricade [fig. 7]. La geometria, al dunque, distingue questo progetto, e sostiene la distribuzione delle funzioni in pianta [fig. 8] e il controllo della luce nello spazio con il fine di catturare il cielo o comunque di rimandare ad una sorta di sfera cele-

12.
Chiesa dei SS.
Cirillo e Metodio
ad Acilia di
Atelier ABDR.
Sezioni ambiente
chiesa e schemi
distribuzioni interni
ambienti liturgici.



12.

ste. L'orientamento è prevalentemente lungo un asse Nord-Sud [fig. 7] e il sagrato a forma di imbuto si allarga verso l'ingresso della chiesa, estendendosi in direzione Nord, innescandosi nei due emicicli generati dalle intersezioni geometriche. Un emiciclo ha funzione di fonte battesimale ed è esposto a Nord, l'altro accoglie l'ambone ed è esposto a Sud. La cappella eucaristica si trova oltre il presbiterio, sull'asse della chiesa, e questo spazio si distingue per una apertura di luce zenitale. Le funzioni si sviluppano su quote differenti, il fonte battesimale è più basso, l'assemblea su un piano leggermente inclinato, crescente verso il presbiterio, mentre l'ambone è aggettante sull'assemblea (Cellini 2016, p.152).

A Ovest si trovano le attrezzature sportive, mentre a Est sono disposti i locali per il ministero pastorale e la casa canonica, suggerendo attività di ufficio, incontro e residenza per il clero. Questi spazi sono aperti verso un giardino piantumato a olivi (Cellini 2016, p.152).

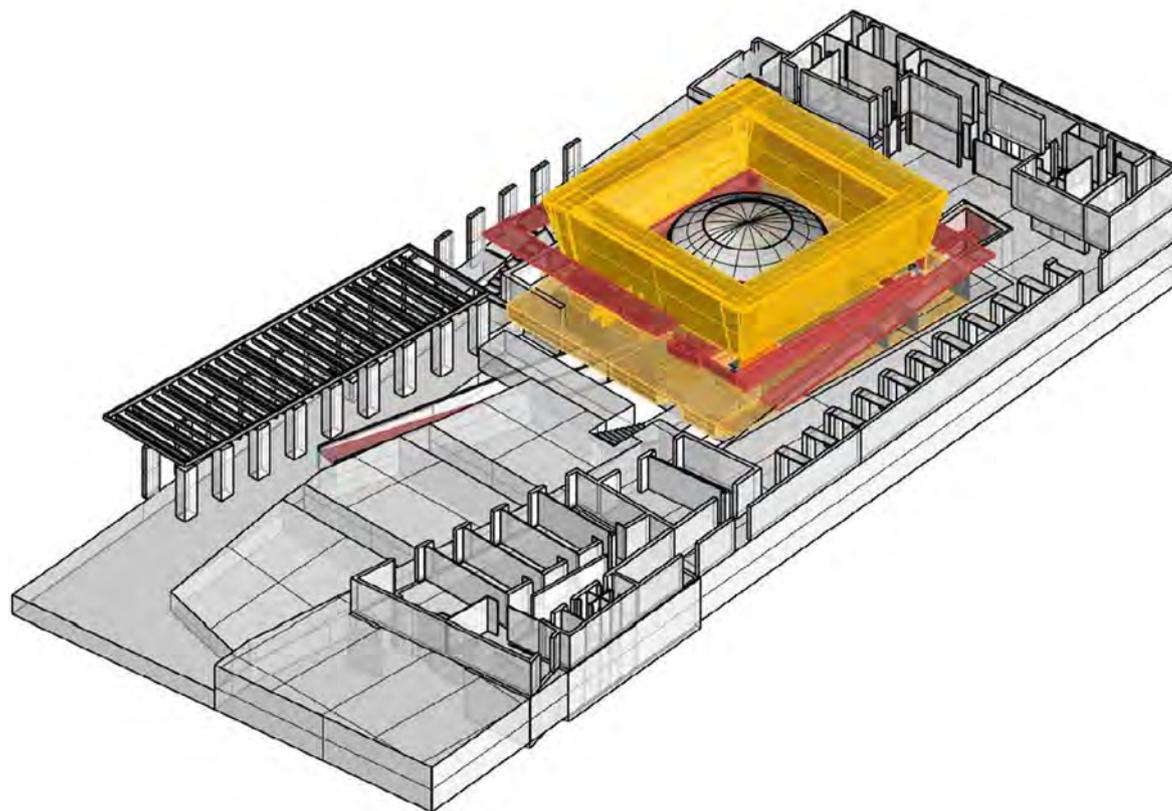
La luce risulta diffusa ed accentua le masse scavate, e le particolari partiture dovute alle sezioni trasversali narrano il controllo della spazialità complessa. Le altezze differenti mostrate nelle sezioni trasversali e longitudinali consentono alla luce di penetrare con diversa intensità durante il giorno [fig. 9], e il disassamento in pianta dei due emicicli con diversa dimensione permette ai raggi di diffondersi in maniera diversa fino a toccare sia il pavimento in pietra locale inclinato verso il presbiterio, sia il pavimento del fonte battesimale in pietra lucida e scura. Infine, le superfici interne sono intonacate e caratterizzate da una fascia perimetrale in pietra locale [fig. 10].

Centro parrocchiale dei SS. Cirillo e Metodio di Atelier ABDR ad Acilia: forma, luce e costruzione

Il progetto è firmato dall'Atelier ABDR, formato da Maria Laura Arlotti, Michele Beccu, Paolo Desideri e Filippo Raimondo. e trova un riferimento nelle

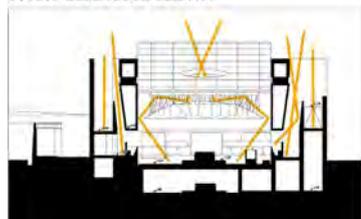
13.
Chiesa dei SS. Cirillo e Metodio ad Acilia di Atelier ABDR. Modello 3D dell'insieme.

14.
Chiesa dei SS. Cirillo e Metodio ad Acilia di Atelier ABDR. Sezioni per il controllo della luce.

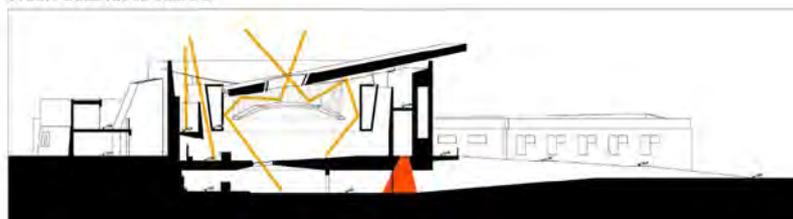


13.

STUDIO DELLA LUCE SEZ. A-A'



STUDIO DELLA LUCE SEZ. B-B'



14.

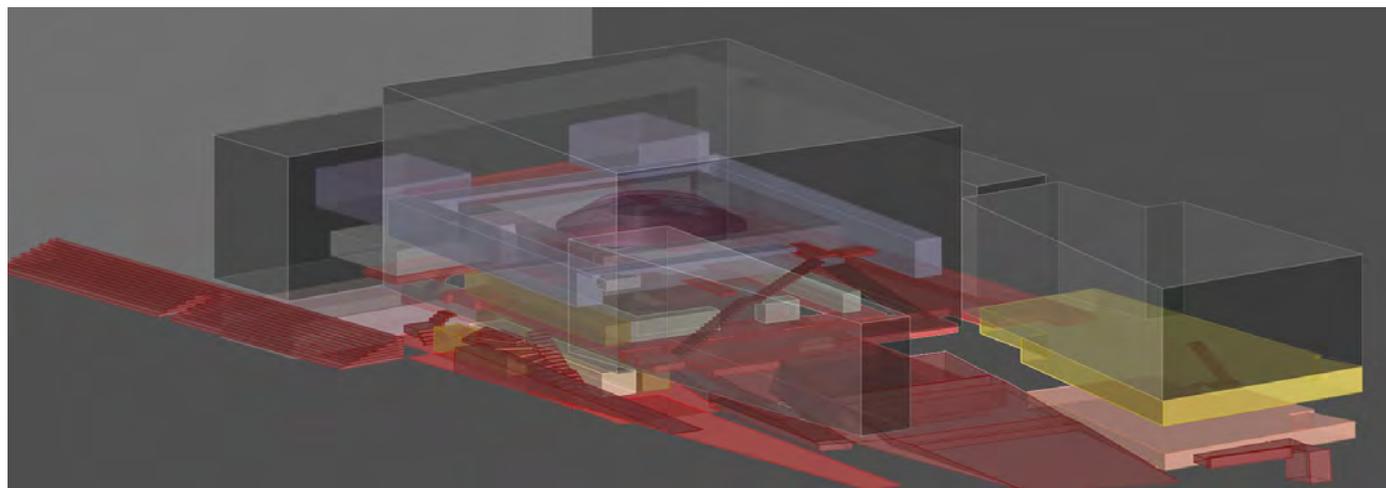
chiese campestri della Sardegna, specialmente per i tagli delle pietre e la matericità. Il richiamo alla Chiesa di S. Platano a Villa Speciosa è evidente.

Il centro è stato pensato per una area all'esterno della città storica, verso il mare nella località Dragoncello ad Acilia. Il gruppo di progettisti è stato molto ampio e ha compreso anche teologi, ingegneri e artisti. Il progetto appare molto complesso con una produzione grafica che procede da disegni evocativi elaborati a mano per arrivare al progetto della fase definitiva, dove vengono anche mostrati i dettagli degli elementi liturgici quale il fonte battesimale e l'altare. Impostato su un lotto crocevia di arterie di scorrimento, presenta nella sua forma planimetrica definitiva una connessione tra forme primarie, esito di trasformazioni di un rettangolo e dell'inserimento di forme circolari e quadrate a rappresentare il cielo e la volta celeste e la terra [fig. 11]. La presenza di allegorie formali si legge non solo sul piano, ma nello spazio tridimensionale, dove emerge infatti la ricerca di diverse visuali date dalla presenza di ambienti sospesi, quali il coro, che rimandano simbolicamente alla tradizione degli impianti basilicali. Tre concetti guidano il progetto: la stasi ricercata nella chiesa e nelle cappelle, il dinamismo del camminare e del procedere inteso come avanzamento e ascensione,

individuato nel percorso della via crucis che si svolge lungo un percorso in salita, perimetrale alla sala; la connessione tra spazi, ambienti ed elementi che regola flussi di persone, di luce e accadimenti e, quindi, di funzioni [figg. 12-13]. Il rapporto tra forma e struttura acquista importanza nella definizione di soluzioni degli spazi e delle coperture. L'asse principale è orientato secondo la direzione Est-Ovest con ingresso ad Ovest. Se si osserva la sezione, l'edificio appare un organismo in cui ogni elemento e ogni ambiente è collegato agli altri in un gioco sapiente di assemblaggi e relazioni, di connessioni e sospensioni, di continuità e interruzioni, di quote e dislivelli. La luce viene controllata e fatta accedere secondo diverse modalità, sempre dall'alto, centralmente e lateralmente, per essere poi deviata e indirizzata negli ambienti ipogei attraverso forature del solaio del piano terra [fig. 14]. Tre ingressi si svolgono paralleli per dividersi poi nella chiesa, nella cappella feriale e nell'impianto sportivo secondo quote differenti [fig. 15]. La sala liturgica è coperta con una calotta sferica che appare sospesa al piano inclinato di copertura che poggia su due travi, che a loro volta si reggono su pilastri e setti murari verticali. Il piano inclinato richiama un orizzonte, un limite tra cielo e terra. Echi di luce sono stati ricostruiti attraverso il dise-

15.
Chiesa dei SS. Cirillo e Metodio ad Acilia di Atelier ABDR. Diagramma delle connessioni spaziali e funzionali.

16.
Chiesa dei SS. Cirillo e Metodio ad Acilia di Atelier ABDR. Renderings statici dell'interno.



15.



16.

gno con la curiosità di andare a verificare l'impianto tipo morfologico e strutturale [fig. 16].

Conclusioni

I tre progetti sono esemplificativi in modo differente del concetto di attraversamento del tempo e dello spazio in relazione alla luce. La strategia di Francesco Cellini si basa sulla geometria semplice e sulle relazioni complesse che possono generare spazi dove la luce può penetrare per avvolgere o direzionare la fruizione e accentuare la stasi, lo stare in senso trascendente. Diversamente l'opera di ABDR si distingue per la complessità dei rapporti tra forma e struttura, che generano luoghi dello stare e spazi per deambulare dove emerge preponderante la ricerca di

un attraversamento della luce da cielo al suolo, mostrandone le varianti durante il giorno. L'esito sono luoghi dell'ombra e luoghi della luce.

Invarianti, forse, che possono essere estrapolate e riadattate a contesti multireligiosi, sotto uno stesso cielo, su una stessa terra.

Ringraziamenti e attribuzioni

L'autrice ringrazia E. Fedeli, M. Giangrieco, F. Guidi, M. Hernanza, M. Iannaccone, M. Lazzarini, M. Lochi, I. Maurelli, L. Merlonghi, A. Modena, I. Morra, L. Pellegrini, P. Sánchez, O. R. Sandoval, M. Santarelli, R. Scisciola e D. Vadalà per le sperimentazioni grafiche condotte sui progetti di Francesco Cellini e dell'Atelier ABDR.

Note

1. Si rimanda alla letteratura specifica la conoscenza approfondita della biografia e dei temi, opere e progetti di

Francesco Cellini e di Atelier ABDR (Cellini, 2003, 2006, 2016, 2019; Dal Cò 2016; Costi 2015).

Bibliografia

- Benedetti, S. (1995). *Architettura Sacra oggi*. Tarquinia: Gangemi Editore.
- Benedetti, S. (2000). *L'architettura delle chiese contemporanee, il caso italiano*. Milano: Jaca Book, 2000.
- Burchardt, M., Giorda M.C. (2021). *Geographies of Encounter: The Making and Unmaking of Multi-Religious Spaces*. Cham: Springer.
- Cellini, F. (2003). Nota: Rappresentazione, Costruzione, Conoscenza. In Testa G., De Sanctis A. (a cura di). *Rappresentazione e Architettura. Linguaggi per il rilievo ed il disegno*, pp. 109-118. Roma: Gangemi Editore.
- Cellini, F. (2006). Sul talento e sul gesto. In Strollo R. (a cura di). *Disegno e conoscenza. Contributi per la storia e l'architettura*, pp. 93-104. Roma: Aracne editrice.
- Cellini, F. (a cura di). (2016). *Francesco Cellini*. Milano: Electa.
- Cellini, F. (2019). *Riflessioni sul disegno. Lectio Magistralis del 16 luglio 2019*. <<https://www.youtube.com/watch?v=FhZAUOnUZ-nE>> (consultato il 16 marzo 2025).
- Costi, D. (2015). *ABDR. Temi, opere e progetti/Themes, Works and Projects*. Milano: Electa.
- Dal Cò, F. (2016). Architetto non moderno. In Cellini F. (a cura di). *Francesco Cellini*, pp. 7-14. Milano: Electa.
- Farroni, L., Incerti, M., Pagliano, A. (2024). La misura del Tempo tra arte e scienza. In Bergamo F. et al (a cura di). *Misura/Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione*, pp. 1367-1384. Milano: Franco Angeli.
- Farroni, L., Incerti, M., Pagliano, A. (a cura di). (2023). *Misurare il tempo. Strumenti e tecniche tra storia e contemporaneità*. Padova: libreriauniversitaria.
- Farroni L., Mancini, M.F. (2022). Sulla bellezza delle immagini per la narrazione del pensiero architettonico. Riflessioni sui disegni di progetto di Francesco Cellini. In Battini C., Bistagnino E. (a cura di). *Dialoghi. Visioni e visualità. Atti del 43° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione*, pp. 610-627. Milano: FrancoAngeli.
- Holl, S. (2004). *Parallax. Architettura e percezione*. Milano: Postmedia.
- Incerti, M. (2025). *Cieli paleocristiani. Dalla misura alla sua rappresentazione*. Padova: libreriauniversitaria.
- Moretti, L. (1962). Spazi-luce nell'architettura religiosa. In *Fede e arte: rivista internazionale di arte sacra*, vol. 1-2, pp. 168-198.
- Muratori, S. (1956). Tradizione e novità dell'architettura sacra. In *Fede e Arte: rivista internazionale di arte sacra*, n. 7, 1956, pp. 267-274.
- Numrich, P.D. (2023). *The Religious Dimensions of Shared Spaces: When and How Religion Matters in Space-Sharing Arrangements*. Lanham: Lexington Books.
- Rötting, M. (a cura di). (2021). *Houses of Religions: Visions, Formats and Experiences*. Münster: LIT Verlag.
- Santi, G. (2022). *Nuove chiese dopo il Concilio Vaticano II nei cinque continenti*. Milano: Vita e Pensiero.
- Tagliagambe, S. (a cura di). (2024). *Giovanni Maciocco. Disegno come epistemologia del progetto*. Siracusa: LetteraVentidue.



Jean Bonfa,
l'orologio
catottrico del
Lyceé Stendhal a
Grenoble, dettaglio
dell'astrolabio
con alcune linee
orarie e segni dello
zodiaco (photo by
Ho Trong Nhan).

L'orologio catottrico del *Lycée Stendhal* a Grenoble, analisi geometrica e *AR* per il *cultural heritage*

Abstract

Nel suo sviluppo storico la geometria proiettiva presenta forti legami con gli studi astronomici, fin dai tempi più antichi il concetto stesso di proiezione ha trovato una sua applicazione strumentale nella realizzazione di orologi solari. L'*Horloge Solaire* a riflessione del Liceo Stendhal a Grenoble è uno degli esempi più mirabili di come la gnomonica si sia evoluta nei secoli. Il contributo analizza e ricostruisce con metodi grafico-geometrici il raffinato quadrante realizzato dal padre gesuita Jean Bonfa nel XVII secolo. Viene inoltre proposta un'applicazione di realtà aumentata e virtuale per la fruizione e conservazione dell'astrolabio catottrico.

In its historical development, projective geometry has strong links with astronomical studies. From the earliest times, the same concept of projection found its instrumental application in the construction of sundials. The Reflection *Horloge Solaire* of Lycée Stendhal in Grenoble is one of the most admirable examples of how gnomonics has evolved over the centuries. The contribution analyses and reconstructs with graphical-geometric methods the sophisticated dial made by the Jesuit father Jean Bonfa in the 17th century. An augmented and virtual reality application for the use and preservation of the catoptric astrolabe is also proposed.

Parole chiave

Gnomonica
Proiezione
Catottrica
Realtà aumentata
Digital heritage

Ho Trong Nhan

→ hotrongnhan.arch@gmail.com

Agostino De Rosa

IUAV Università di Venezia

→ aderosa@iuav.it

Alessio Bortot

Università di Trieste

→ alessio.bortot@units.it

Introduzione

Nella storia della rappresentazione occidentale, la metafora astronomica, e segnatamente quella solare, hanno giocato un ruolo fondativo nelle discipline scientifiche ed espressive ad essa correlate. Le stesse definizioni presenti nell'ottocentesca *Geometria proiettiva* (Poncelet 1865; Friedelmeyer 2010; Taton 1951), l'ossatura logico-matematica che, nel nostro emisfero, sostiene *ex-post* tutta l'impalcatura del figurabile in termini geometrici, si è nutrita di *ἀνάλογοι* siderali: ampliando *de iure* il campo di validità dei teoremi, dei postulati e degli assiomi che la regolavano, dallo spazio euclideo a quello degli elementi impropri (cioè, collocati all'infinito), questa geometria già si è mossa in uno spazio dalle risonanze cosmiche e cosmogoniche. E così i suoi elementi o, per meglio dire, le sue forme fondamentali, tra cui citeremo almeno le stelle di rette (a centro proprio o improprio), in cui l'assonanza celeste non è solo formale, ma sostanziale. Il comportamento proiettivo di questa *forma* può essere assimilato a quello dei raggi emessi dal Sole i quali, sia pur divergenti e irradiantesi dalla superficie dell'astro in tutte le possibili direzioni dello spazio cosmico, raggiungono il pianeta Terra in modo pressoché parallelo, poiché caratterizzati da un bassissimo angolo di divergenza, prossimo allo zero. Ma la stretta relazione tra i moti celesti e la logica geometrica era stata già intuita nell'antichità: lo stesso Tolomeo¹, nella delineazione dell'*analemma* intuì questo profondo rapporto tra la posizione assunta dal Sole, nei differenti giorni dell'anno, nello stesso luogo e alla stessa ora, e la sua proiezione terrestre in una curva nota come lemniscata. Ma è soprattutto nel XVII secolo che, con il delinearci del metodo scientifico e grazie soprattutto all'opera di Galileo Galilei e di Johannes Kepler, che questo risonanza assume sempre più i contorni di una scienza esatta, libera da ridondanze religiose e metafisiche, all'interno di una cornice teorico-grafica che, se non è ancora riconducibile al palazzo teorico di Gaspard Monge, si può comunque già definire geometria 'descrittiva' *ante litteram*, cioè in grado di fornire una rappresentazione biunivoca dei corpi e dei movimenti siderali, tenuti assieme da meravigliose leggi matematiche. La nozione di proiezione inizia così a associarsi, con sempre maggiore coerenza e rigore, all'uso di forme, figure e superfici il cui uso combinato consente la creazione di strutture architettoniche - meridiane e astrolabi - che costituiscono le contro-proiezioni terrestri di quelle leggi universali, esperite a distanze siderali dal nostro pianeta: quell'ordine irrompe protettivamente all'interno di ambienti umbratili, resi così adatti a far percepire, anche agli occhi di noi umani, quelle leggi di moto e di traiettorie stellari che lasciano attonito chiunque le osservi. Spesso lo fa con l'uso combinato di specchi, capaci di riflettere e proiettare in forma

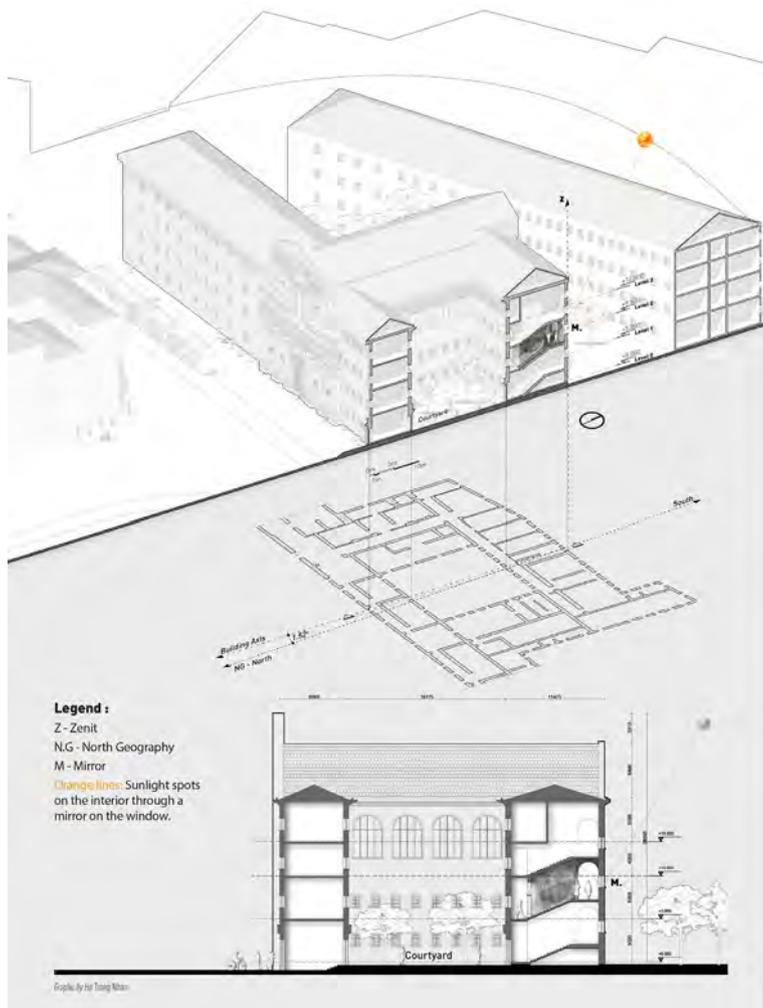
invertita allineamenti, paralleli e meridiani celesti, una configurazione cosmica che risponde a leggi fisiche ma anche di una bellezza inaudita. Sono esse che organizzano un ordine storico, indifferente alle vicende umane, ma che ben presto si innerva di convenzioni terrestri. Così, quelle stesse leggi iniziano a subire esegesi e glosse legate a convenzioni liturgiche e politiche: i sistemi orari elaborati nel corso di millenni dalle nostre civiltà, misurano proprio questo scarto tra ciò che non ha confini e il ristretto spazio di commercio del genere umano. Ma l'ordine cosmico è stato capace di resistere anche a questa piccola (e ad altre) convenzioni prosaiche, squadernando il suo potere mesmerico ogni qualvolta esso ha toccato la creatività di artefici che non solo coltivavano la geometria e l'astronomia, ma anche il linguaggio dell'arte.

La meridiana catottrica del Padre Bonfa

La meridiana a riflessione del *Lycée Stendhal* di Grenoble (45°10'18"N, 5°43'21"E), costruita nel 1673 dal padre gesuita Jean Bonfa (1638-1724) (Savoia 2009, p. 102), verrà di seguito descritta e analizzata in ambiente digitale con un approccio di tipo proiettivo. Sul teologo gesuita e professore di matematica Jean Bonfa si hanno poche informazioni biografiche: nacque il 30 maggio 1638 a Nîmes ed entrò nella Compagnia di Gesù il 31 gennaio 1654. Insegnò matematica (e successivamente teologia) nei collegi dell'Ordine di Grenoble (dal 1670) e di Avignone (dalla fine 1670 al 1683), nonché i principi della geometria e dell'idrografia come professore reale presso l'Arsenale di Marsiglia (1680-1682). Collaborò con gli astronomi dell'*Académie Royale des Sciences* di Parigi, di cui divenne membro corrispondente nel 1699; pubblicò opuscoli e saggi sulle sue invenzioni e osservazioni astronomiche. Come cartografo, disegnò una mappa del Comtat Venaissin (un'antica regione situata nei pressi di Avignone), e nel realizzarla impiegò documenti locali e papali anti-francesi. I cartografi a lui successivi trascureranno questa eccezionale realizzazione (Sommervogel 1890, pp. 693-94).

Il *Lycée Stendhal* è il più antico liceo di Grenoble, il suo stesso edificio rivestendo un importante valore storico-urbano. La costruzione del complesso avvenne in diverse fasi, l'attuale scuola facendo parte inizialmente del *Collège des Jésuites*. Molti studiosi ritengono che la meridiana di padre Bonfa sia stata influenzata da alcuni trattati di epoca seicentesca, tra i quali quello di Athanasius Kircher (1602-1680) (Kircher 1635), di Emmanuel Maignan (1601-1676) (Maignan 1648) e, non ultimo, dal manoscritto di Ignace Gaston Pardiès (1636-1673) (Pardie 1662).

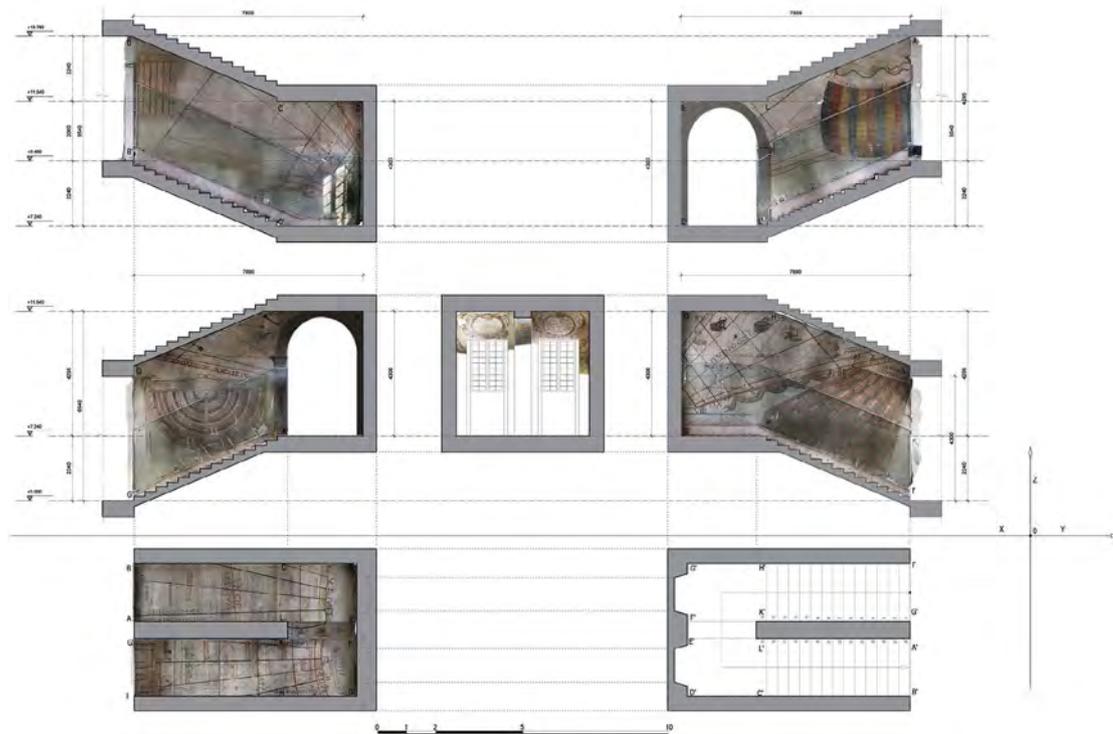
Nel febbraio 2022 ne è stato effettuato un rilievo da parte dell'Università Iuav di Venezia con l'obiettivo



1.
 Lycée Stendhal
 di Grenoble, la
 sezione trasversale
 solare il 26 febbraio
 2022
 (elaborazione
 grafica Ho Trong
 Nhan).

2.
 Modello 3D
 texturizzato
 della meridiana
 a riflessione
 di Grenoble
 (elaborazione
 grafica Ho Trong
 Nhan).

1.



di verificare, simulandolo digitalmente, il funzionamento dell'orologio solare catottrico. La campagna si è articolata in due fasi: la prima ha previsto la misurazione delle dimensioni generali del vano scala, utilizzando metodologie di rilievo diretto e trilaterazioni, al fine di calcolare la configurazione complessiva delle relative rampe, gradini, nonché la larghezza e l'altezza del vano finestrato, posto sul ballatoio. Oltre a queste misurazioni, le fotografie acquisite durante il rilievo hanno contribuito a ricostruire il *digital twin* tridimensionale della meridiana a riflessione, grazie a metodi di fotogrammetria multistereio.

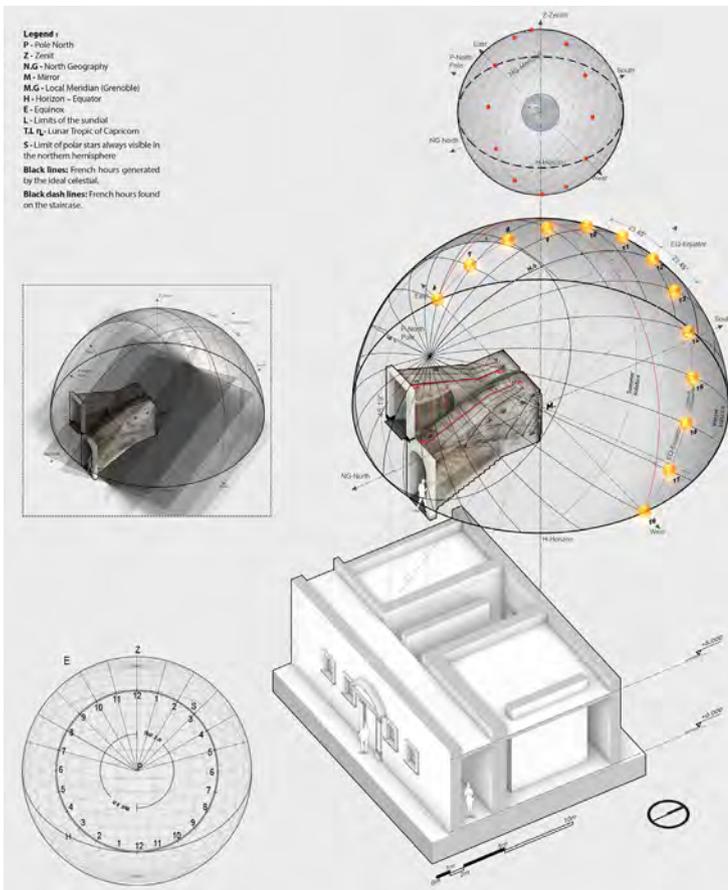
La meridiana, costruita da Padre Bonfa nel 1673, è composta da un insieme di pitture murarie di gusto barocco, tracciate sulle pareti e sul soffitto del vano scala che collega il primo piano al secondo dell'edificio. Per leggere il trascorrere del tempo attraverso di essa, è necessario seguire il movimento della luce del Sole riflessa nella parte alta del vano (corrispondente alle posizioni dell'astro dall'alba a mezzogiorno) e poi nella parte inferiore (corrispondente al periodo che va da mezzogiorno al tramonto). Il riflesso dei raggi solari su due specchi, posizionati sui davanzali delle finestre presenti nel pianerottolo della scala, crea le macchie di luce (*maculae*) sulle pareti e sul soffitto. L'opera di padre Jean Bonfa, che misura complessivamente 100 mq circa, comprende diversi sistemi orari: le Linee Orarie alla Francese, quelle Babiloniche e Italiche, i dodici mesi del calendario solare, i dodici Segni dello Zodiaco rappresentati con immagini simboliche e, infine, le quattro stagioni dell'anno: *Aestas*, *Autumnus*, *Hibernum* e *Ver* [figg. 1, 2]. Durante lo studio dell'orologio solare è stato adottato un metodo di verifica digitale basato su una sfera astronomica ideale, costituita da enti geometrici fondamentali (fasci e stelle di piani, coni coassiali a vertice comune), adattata alla latitudine del luogo.

Il Sistema Orario Francese (utilizzato in Francia a partire dal 1500) prevede la suddivisione dell'arco della giornata in 24 ore di pari durata, contate a partire dalla mezzanotte: nell'orologio di Grenoble la serie di riferimenti è costituita da curve dipinte '*mixto colore*', cioè in grigio scuro o 'fango di Parigi'. Linee più sottili indicano le mezze ore, realizzate per ottenere una maggiore precisione nella lettura del trascorrere del tempo. La parete occidentale, a partire dal primo gradino, indica l'ora del mattino, mentre quella a est, dal secondo gradino in poi, rappresenta l'ora della sera. Il sottile setto centrale mostra tabelle e grafici da ambo i lati, utili alla conversione dell'ora solare/lunare e ad altri computi. La lettura dell'orario, quando il riflesso di luce si trova tra due linee vicine, viene stimata con una certa approssimazione. In ambiente digitale, il tracciato orario alla Francese è stato ottenuto ruotando

dei piani luminosi attorno al polo Nord della sfera virtuale in multipli di 15°, a partire dal piano meridiano indicante il mezzogiorno. Le intersezioni tra questi piani luminosi e le superfici architettoniche hanno generato le linee orarie alla Francese dell'orologio [fig. 3].

Nel sistema orario Babilonico, il conteggio delle ore inizia dal sorgere del Sole, secondo un'antica prassi in uso proprio presso i Babilonesi. L'intervallo tra due albe è diviso in 24 ore uguali, numerate nel quadrante di Grenoble attraverso numeri arabi. La combinazione delle linee orarie dei sistemi Babilonico e Francese permette di calcolare gli orari di alba e tramonto, mentre le linee orarie di questo sistema permettono di stabilire da quanto tempo il Sole è sorto e quanto ancora manca al suo tramontare. Nella meridiana a riflessione di Grenoble, queste linee sono dipinte di giallo e, come già osservato, numerate con cifre arabe. La ricostruzione digitale del sistema delle ore Babilonesi ha generato, a partire dall'orizzonte, 24 cerchi sulla sfera celeste ideale, sempre visibili nell'emisfero settentrionale. Questi cerchi, sono stati creati attraverso rotazioni progressive di 15° del piano dell'orizzonte attorno all'asse polare. Come nel caso delle ore alle Francese, quelle Babilonesi all'interno della meridiana di Grenoble sono state definite attraverso l'intersezione tra le pareti del vano scale e il fascio di piani ruotati a partire dall'orizzonte [fig. 4].

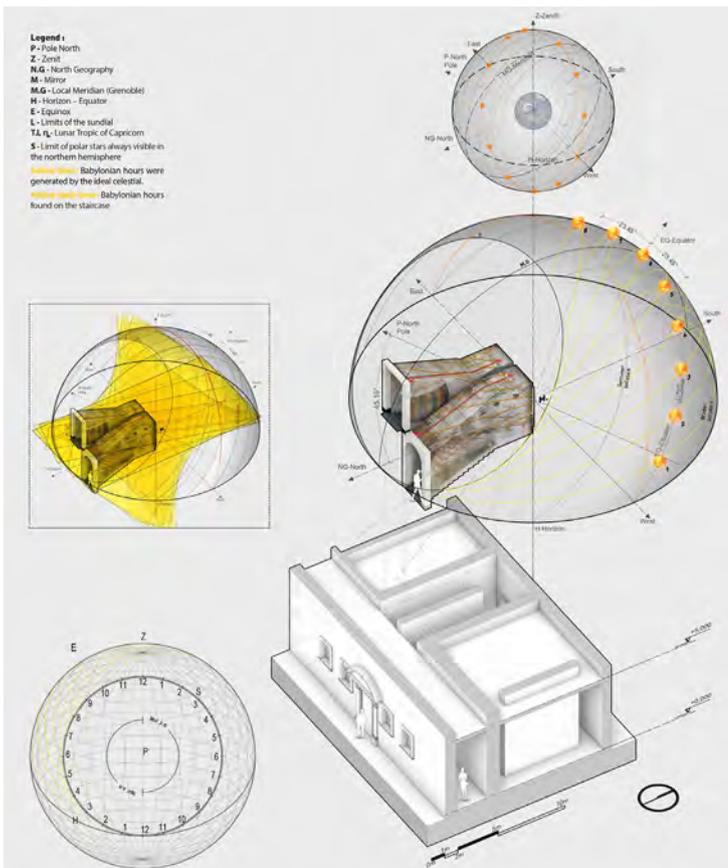
Le ore Italiche sono ore equinoziali, contate a partire dall'ultimo tramonto: quindi l'ora Italica 0:00 si registra al calar del Sole. L'intervallo tra due tramonti è suddiviso in 24 ore uguali, definite con numeri arabi sul quadrante del *Lycée Stendhal*. Nel contesto della meridiana di Grenoble, Padre Bonfa ha fornito un'indicazione relativa ai grafismi di questo sistema attraverso l'iscrizione *ROMANE RVBRAM* (rosso per Roma). Queste linee orarie presentano una costruzione simmetrica, rispetto al meridiano, a quella del sistema Babilonico. La coesistenza del sistema orario Italico e Babilonico all'interno della meridiana consente di determinare il numero di ore trascorse dal tramonto e dall'alba. Nel modello digitale il tracciato orario Italico è stato ottenuto ribaltando di 180° quello Babilonese, e considerando come asse del ribaltamento la linea meridiana. Le ore sono solitamente indicate con numeri romani e indicate dall'ora I fino alla XXIV sull'orizzonte. Nel processo di simulazione digitale, è stata ricreata una sfera celeste ideale associata alla latitudine di Grenoble, dove le curve del sistema Italico sono cerchi che si formano ruotando il piano dell'orizzonte, con incrementi progressivi di 15°, attorno all'asse polare; i 24 piani luminosi così ottenuti sono stati intersecati con le superfici architettoniche della scala, generando in tal modo le linee orarie del sistema italico [fig. 5].



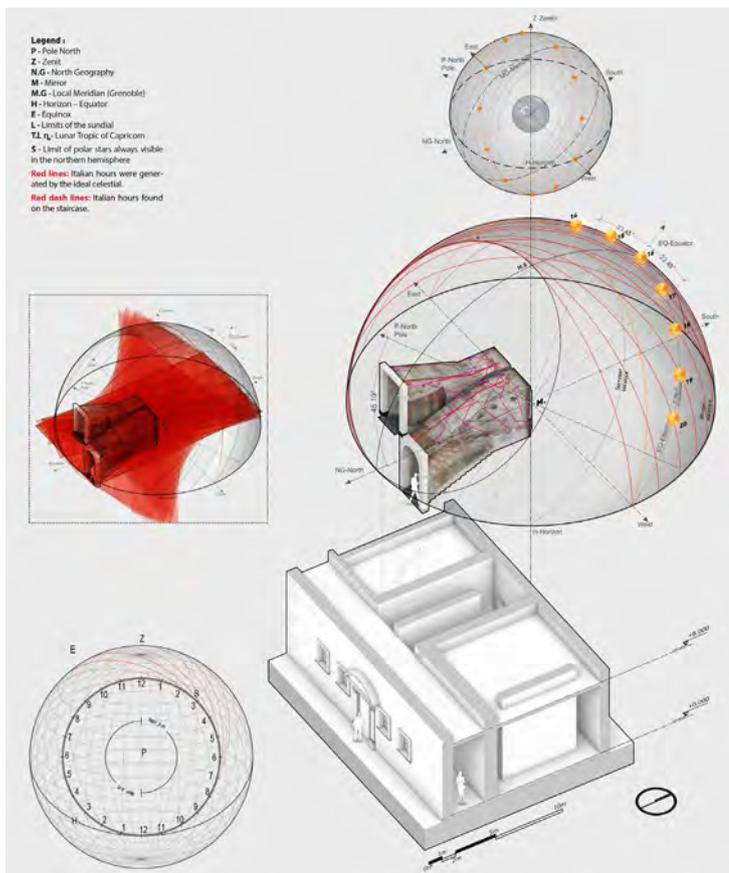
3.

3. Analisi dei tracciati delle linee orarie alla Francese sulla meridiana a riflessione di Grenoble, a sinistra il fascio di piani di luce che sono stati intersecati con le pareti della scala (elaborazione grafica Ho Trong Nhan).

4. Analisi dei tracciati delle linee orarie Babilonesi sulla meridiana a riflessione di Grenoble, a sinistra il fascio di piani di luce che sono stati intersecati con le pareti della scala e la proiezione ortogonale della sfera celeste (elaborazione grafica Ho Trong Nhan).



4.



5. Analisi dei tracciati delle linee orarie Italiane sulla meridiana a riflessione di Grenoble, a sinistra il fascio di piani di luce intersecati con le pareti della scala e la proiezione ortogonale della sfera celeste (elaborazione grafica Ho Trong Nhan).

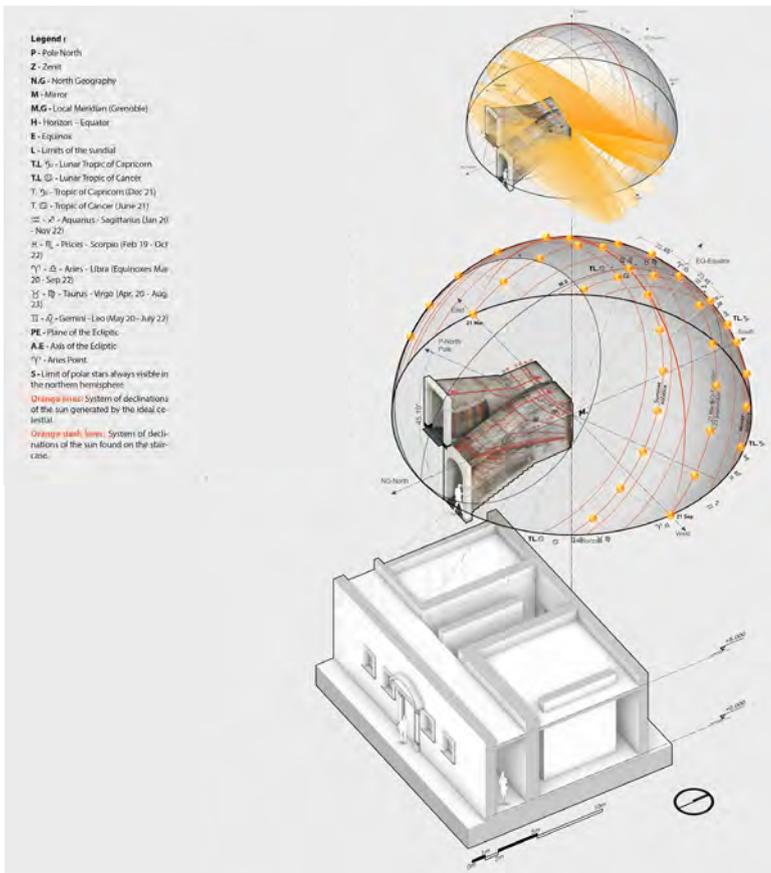
Negli orologi solari sono sempre indicate due date specifiche: il 21 giugno (solstizio d'estate) e il 21 dicembre (solstizio d'inverno). Queste date coincidono con la massima e minima altezza del Sole rispetto all'orizzonte durante l'anno, con conseguente massimo e minimo numero di ore di luce. Come è noto, la declinazione del Sole subisce variazioni nel corso dell'anno, dando luogo a traiettorie curvilinee (rami di iperbole) tracciate sul quadrante dalla macula luminosa dall'alba al tramonto. Nell'orologio del *Lycée Stendhal* la curva che rappresenta il solstizio d'estate (22 giugno) è prossima alle finestre, mentre quella relativa al solstizio dell'inverno (23 dicembre) è il più lontana: la macula durante l'anno si muove tra queste due curve. La rappresentazione della progressione del tempo sulla sfera celeste è spesso associata ai simboli dello Zodiaco: esso comprende una fascia definita da due cerchi paralleli, posizionati a una distanza angolare di $8^{\circ}30'$ su entrambi i lati dell'eclittica. Nella ricostruzione digitale sono state ottenute le linee di declinazione del Sole durante l'anno, intersecando le superfici architettoniche con coni luminosi (o coni solari) coassiali, il cui vertice comune è stato posto al centro dello specchio e il cui asse è stato orientato secondo la latitudine di Grenoble [fig. 6].

La meridiana catottrica di Grenoble mostra anche le Dodici Case Astrologiche, note anche come Case

Celesti. Nel modello digitale, la proiezione delle Case Celesti nello spazio architettonico interno è stata ottenuta, come di consueto, considerando *in primis* la sfera celeste ideale. La simulazione eidomatica di queste Case ha previsto l'intersezione del vano scala con un fascio di dodici piani, ciascuno caratterizzato da un angolo di rotazione di 30° e con asse orientato verso il nord [fig. 7].

Oltre ai tracciati orari descritti, l'orologio solare fornisce informazioni sul calendario lunare, utili a determinare l'età del satellite rispetto al Sole. Infatti, in alcuni periodi del mese, i raggi lunari riflessi possono essere osservati sotto forma di una debole macula all'interno del vano scale. Oltre a progettare l'intricato sistema di linee orarie, padre Jean Bonfa riportò nella meridiana di Grenoble anche importanti tavole astronomiche che aggiornavano le scoperte celesti del suo tempo: *Calendarium Marianum*, *Horologium Vniversale* (entrambi sulla parete laterale ovest); *Horologium Novu In Quo Lunae Per Sole* e *Calendarium Soc. Iesu* (entrambi sulla parete centrale est); *Novum Kalender Civil Lunae* (parete centrale ovest); tavole dell'epatta e *Calendarium Regium* (parete est) [fig. 8].

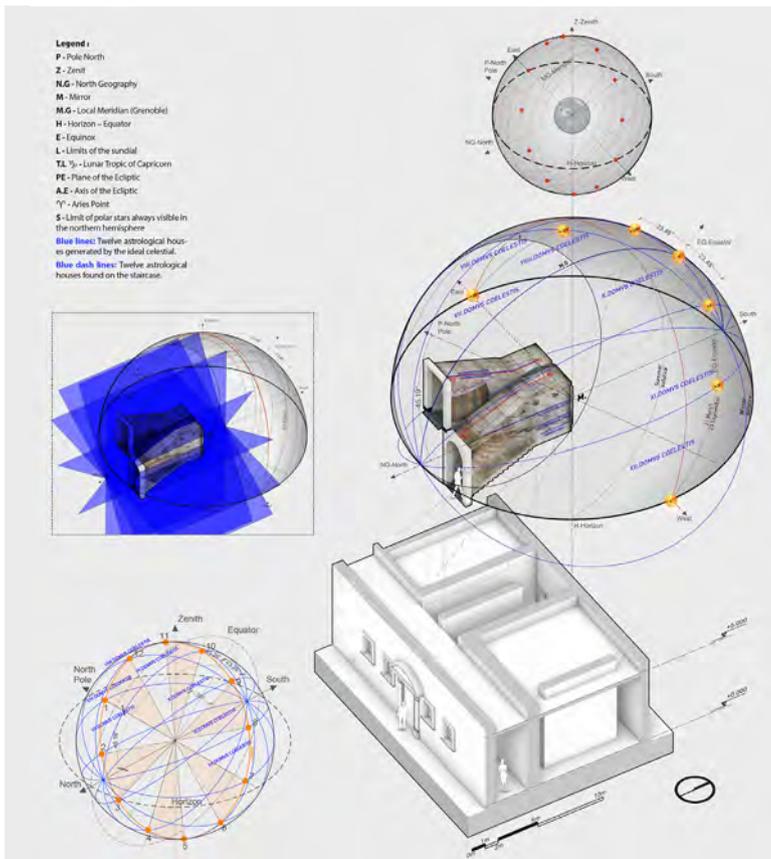
L'*Horologium Vniversale* [fig. 9] svolge un ruolo cruciale nella determinazione dell'ora nelle città in cui si trovavano le istituzioni educative dei Gesuiti. Sebbene le iscrizioni sulla tavola si siano sbia-



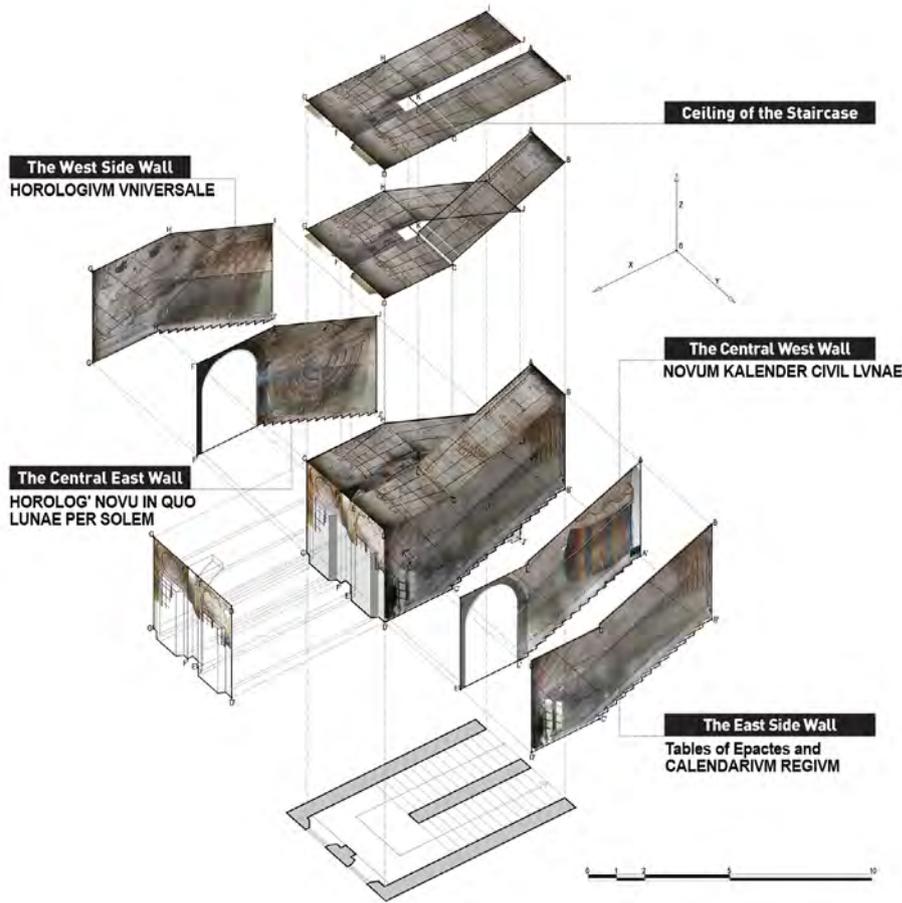
6.

6. Analisi delle linee di declinazione del Sole sulla Meridiana a riflessione di Grenoble con i Segni Zodiacali, in alto i coni di luce intersecati con le pareti della scala (elaborazione grafica Ho Trong Nhan).

7. Analisi delle case celesti sulla meridiana a riflessione di Grenoble, a sinistra il fascio di piani di luce che sono stati intersecati con le pareti della scala e la rappresentazione astronomica delle Case Celesti sulla meridiana a riflessione (elaborazione grafica Ho Trong Nhan).



7.

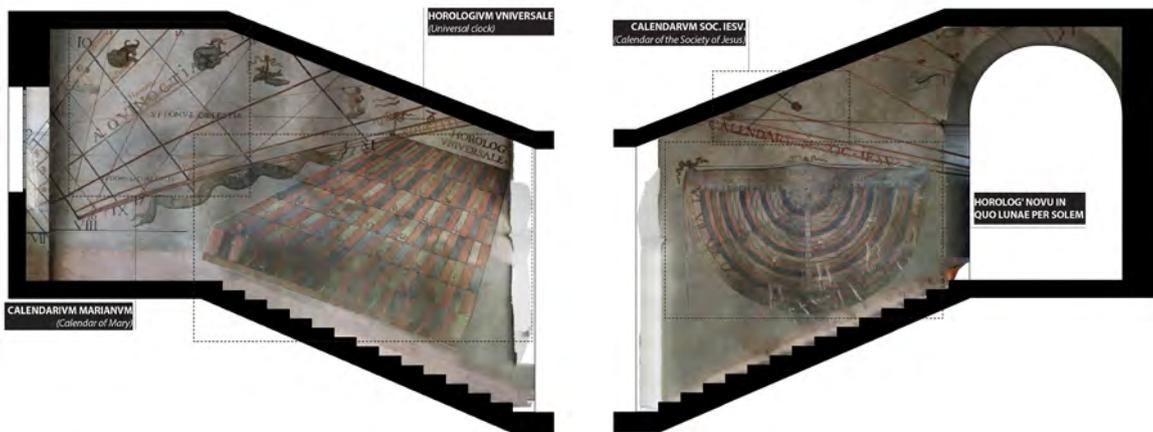


8. Vista assonometrica esplosa con texture della meridiana a riflessione di Grenoble con l'identificazione dei diversi diagrammi astronomici (elaborazione grafica Ho Trong Nhan).

9. HOROLOGIVM VNIVERSALE (orologio universale) e il CALENDARIVM MARIANVM (calendario di Maria) sulla parete ovest della Meridiana a riflessione di Grenoble (elaborazione grafica Ho Trong Nhan).

10. HOROLOG' NOVUM IN QUO LUNAE PER SOLEM e il CALENDARIVM SOC. IESV (calendario della Società di Gesù) sulla parete centrale est della Meridiana a riflessione di Grenoble (elaborazione grafica Ho Trong Nhan).

8. Vista assonometrica esplosa con texture della meridiana a riflessione di Grenoble con l'identificazione dei diversi diagrammi astronomici (elaborazione grafica Ho Trong Nhan).



9.

10.

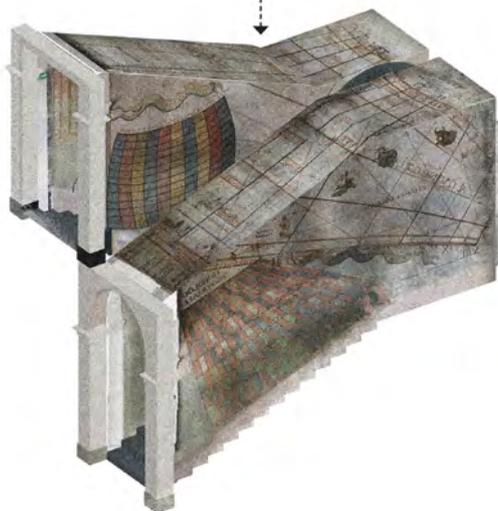
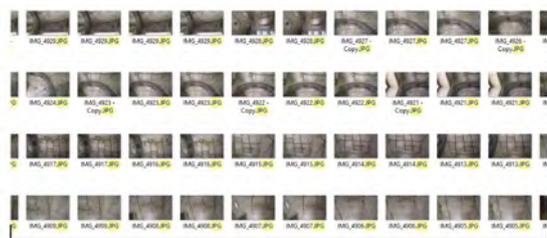
dite con il tempo e le informazioni su città, paesi e nazioni siano andate perdute, possiamo ancora comprenderne i principi di funzionamento e la sua importanza. Il tabellone trapezoidale è diviso in 24 colonne e 8 righe, dove ogni colonna trapezoidale rappresenta un quarto d'ora. L'*Horologium Novum In Quo Lunae Per Sole* comprende 17 semicerchi concentrici equidistanti tra loro che racchiudono 16 aree colorate, si estende per una lunghezza pari alla profondità di dieci gradini (circa 3,5 metri), [fig. 10]. Questa tavola offre diverse applicazio-

ni pratiche: permette di determinare la posizione della Luna in base alla posizione del Sole e l'ora del Sole in base al giorno e all'ora della Luna. Il *Calendarium Soc. Iesu* ha un significato particolare per l'Ordine religioso di appartenenza di Bonifa: sarebbe stato lui stesso, infatti, ad incidere su questa parete i nomi di importanti confratelli del passato. Sebbene il passare del tempo abbia influito sullo stato di conservazione delle iscrizioni, due nomi sono rimasti inalterati: San Francesco Saverio, uno dei fondatori della Compagnia di Gesù (la cui festa si celebra

il 3 dicembre) e Padre Régis, nato il 31 gennaio 1616 e canonizzato nel 1737. Per utilizzare l'*Horologium Novum*, è essenziale capire la posizione e le fasi della Luna, anche quando essa non è visibile: per ovviare a questo problema, Bonfa dipinse una tavola delle epatte (dal 1674 al 1689) e un *Novum Kalender Civil Lunae* sulla parete est. Il *Calendarium Regium* (Calendario del Re) fu istituito durante il regno di Luigi XIV (durato ben 72 anni), noto anche come Re Sole. Il calendario di Grenoble commemora eventi significativi del suo primo regno, come la Guerra di Devoluzione (1667-1668) e le campagne militari nelle Fiandre.

Applicazioni interattive AR e VR, un ponte con il passato attraverso l'innovazione digitale

Il progetto di ricerca ha offerto l'opportunità di valorizzare l'antico astrolabio di Grenoble, oltre che attraverso un suo rilievo scientifico, anche con l'impiego di tecnologie immersive 3D. Come precedentemente delineato, in questa ricerca è stata eseguita una dettagliata analisi dell'orologio solare del *Lycée Stendhal* grazie alla realizzazione di un *digital twin*, ricostruito attraverso tecniche fotogrammetriche sulla base di circa 300 foto scattate durante il rilievo [fig. 11]. I risultati hanno permesso di confrontare la ricostruzione geometrica attraverso l'utilizzo di una simulazione ideale della sfera celeste con il modello 3D dello stato di fatto. Questo confronto ha consentito di valutare il livello



di precisione raggiunto da Padre Bonfa durante il processo di realizzazione del suo orologio. Le note che seguono vogliono invece suggerire al lettore il ruolo che le tecnologie di realtà aumentata e di virtualizzazione possono svolgere nel processo di diffusione, ad un pubblico di non specialisti, delle conoscenze storiche e astronomiche legate alle meridiane a riflessione.

Sulla base della ricostruzione digitale, sono state create due versioni interattive tridimensionali della meridiana: un modello 3D, visualizzabile online attraverso la realtà virtuale (VR) (Jerald 2015, p. 9), nel quale le spiegazioni interattive accompagnano l'esplorazione del manufatto, e una pagina AR nel social network *Instagram* (Eugeni 2022), al fine di rendere l'antico astrolabio più visibile anche ad un pubblico di non specialisti. Considerando che questa meridiana era stata concepita per un *milieu* di studiosi nel XVII secolo, si desume che essa veicolasse necessariamente le conoscenze dell'epoca in materia di astronomia e gnomonica, sfruttando il potere ammaliatore dell'arte della meraviglia². Tutt'oggi, un visitatore comune potrebbe decifrare con difficoltà questi spazi; ed è da questa semplice constatazione che è nata l'idea di utilizzare modelli interattivi digitali, con esplicite finalità: quelle di rappresentare e far comprendere visivamente i complessi livelli di informazioni racchiusi nei tracciati lineari e nelle tavole astronomiche dipinte sulle pareti e i soffitti di questo capolavoro dell'astrolabica.

Il visualizzatore di modelli 3D online (VR) sulla piattaforma *Sketchfab*³ offre un'esperienza immersiva, con approfondimenti completi sugli affreschi e sui principi di funzionamento dell'orologio (Savoie 2009, p. 102), consentendo agli utenti di scoprire facilmente i dettagli scientifici e il contesto storico racchiusi nel quadrante a riflessione⁴. In secondo luogo, è stato creato un account *Instagram AR* per aumentare la visibilità dell'opera del Padre Bonfa, esportabile anche su altre piattaforme *social media*. Questo tentativo di divulgazione aveva come scopo il miglioramento dell'attrattività del sito, incoraggiando più persone a visitare la meridiana del *Lycée Stendhal*. L'esperienza è facilmente accessibile tramite l'account *Instagram @invisible.gem.iuav.ma.tesi*. Questi due strumenti digitali forniscono una grande quantità di informazioni: dettagli sull'eclittica e sui segni zodiacali, spiegazioni sui diversi sistemi temporali (ad ore Francesi, Italiane e Babiloniche), descrizioni dei vari grafismi e dei calendari affrescati all'interno della scala, e così via. La complessità della meridiana viene declinata in contenuti altamente specialistici ma, per quanto possibile, resi di facile comprensione [fig. 12].

La versione digitale interattiva (AR) fornisce un metodo di apprendimento diretto: i visitatori pos-

11. Il rilievo fotogrammetrico dell'orologio a riflessione di Grenoble è stato realizzato il 26 marzo 2022 (elaborazione grafica Ho Trong Nhan).

sono inquadrare, con i loro dispositivi *mobile*, gli elementi astronomici raffigurati sulle pareti e sul soffitto della scala, vedendo apparire sull'interfaccia annotazioni dettagliate sui contenuti e sulla storia dei dipinti delineati da Padre Bonfa. L'app *AR, in primis*, permette agli utenti di comprendere il principio base di funzionamento dell'orologio catottrico, ovvero la riflessione della luce solare sulle superfici architettoniche del vano scala, sperando la misurazione del tempo attraverso una sua simulazione virtuale [fig. 13]. Così, ad esempio, è possibile visualizzare il raggio riflesso nel giorno dell'equinozio di primavera (21 marzo), osservando sul display del proprio dispositivo mobile la luce del Sole che si riflette attraverso lo specchio virtuale, raggiungendo la corrispondente linea oraria alle 11:15. Inoltre, 'cliccando' su un simbolo, come il numero 3 dell'*HOROLOG' NOVU IN QUO LUNAE PER SOLEM* (tavola dell'orologio universale)⁵, l'applicazione fa apparire sul monitor una didascalia che ne descrive il significato astronomico, evidenziando come questi grafismi riflettano le conoscenze astronomiche raggiunte in quegli anni [fig. 14].

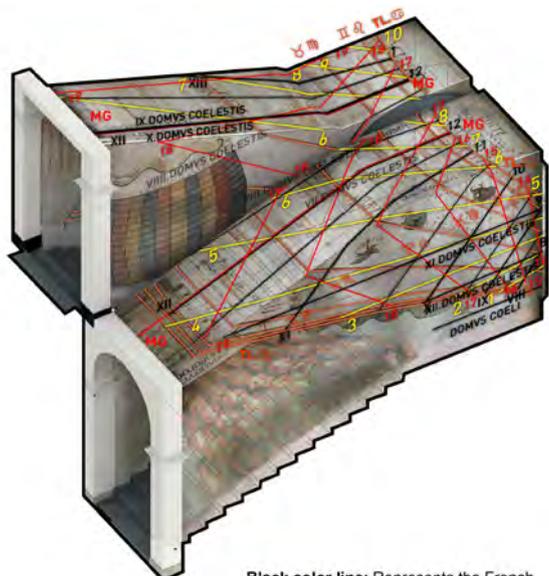
Un modello di realtà virtuale (*VR*) è stato invece importato nella piattaforma *Sketchfab*. Per costruire tale modello interattivo il processo di implementazione ha dovuto attenersi a linee guida specifiche⁶ per garantirne l'efficienza e la sua corretta interattività. In primo luogo, è stato necessario preparare il clone digitale dello spazio reale, esportandolo in formato FBX, OBJ o GLB. In una seconda fase, gli

utenti possono regolare con precisione alcune opzioni della sezione 'Impostazioni 3D', settando, ad esempio, l'illuminazione e lo sfondo per migliorare la visualizzazione dettagliata del modello. Nell'ultima fase del processo fruitivo è anche possibile aggiungere l'infografica per fornire informazioni puntuali sugli elementi che caratterizzano il quadrante.

Il modello *Instagram AR* è una versione semplificata del 3D poc'anzi descritto, in questo caso implementato con informazioni basilari. Come sottolineato in apertura di questo paragrafo, questa seconda simulazione digitale è stata pensata per raggiungere un maggior numero di persone sfruttando i *social media*, ma soprattutto per contribuire a far conoscere la meridiana ad un pubblico più esteso. Secondo le statistiche, 5.100 utenti di varie nazioni, tra cui Indonesia, India, Stati Uniti e Messico, hanno avuto accesso alla pagina di *Instagram* (statistiche registrate fino al 10 novembre 2024) [fig. 15]. In questa fase è stato utilizzato il software *Spark AR* per generare il modello in realtà aumentata (*AR*), partendo dalle mesh texturizzate ottenute grazie al rilievo fotogrammetrico. Anche in questo caso, è stata necessaria l'esportazione del *digital twin* in uno dei formati supportati (FBX, OBJ o GLB⁷) per garantirne la lettura all'interno di *Spark AR*. Per rendere fruibile il 3D, prima della sua pubblicazione in *Instagram*, si è resa necessaria la regolazione del suo posizionamento nello spazio virtuale, nonché la sua rotazione e scalatura, al fine di adattarlo alla prospettiva della fotocamera in modalità mobile. L'uso combinato di modelli 3D (*VR* e *AR*) e di video didattici, ha contribuito a migliorare l'accessibilità delle conoscenze ad un pubblico globale.

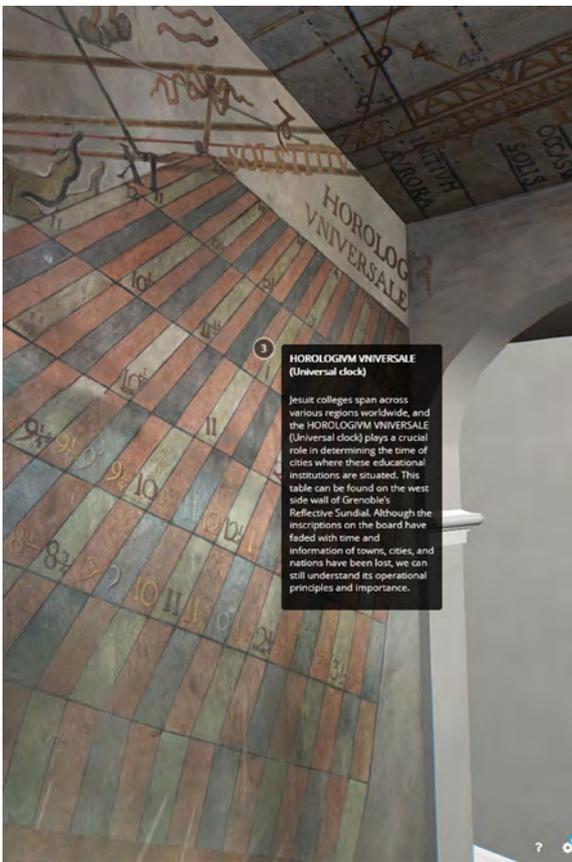
Va inoltre sottolineato come i modelli interattivi (*AR* e *VR*) offrano una ricca esperienza fruitiva, sia agli utenti *in loco* che a quelli da remoto, secondo una precisa strategia di valorizzazione e disseminazione dell'oggetto di studio e ricerca. Le relative funzionalità sono state necessariamente progettate per garantire che tutti potessero esplorare la meridiana del *Lycée Stendhal* in modo agevole. Per gli utenti *VR*, l'applicazione mobile interattiva consente di sperimentare l'orologio in tempo reale: sul proprio dispositivo mobile o attraverso un visore *VR*, i fruitori possono ruotare lo sguardo a 360° sferici all'interno del vano scala e visualizzare le spiegazioni relative ad ogni elemento raffigurato. Per fare un ulteriore esempio, quando lo spettatore clicca sul numero 4 del *Calendarium Marianum* (calendario di Maria), appare una nota che indica il significato di ciascuno dei simboli presenti sulla tavola. In tal modo, non solo i visitatori hanno contezza di ogni elemento che caratterizza l'astrolabio, ma anche del contesto storico e del valore scientifici-

12.
Il modello 3D della meridiana a riflessione del *Lycée Stendhal* con i sistemi orari evidenziati con differenti colori (elaborazione grafica Ho Trong Nhan).

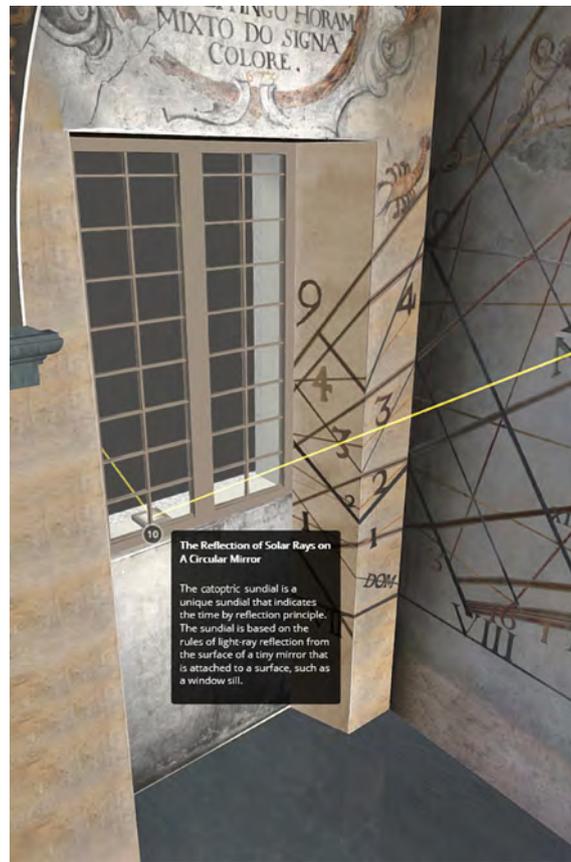


Black color line: Represents the French hour system, or equal time.
Yellow color line: line signifies the Babylonian hour since sunrise.
Red color line: Symbolizes the Italian time from sunset.
Bold black color line: Marks the limits of the Twelve Astrological Houses.

12.



13.



14.

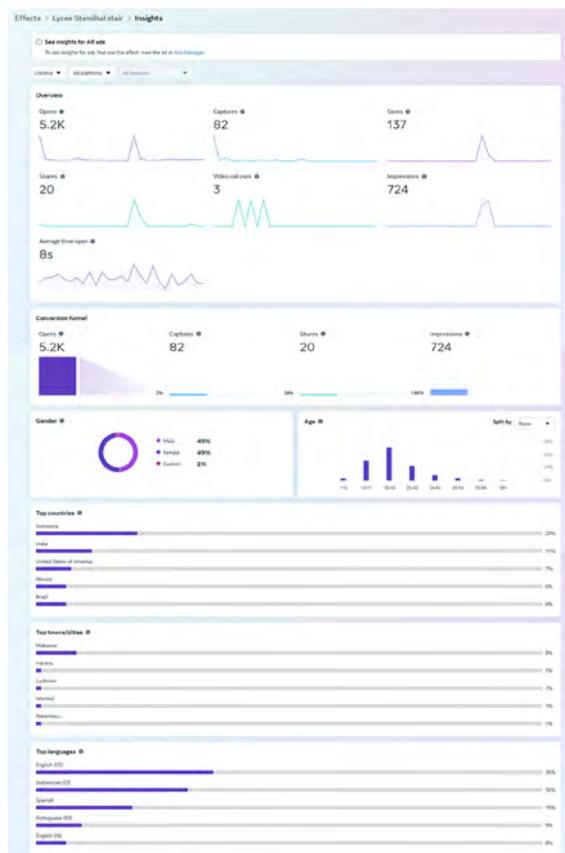
13. La simulazione della riflessione della luce solare il 21 marzo è stata generata attraverso il modello VR (elaborazione grafica Ho Trong Nhan).

14. Immagine dell' 'HOROLOG' NOVU IN QUO LUNAE PER SOLEM (l'orologio universale) estratta dalla versione digitale della meridiana a riflessione del *Lyceé Stendhal* (elaborazione grafica Ho Trong Nhan).

15. Statistica della visualizzazione AR in Instagram fino al 10 novembre 2024 (statistica tratta da Meta).

co di ogni dettaglio. Dall'altra parte, l'esperienza di realtà aumentata consente agli utenti di Instagram di esplorare l'astrolabio catottrico da lontano, eventualmente registrando e condividendo le schermate con altri *followers*. L'accessibilità e la condivisibilità della versione digitale dell'orologio contribuiscono dunque ad aumentarne la popolarità.

Nel contesto del *Digital Heritage*, gli applicativi VR e AR della meridiana del *Lyceé Stendhal* mostrano come i modelli digitali possano essere utilizzati per preservarne e diffonderne le conoscenze storiche e astronomiche aprendosi ad un pubblico potenzialmente più vasto. Il modello funge anche da strumento di ricerca, aiutando a tradurre le informazioni teoriche in un'esperienza interattiva. Idealmente, questa ricerca contribuirà a studi futuri su questo straordinario strumento di misurazione del tempo e su altri analoghi apparati scientifici. L'*Horologe Solaire* di Grenoble è un caso studio in grado di mostrare come le nuove tecnologie possano diventare un ponte tra educazione e intrattenimento, utile alla salvaguardia e valorizzazione del patrimonio culturale.



15.

Note

1. Il riferimento è qui a Claudio Tolomeo, *De Analemmate* (II sec. d.C., andato perduto), e in particolare all'edizione (da una copia araba) di F. Commandino, *Liber de analemmate* (Commandino 1562), (si veda: R. Sinisgalli, S. Vastola, 1992).
2. Possiamo quindi concordare con Rohr, quando afferma che "il più delle volte i quadranti dei soffitti negli orologi a riflessione devono essere stati realizzati per motivi di intrattenimento o di prestigio..." (Rohr 1990, p. 5).
3. "Nel mondo digitale, la piattaforma *Sketchfab* è considerata una delle piattaforme leader per i modelli 3D..." (Bejdić 2024, p. 1–6).
4. Il *virtual tour* può essere visitato in: <https://portfolio.hotrongnhan.org/projects/the-invisible-gem-of-horloge-solaire-du-lyc%C3%A9e-stendhal> (ultimo accesso 16 novembre, 2024).
5. Per la descrizione online del *Cadran solaire du lycée Stendhal* à Grenoble si veda: http://michel.lalos.free.fr/cadran_solaires/autres_depts/isere/lycee_stendhal/cs_lycee_stendhal.html (ultimo accesso 16 novembre, 2024).
6. Per maggiori dettagli si consulti *Sketchfab*. The Official Guide to 3D Configurators: https://static.sketchfab.com/pages/whitepapers/Sketchfab_White_Paper_3D_Configurator.pdf (ultimo accesso 18 novembre, 2024).
7. <https://spark.meta.com/learn/tutorials/create-your-first-effect/> (ultimo accesso 18 novembre, 2024).

Bibliografia

- Bejdić P. (2024). 3D Models and Sketchfab Platform as a New Tool in Veterinary Anatomy Education. In *Journal of Science and Technology*, n. 2(11), pp. 1-6
- Bortot A. (2020). *Emmanuel Maignan e Francesco Borromini. Il progetto di una villa scientifica nella Roma barocca*. Siracusa: LetteraVentidue.
- Commandino F. (1562). *Liber de analemmate, a Federico Commandino Vrbinatè instauratus & commentariis illustratus*. Roma.
- De Rey Pailhade J., Rome, A., & Favot, A. (1920). Le cadran solaire du lycée de jeunes filles de Grenoble. In *Bulletin de la Société de Statistique de l'Isère*, 4e série, XV, pp. 194-210.
- De Rey-Pailhade J., Rome A., Favot A. (1921). *Le Cadran Solaire Du Lycée De Jeunes Filles De Grenoble*. Grenoble: Joseph Allier.
- De Rosa A. (edited by) (2019). *Roma anamorfica. Prospettiva e illusionismo in epoca barocca*. Roma: Aracne.
- De Rosa, A. (edited by) (2013). *Jean François Nicéron. Prospettiva, catottrica e magia artificiale*. Roma: Aracne.
- Eugeni R. (2022). Augmented Reality Filters and the Faces as Brands: Personal Identities and Marketing Strategies in the Age of Algorithmic Images. In Herausgeber G. (edited by). *Social Computing and Social Media Applications in Education and Commerce*. 14th International Conference, SCSM 2022, Held as Part of the 24th HCI International Conference, HCII 2022 Virtual Event, June 26 - July 1, 2022 Proceedings, Part II, pp. 223-234. Cham: Springer.
- Friedelmeyer J.-P. (2010). L'impulsion originelle de Poncelet dans l'invention de la géométrie projective, in *Éléments d'une biographie de l'espace projectif*, p.55-158. Bioesmat-Martagon Lise: Presses universitaires de Nancy.
- Gagnaire P. (2012). L'orloge luni-solaire du père Bonfa. In *Cadran Info*, n. 25, pp. 32-49.
- Jerald J. (2015). *The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality*. New York: Association for Computing Machinery and Morgan & Claypool.
- Kircher A. (1635). *Primitive Gnomonicae Catoptricae, hoc est horologiographiae novae specularis*. Avignone: ex typographia I. Piot.
- Maignan E. (1648). *Perspectiva Horaria Sive De Horographia Gnomonica Tum Theoretica Tum Practica Libri Quatuor*. Roma: Typis & Expenses Philippi Rubie.
- Nhan H. T. (2023). *The Invisible Gem of Horloge Solaire Du Lycée Stendhal*. Tesi di laurea magistrale, relatore: prof. A. De Rosa, correlatore: prof. A. Bortot. Università Iuav di Venezia, non pubblicata.
- Pardiès I.-G. (1662). *Horologium thamanticum duplex*. Notebook
- Poncelet J. V. (1865). *Traité des propriétés projectives des figures*. Parigi: Gauthier-Villards.
- Rohr René R. J. (1990). On Reflected Ceiling Dials. In *The British Sundial Society Bulletin*, n. 90(3), p. 5-11.
- Savoie D. (2009). *Sundials: Design, Construction, and Use*. Berlino: Springer-Verlag.
- Sinisgalli R., Vastola S. (1992). *L'analemma di Tolomeo*. Florence: Cadmo/editorial necklace Domus perspectivae.
- Sommervogel C. (edited by). (1960). *Bibliothèque De La Compagnie De Jesus. Nouvelle édition par Carlos Sommervogel. Bruxelles-Paris 1890-1900*. Réimpression anastatique augmentée de références en manchette, vol. 1, p. 693-694. Bruxelles: Editions de la Bibliothèque S.J., Collège philosophique et théologique.
- Taton R. (1951). *La géométrie projective en France de Desargues à Poncelet*, conference held to the Palais de la Découverte, the 17th of February 1951, Parigi: Université de Paris.
- Webster A., et al. (2000). Augmented Reality in Architectural Construction, Inspection, and Renovation. In Vanegas J., Chinowsky P. (edited by). *Proceedings of the 1996 ASCE Congress on Computing in Civil Engineering*. Anaheim, 1996, pp. 913-919. New York : American Society of Civil Engineers.

Sitografia

<https://spark.meta.com/learn/tutorials/create-your-first-effect/> (accessed November 18, 2024).

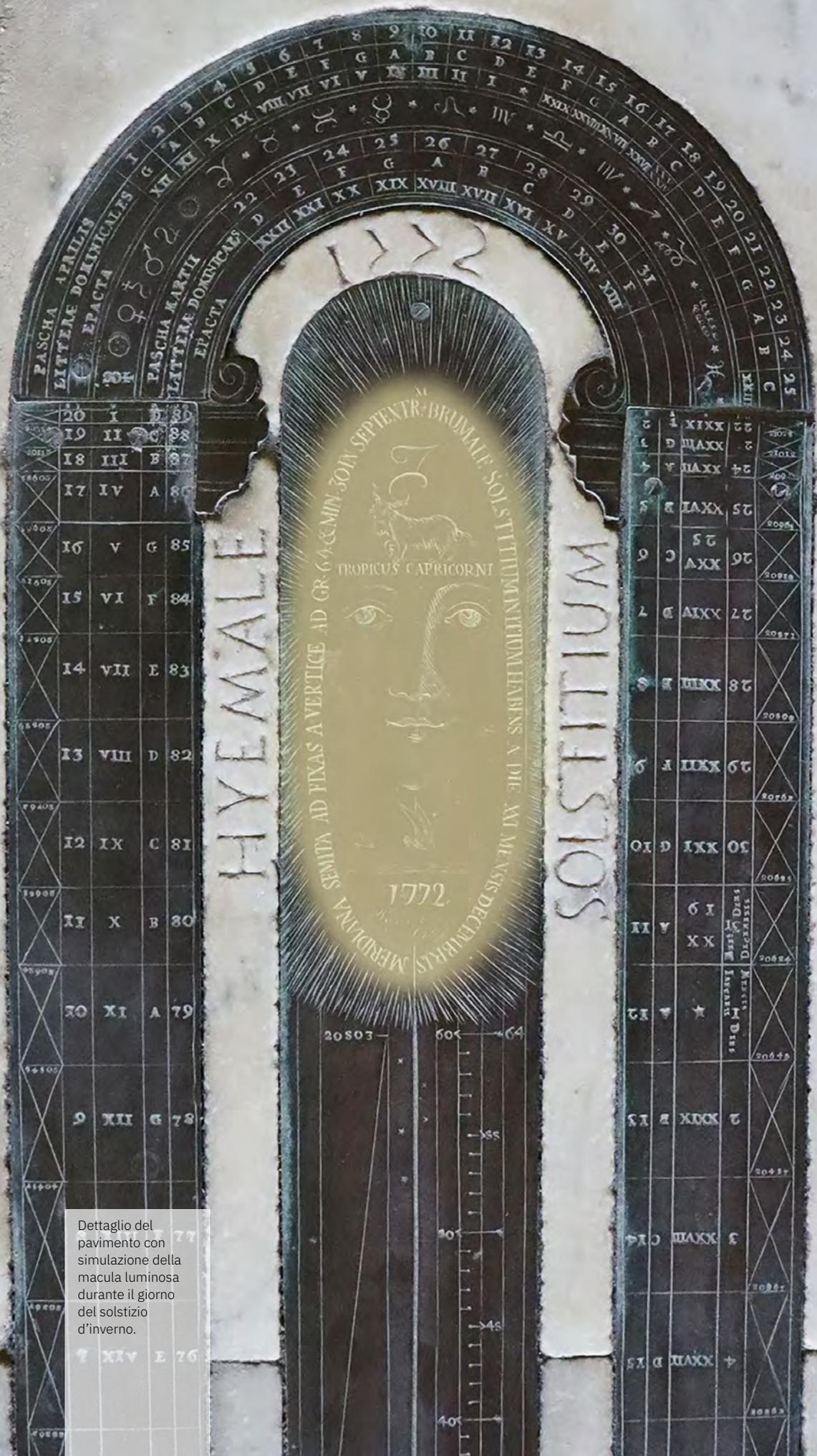
http://michel.lalos.free.fr/cadrans_solaires/autres_depts/isere/lycee_stendhal/cs_lycee_stendhal.html (accessed November 16, 2024).

https://static.sketchfab.com/pages/whitepapers/Sketchfab_

[White_Paper_3D_Configurator.pdf](#) (accessed November 18, 2024).

<https://www.youtube.com/watch?v=E38LwUgB-Ghw&t=96s> (accessed November 18, 2024).

<https://www.metashape-la.com/en/home/> (accessed November 16, 2024).



DIE 21. DECEMBRIS



Dettaglio del pavimento con simulazione della macula luminosa durante il giorno del solstizio d'inverno.

La meridiana della Certosa di San Martino: accessibilità culturale e valorizzazione con la Realtà Virtuale

Abstract

Il rapporto tra astronomia e architettura ha da sempre influenzato la storia dello spazio costruito, offrendo una chiave di lettura per interpretare le relazioni tra geometria, movimenti degli astri e progettazione umana. Gli strumenti gnomonici rappresentano esempi straordinari di questa connessione poiché traducono fenomeni celesti in segni comprensibili a scala umana. Questo studio analizza il caso della meridiana della Certosa di San Martino e esamina come la realtà virtuale può valorizzarne il significato storico e scientifico fornendo nuove modalità di fruizione inclusiva e interattiva.

The relationship between astronomy and architecture has always shaped the history of built spaces, providing a way to interpret the connections between geometry, celestial movements, and human design. Gnomonic instruments exemplify this link, translating celestial phenomena into readable, human-scale markers. This study examines the camera obscura sundial of the Certosa di San Martino and explores how virtual reality enhances its historical and scientific significance, enabling new, inclusive, and interactive ways of engagement.

Parole chiave

Gnomonica
Astronomia di posizione
Meridiana
Realtà virtuale
Animazione

Laura Papa
Università di Bari "Aldo Moro"
→ laura.papa@uniba.it

Introduzione

Il cielo è da sempre stato oggetto di fascino per l'uomo: infatti è proprio dall'osservazione di quest'ultimo che si origina l'astronomia, ossia la scienza che studia i corpi celesti e i fenomeni a essi relativi. Questa scienza fin dall'antichità ha profondamente influenzato la cultura e l'architettura rendendo possibile lo sviluppo conoscenze che si riflettono in strumenti materiali come gli orologi solari, testimoni concreti del dialogo tra i movimenti dei corpi celesti, il sapere tecnico e lo spazio costruito. Questi artefatti incarnano la capacità di tradurre fenomeni complessi in segni visibili e comprensibili a scala umana, e sono stati fondamentali per la scansione del tempo quotidiano ed annuale. La Certosa di San Martino a Napoli rappresenta un esempio significativo di questa relazione tra astronomia, geometria e architettura, poiché suo interno sono presenti diversi sistemi cronometrici misurati da un orologio meccanico e tre diverse tipologie di orologi solari inseriti armoniosamente nel contesto architettonico (Pagliano, Murolo, Santoro, 2014). Nel Chiostro Grande è possibile osservare sia l'orologio meccanico che l'orologio monumentale a quadrante verticale, probabilmente più noto, fondamentale per scandire i ritmi della vita diurna certosina, rispettivamente posizionati sul lato destro e sul lato sinistro della

facciata [fig. 1]. Meno conosciuti invece sono i due più particolari: l'orologio marmoreo a quadrante multiplo [fig. 2] e la meridiana a camera oscura [fig. 3]. Quest'ultima, progettata da Rocco Bovi, rappresenta un capolavoro sia per la complessità del suo funzionamento sia poiché coniuga astronomia, arte e spiritualità. È indicativo infatti il posizionamento della meridiana all'interno della biblioteca del Quarto del Priore, luogo di studio e meditazione destinato ai soli monaci. La Certosa di San Martino quindi, con i suoi orologi solari, risulta essere un caso studio ottimale per esplorare e approfondire il rapporto tra astronomia, architettura e geometria che risulta evidente soprattutto nella meridiana, strumento denso di informazioni e dettagli. Attraverso questa ricerca si intende quindi dimostrare come l'applicazione delle tecnologie digitali sia non solo in grado di rendere accessibile un patrimonio spesso inaccessibile, ma permetta anche di stimolare una riflessione più profonda sul valore scientifico e culturale del sapere astronomico, contribuendo al dialogo tra passato e futuro e favorendo una sensibilizzazione pubblica sul valore di questi beni.

Stato dell'arte

Il patrimonio culturale connesso all'astronomia rappresenta un affascinante incrocio tra scienza, arte e

1. Chiostro Grande della Certosa di San Martino. Sul lato destro della facciata è presente l'orologio meccanico, sul lato sinistro invece l'orologio solare a quadrante verticale ad ore italiane.



1.

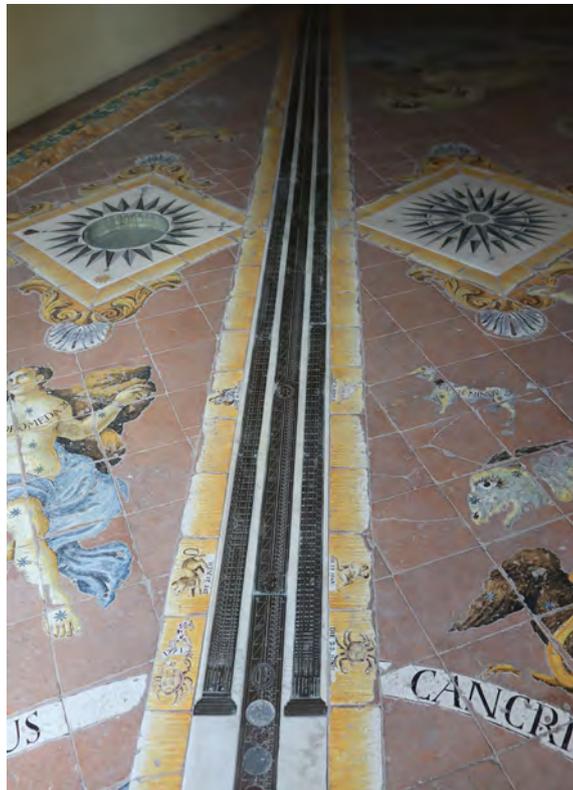
società, e testimonia l'evoluzione della comprensione umana del cielo e dei suoi fenomeni. Fin dall'antichità, l'osservazione del cielo ha alimentato lo sviluppo di conoscenze che si sono tradotte in strumenti cronometrici pratici ma ricchi di simbolismo. La gnomonica, ossia "l'arte di rappresentare la sfera celeste, o parti di essa, allo scopo di studiare nelle proiezioni così ottenute le posizioni e i movimenti degli astri rispetto all'osservatore"¹, è stata una disciplina imprescindibile per la vita dell'uomo prima dell'introduzione del Tempo Medio. Gli strumenti gnomonici, dunque, sono profondamente legati al luogo in cui si trovano e all'epoca in cui sono stati realizzati, e sono quindi specchio del periodo da cui nascono, essi infatti riflettono il quadro simbolico e culturale del loro tempo e documentano i cambiamenti sociali, religiosi e scientifici di ogni epoca (Farroni, Incerti, Pagliano, 2022). La rilevanza storica degli strumenti gnomonici è testimoniata dalla loro diffusione geografica e temporale. Dalle antiche meridiane egizie e babilonesi ai sofisticati quadranti solari del Rinascimento, fino alle installazioni moderne, essi raccontano l'evoluzione del sapere astronomico. In Europa, orologi solari e meridiane hanno documentato importanti trasformazioni cronometriche e calendariali, riflettendo i progressi nella comprensione dei cicli astronomici e nell'adozione di nuovi sistemi di misura del tempo. Triola in *I Tempi del Regno, Stato e misura del tempo nel Mezzogiorno preunitario*, pubblicato nel 2023, sottolinea come questi stru-

menti siano fondamentali per una lettura complessa del passato, in cui lo studio del tempo si intreccia con gli sviluppi politici e culturali avvenuti nel tempo. La Certosa di San Martino, situata sulla collina del Vomero a Napoli, è uno dei complessi monastici più importanti e suggestivi d'Italia. Fondata nel 1325 per volere di Carlo d'Angiò e successivamente ampliata, la Certosa è da sempre stata un centro di grande rilevanza culturale e artistica. Oltre alle decorazioni pittoriche, scultoree e agli arredi preziosi, magnifici esempi di arte barocca, il complesso ospita, come già accennato, tre strumenti gnomonici unici, due orologi solari e una meridiana a camera oscura, che testimoniano non solo l'importanza della consapevolezza individuale dello scorrere del tempo durante la vita monastica di clausura (Ceravolo, 2011), ma anche l'interesse certosino per lo studio e l'osservazione della volta celeste. Gli orologi solari della Certosa di San Martino rappresentano un eccezionale esempio di commistione tra scienza e arte e sono una documentazione chiara delle concezioni cosmologiche e delle conoscenze astronomiche del XVII-XIX secolo. Dei tre strumenti gnomonici presenti nella Certosa, sia l'orologio monumentale a quadrante verticale situato lungo la parete principale del Chiostro Grande, sia la meridiana a camera oscura situata nella biblioteca del Quarto del Priore, sono stati recentemente restaurati (Pagliano, 2017). Il primo è un'importante testimonianza dell'uso del sistema cronometrico ad ore italiane, esso infatti cal-

2. Orologio solare a quadrante multiplo (XVII sec.) posizionato sulla balaustra della Scala dello gnomone, sul terrazzino del Quarto del Priore, Certosa di San Martino (NA).
3. La meridiana a camera oscura di Rocco Bovi (1772) del Museo e Certosa di San Martino (NA).



2.



3.



4.



5.

4. Rappresentazione in pianta del pavimento della sala della biblioteca realizzata da Leonardo Chiaiese che rende chiaro il rapporto tra la linea meridiana e il contesto (Pagliano, Murolo, Santoro, 2014, p. 8).

5. Dettaglio del pavimento maiolicato della sala della meridiana rappresentante la costellazione di Andromeda realizzato da Leonardo Chiaiese.

6. Dettaglio del pavimento in cui è possibile osservare a sinistra la rosa dei venti, a destra la bussola e al centro, in corrispondenza dell'equinozio le mattonelle dipinte raffiguranti i segni zodiacali di ariete e bilancia.



6.

cola il tempo a partire dal tramonto del sole. Il restauro, poiché lo gnomone era ancora presente, si è concentrato soprattutto sul ridisegno del reticolo di linee all'interno del quadrante circolare, e ciò ha permesso di rimettere in funzione l'orologio². L'intervento di restauro effettuato sulla meridiana ha reso possibile fruire nuovamente della meridiana durante tutto l'anno grazie alla ri-apertura del foro eliotropico che era stato precedentemente manomesso³. Tale manomissione impediva l'ingresso dei raggi solari durante i mesi invernali e quindi alterava la funzione calendariale della meridiana stessa, rendendo ancora più complessa la comprensione del meccanismo ad eventuali visitatori, con la conseguente perdita di interesse verso la preziosa quantità di dettagli e informazioni presenti non solo sulla piccola linea di bronzo, ma anche sul particolare pavimento maiolicato dipinto da Leonardo Chiaiese raffigurante la volta celeste⁴ [fig. 4]. Il terzo, ossia l'orologio a quadrante multiplo, situato su un terrazzino del Quarto del Priore, è un capolavoro di ingegneria gnomonica, realizzato in marmo con iscrizioni e decorazioni scolpite, e consente la lettura dell'ora secondo diversi sistemi cronometrici⁵. Purtroppo versa in un pessimo stato di conservazione, poiché, a causa della sua posizione, è estremamente esposto alle intemperie che causano una veloce erosione delle linee incise, sarebbe quindi fondamentale sottoporlo al più presto ad azioni di tutela e restauro, al fine di conservare questa preziosissima testimonianza della versatilità delle conoscenze scientifiche dell'epoca e della pluralità delle visioni temporali che convivevano nel Sette-

cento. Il restauro di tali orologi, soprattutto quello della meridiana a camera oscura, ha reso possibile questa ricerca poiché, rendendo di nuovo fruibile a pieno della bellezza dei fenomeni della meridiana stessa, ha riportato l'attenzione anche su tutti gli altri dettagli che caratterizzano non solo la sottile linea di bronzo, ma anche tutto il contesto in cui è inserita. La prima cosa su cui ci si sofferma quando si entra all'interno della biblioteca del Quarto del Priore è sicuramente il magnifico pavimento realizzato da Leonardo Chiaiese⁶, che rappresenta le costellazioni di entrambi gli emisferi secondo lo stile pittorico e l'iconografia coeva. Se fosse possibile attraversare la sala avvicinandosi alla meridiana, sarebbe possibile osservare più da vicino, tra la costellazione di Ofioco e quella di Andromeda [fig. 5], la rosa dei venti e la bussola che conteneva un ago magnetico galleggiante, ormai perduto. Continuando a camminare intorno alla linea di bronzo si riuscirebbero a scorgere lungo il perimetro le piccole maioliche bianche con la raffigurazione dei segni zodiacali [fig. 6] proprio in corrispondenza dei periodi in cui il sole entra in ognuna delle costellazioni. Ma sarebbe solo soffermandosi a lungo ad osservare l'opera di Rocco Bovi che si potrebbero notare tutti i dettagli e le informazioni che, seppur di modeste dimensioni, contiene in maggior numero di altre meridiane certamente più note. Infatti, oltre a fornirci informazioni di tipo calendariale come solstizi ed equinozi, momenti fondamentali nell'arco dell'anno finemente incisi sulla linea di bronzo, presenta alcune peculiarità, come ad esempio la raffigurazione dei pianeti del

7. Dettaglio della linea meridiana, nella parte che precede il solstizio d'estate, in cui è possibile osservare Venere, Saturno, Marte e la Luna.



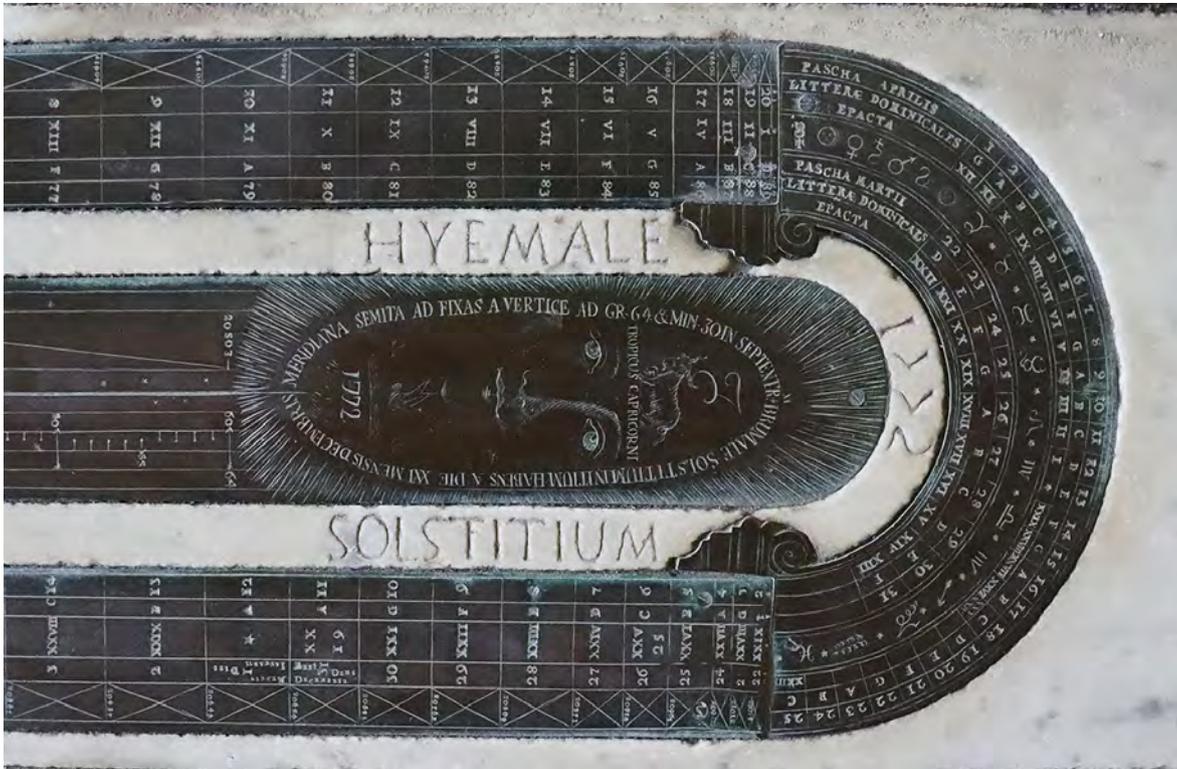
7.

sistema solare [fig. 7], ognuno caratterizzato da un diverso metallo, posizionati poco prima del solstizio d'estate. Dal lato opposto invece, dove si trova il solstizio d'inverno è possibile trovare l'arco dedicato alla definizione della data pasquale, con l'indicazione dei giorni in cui può ricadere la festività, nei mesi di

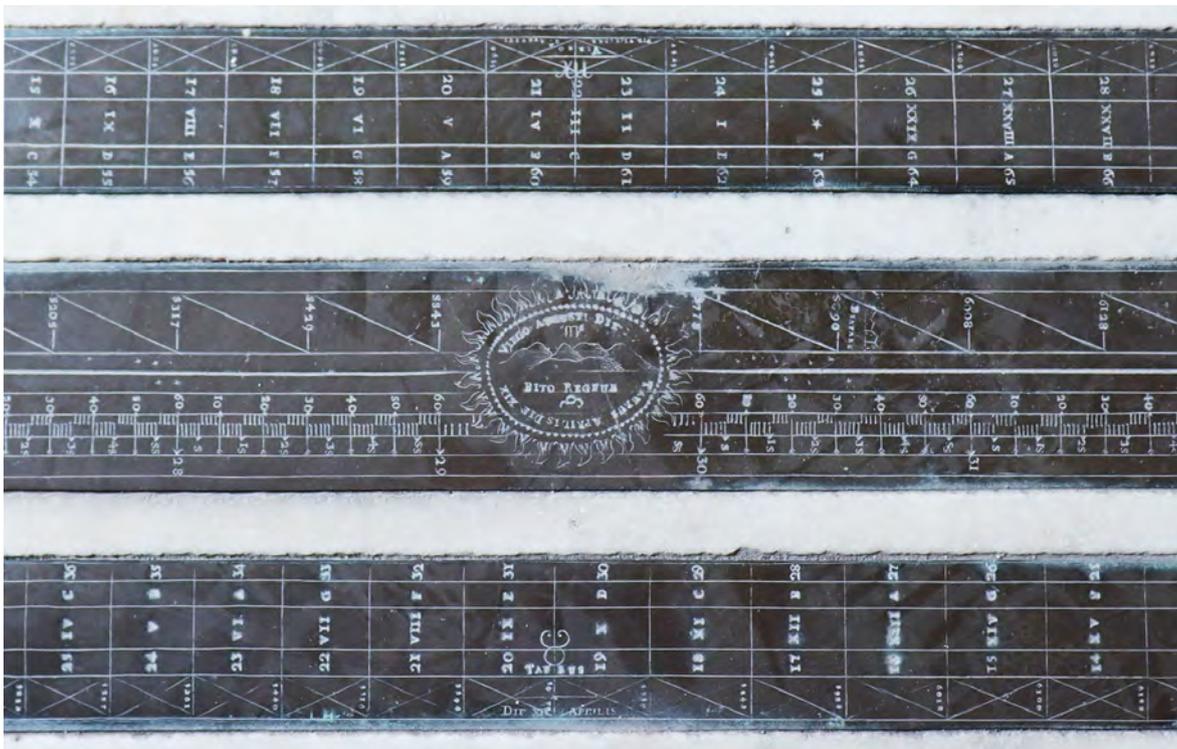
marzo e aprile [fig. 8]. L'ultima caratteristica peculiare è che sulla fascia centrale sono presenti nomi di località geografiche che hanno lo stesso mezzogiorno solare di Napoli [fig. 9]. Da queste osservazioni la Certosa di San Martino emerge quindi come un microcosmo in cui l'architettura e gli strumenti gno-

8. Dettaglio del solstizio d'inverno segnalato dall'ellisse allungata in cui vediamo: la rappresentazione di un volto, il segno della costellazione del Capricorno, la data 1772, l'arco dedicato alla definizione della data pasquale.

9. Dettaglio dei nomi di località geografiche che hanno lo stesso mezzogiorno solare della città di Napoli, posizionati in corrispondenza dei gradi che indicano la distanza angolare, di ciascun luogo, rispetto al capoluogo campano. In questa immagine è possibile leggere *Bito Regnum*.



8.



9.

monici celebrano l'armonia tra cielo e terra, scienza e spiritualità. Diventa chiaro quindi che la comprensione del patrimonio gnomonico può trovare beneficio nell'utilizzo di una metodologia integrata che sia in grado di combinare le prospettive tecnico-scientifiche con quelle storico-culturali, consentendo di analizzare e comprendere le testimonianze del passato in maniera più completa e consapevole. La combinazione di astronomia, geometria, architettura e disegno permette di costruire modelli interpretativi capaci di cogliere la complessità di queste opere. L'analisi delle meridiane e degli orologi solari non può limitarsi alla dimensione scientifica; è necessario considerare anche il contesto culturale e storico che ne ha guidato la progettazione e l'uso. In linea con la necessità di una visione integrata, le tecnologie digitali offrono strumenti innovativi per lo studio e la valorizzazione del patrimonio gnomonico. La realtà virtuale e le simulazioni interattive permettono di esplorare le opere in modi nuovi, evidenziando il ruolo delle interazioni tra luce, spazio e tempo. Questo approccio contribuisce non solo alla conservazione e divulgazione del patrimonio, ma anche alla costruzione di nuove narrazioni che possono arricchire la nostra comprensione del sapere astronomico del tempo, rivolgendoci la nostra attenzione ad una materia che purtroppo sta scomparendo, portando via con sé una importante parte del nostro patrimonio culturale.

Metodologia

Tra gli strumenti gnomonici presenti nella Certosa di San Martino, la meridiana spicca per la sua complessità e le sue caratteristiche peculiari che permettono di integrare scienza e arte. Proprio per queste peculiarità, è stata scelta come oggetto centrale dell'analisi, con l'obiettivo di dimostrare come con l'utilizzo delle tecnologie digitali sia possibile superare alcune inaccessibilità che la caratterizzano. La meridiana non presenta solo l'inaccessibilità culturale comune a tutti gli strumenti gnomonici: infatti alla difficoltà di comprensione dei fenomeni proiettivi che determinano il suo funzionamento, si aggiunge anche l'inaccessibilità fisica, non è infatti possibile avvicinarsi alla meridiana per ragioni di conservazione del delicato pavimento che la circonda. Per superare le inaccessibilità sopracitate quindi si è deciso di progettare un tour virtuale integrato alla visita in presenza. Lo scopo infatti non è di sostituire la visita in presenza alla Certosa e alla sala, ma di impiegare il tour virtuale, fruibile per tutti tramite uno smartphone, per chiarire alcune criticità e preparare ad una fruizione più consapevole della meridiana stessa. Non ci si è limitati però a realizzare un video che raccontasse in modo semplice le particolarità della meridiana, ma si è deciso di accompagnare il visitatore lungo un percorso insolito [fig. 10], alla scoperta di alcuni luoghi della Certosa che troppo spesso vengono attraver-

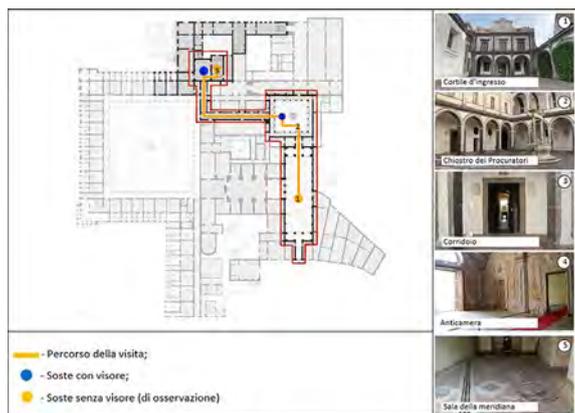
sati distrattamente, ossia il Chiostro Piccolo, anche detto dei Procuratori, e l'anticamera della biblioteca stessa, affascinante esempio del periodo Rococò. Oltre alla scelta di un percorso differente, per educare i visitatori alla comprensione della meridiana, è stato necessario effettuare una selezione delle caratteristiche da spiegare. Attraverso un attento storytelling e precisi espedienti grafici, progettati in linea con le più recenti raccomandazioni in tema di accessibilità e fruizione del patrimonio culturale (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2018), e cercando di adottare un approccio inclusivo di *design for all*⁷, si è data maggiore importanza al sottolineare il rapporto che esiste tra la meridiana e la pavimentazione, e alla funzione fondamentale, quella calendariale. La realizzazione dei tre video che compongono il tour virtuale parte quindi a sua volta da una conoscenza consapevole e completa delle caratteristiche dello strumento gnomonico in questione. Si è iniziato quindi lo studio con un'attenta analisi fisica condotta attraverso un delicato rilievo fotografico dell'intera Certosa, successivamente è stata posta particolare attenzione al rilievo dei luoghi in presenti nei video; le fotografie ad alta risoluzione hanno permesso infatti di documentare ogni dettaglio degli ambienti più ampi, dal Chiostro dei Procuratori, attraverso l'anticamera [fig. 11], fino ai più piccoli dettagli del pavimento e della sala della biblioteca. Un altro aspetto centrale dell'analisi è stata l'osservazione della luce solare nelle diverse stagioni, per documentare come questa interagisca con la struttura architettonica e definire le variazioni da riprodurre nell'ambiente virtuale. Il disco solare, infatti, non solo cambia posizione durante l'anno, ma varia quotidianamente in forma e dimensione, fornendo informazioni essenziali per la determinazione delle date del calendario. Tra queste spiccano i solstizi e gli equinozi: momenti chiave in cui il comportamento della luce rivela l'allineamento astronomico della meridiana. Durante il solstizio d'inverno, ad esempio, i raggi di sole raggiunge il punto più distante dal foro eliotropico, proiettando una macula particolarmente allungata lungo la linea meridiana [fig. 12]. Questo fenomeno è stato accuratamente osservato e riprodotto digitalmente, permettendo di visualizzare eventi così specifici in qualunque momento e superando la limitazione dell'osservazione esclusiva al mezzogiorno astronomico. Per la realizzazione dei video, è stata effettuata una vasta selezione di fotografie a 360° che documentano l'intero percorso preso in analisi per arrivare alla biblioteca del Quarto del Priore. Queste foto sferiche ad alta risoluzione, realizzate con la macchina fotografica RICOH THETA Z1 che presenta un doppio obiettivo fisheye, offrono una visione immersiva degli spazi, permettendo di esplorare l'anticamera e la biblioteca virtualmente prima della visita di persona. La progettazione del tour virtuale

della meridiana a camera oscura di Rocco Bovi si è avvalsa, dopo il rilievo fotografico, dell'uso di alcuni software di post-produzione utilizzati soprattutto per editare le immagini, isolando i target visivi regolando il colore tramite effetti di desaturazione di alcune aree delle sale [fig.13]. In questo modo è stato possibile indirizzare lo sguardo del fruitore su alcuni dei dettagli più importanti della meridiana. Tramite l'editing delle foto è stato anche possibile simulare l'ingresso della luce solare dal foro gnomonico e la conseguente formazione della macula luminosa sulla meridiana, superando così una delle inaccessibilità che poteva essere legata alle condizioni climatiche e al momento della visita. Un software fondamentale è stato sicuramente *Stellarium*, attraverso il quale è stato possibile riconoscere e mappare elementi celesti e utilizzarli per creare un effetto di sfondamento del soffitto che permettesse di visualizzare più facilmente una corrispondenza tra il pavimento maiolicato della Certosa e la volta celeste e [fig. 14] per simulare fenomeni astronomici e creare un'esperienza immersiva. Infine ci si è avvalsi di un software di video editing per montare tutti gli elaborati e realizzare i video finali. È stato anche deciso di inserire all'interno dello spazio virtuale la figura di un accompagnatore, riconosciuta nello stesso di Rocco Bovi [fig. 15], progettista della meridiana⁸. Questo elemento, ispirato ai principi dello *storytelling* digitale (Olher, 2008),

permette ai visitatori di essere guidati in modo interattivo alla scoperta del funzionamento della camera oscura e il significato simbolico della misurazione del tempo. La volontà di rendere l'intera visita *autism friendly* ha guidato la ricerca, determinando così le scelte attuate rispetto al percorso, allo *storytelling* e all'inserimento di questa figura come accompagnatore, che risulta fondamentale poiché rappresenta un punto di riferimento concreto per il fruitore all'interno dello spazio virtuale.

Risultati

Grazie alla realtà virtuale, è stato possibile esplorare e far comprendere a fondo la straordinaria complessità e ricchezza della meridiana a camera oscura e le sue molteplici funzionalità, superando i limiti posti dalle condizioni naturali e dalle specificità del luogo. L'uso della realtà virtuale ha permesso infatti di ricostruire digitalmente con precisione il percorso del raggio solare che, attraverso il foro eliotropico, proietta sulla meridiana la suggestiva ellisse luminosa, che varia di forma e dimensione a seconda del momento dell'anno in cui la si osserva. Questa simulazione digitale rende più facilmente comprensibili i dettagli scientifici incisi sulla sottile linea di bronzo e i preziosi dettagli del pavimento da cui è circondata. La rappresentazione chiara del funzionamento del sistema cronometrico arricchisce fortemente la



10.



11.



12.

10. Percorso selezionato che attraversa il Chiostro dei Procuratori, l'anticamera e raggiunge la biblioteca del Quarto del Priore.

11. Immagine equirettangolare dell'anticamera prima della postproduzione.

12. Simulazione della macula luminosa durante il giorno del solstizio d'inverno.

visita, consentendo al visitatore di prestare maggiore attenzione comprendere così meglio ogni particolare della pavimentazione: dalla costellazione della Balena, che troneggia al centro della sala, alle delicate rappresentazioni dei segni zodiacali che costeggiano la meridiana; la pavimentazione maiolicata infatti, non è solo un elemento decorativo, ma parte integrante dell'opera stessa. Il percorso selezionato, guidato e narrato dal personaggio disegnato sulla figura del progettista stesso, porta il fruitore ad attraversare la Certosa in modo diverso dal solito, permettendogli di scoprire le bellezze delle decorazioni rococò della sala che precede la biblioteca.

Conclusioni

L'integrazione di tecnologie digitali come la realtà virtuale e i software di simulazione astronomica

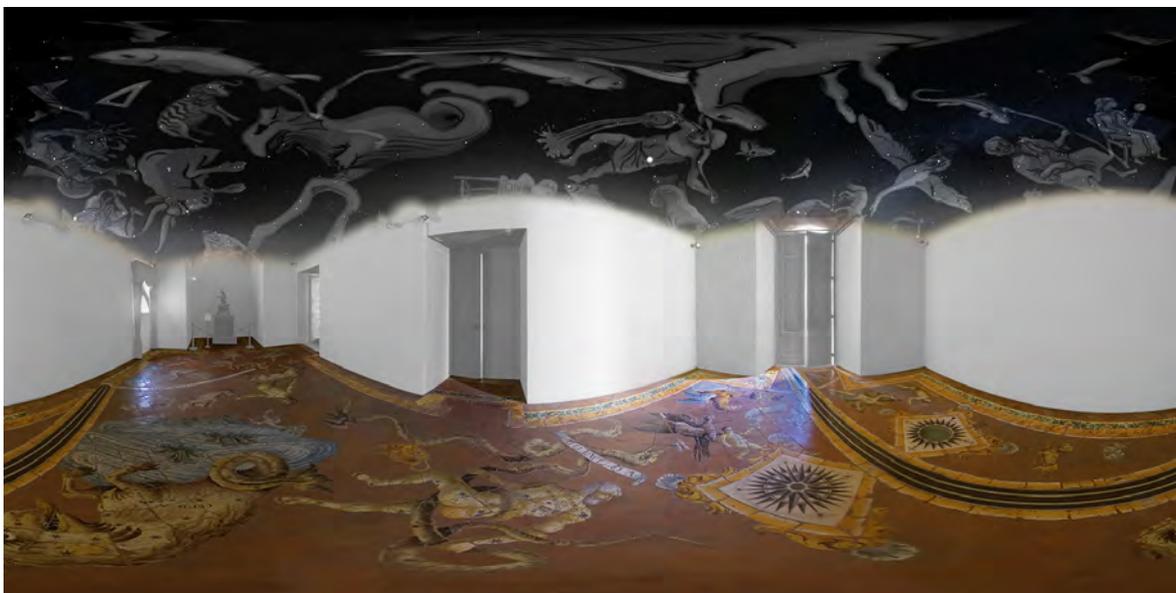
hanno aperto nuove prospettive per la valorizzazione della meridiana a camera oscura e, più in generale, per il patrimonio culturale legato all'astronomia, evidenziando la possibilità di recuperare conoscenze che rischiano di andare perdute. Questi strumenti non solo hanno permesso di superare le limitazioni fisiche e temporali dell'osservazione diretta, ma hanno anche consentito di una più facile veicolazione delle conoscenze scientifiche rendendo possibile così la creazione di spazi didattici che invitano alla riflessione ed educano rispetto al nostro patrimonio. Il video a 360° permette, attraverso un'esperienza immersiva e interattiva, di coinvolgere il pubblico in un dialogo che intreccia astronomia, storia e architettura, dimostrando come la scienza del passato possa essere resa viva e rilevante per le generazioni contemporanee. La progressiva dispersione delle

13.
Confronto tra l'immagine equirettangolare della sala della meridiana iniziale e l'immagine dopo la post-produzione. È stato possibile desaturare le pareti diminuendo così il carico percettivo degli affreschi e ha reso possibile isolare alcuni target visivi.

14.
Immagine equirettangolare della sala della meridiana post-prodotta con il software Adobe Photoshop a cui è stata aggiunta la rappresentazione della volta celeste realizzata tramite il software Stellarium.



13.



14.

competenze gnomoniche è una sfida cruciale ma in definitiva questo lavoro dimostra come il dialogo tra tecnologia e patrimonio culturale possa produrre risultati significativi sia per la valorizzazione che per la diffusione della conoscenza, aprendo nuove strade di fruizione e educazione per il pubblico. La meridiana a camera oscura della Certosa di San Martino, rappresenta il potenziale delle innovazioni digitali per reinterpretare e rendere accessibili opere complesse e ricche di significato. L'approccio integrato, che coniuga l'utilizzo della tecnologia con un'attenta osservazione in presenza del manufatto, offre un modello replicabile per valorizzare beni culturali analoghi. Questo percorso non solo tutela il patrimonio

gnomonico, artistico e architettonico, ma dimostra come il passato possa essere studiato e valorizzato utilizzando strumenti innovativi e orientati al futuro, che non vadano a sostituire l'esperienza reale, ma che la integrino e la semplifichino rendendola ancora più suggestiva

Crediti

La ricerca presentata con il presente articolo è stata realizzata con la consulenza scientifica e sotto la supervisione della professoressa Alessandra Pagliano docente di Disegno presso il Dipartimento di Architettura dell'Università Federico II di Napoli, esperta di geometria descrittiva e di gnomonica.

Note

1. <https://www.treccani.it/vocabolario/gnomonica/>
2. Per approfondimento sul progetto di restauro dell'orologio solare verticale nel Chiostro Grande, si rimanda al capitolo III "Le linee del tempo perduto: progetto di rifunzionalizzazione dell'orologio solare verticale nel Chiostro Grande" del volume *Disegnare il tempo. Rocco Bovi e gli orologi solari della Certosa di San Martino* (Pagliano, Murolo, Santoro, 2014 pp. 93-114).
3. Per approfondimento sul progetto di rifunzionalizzazione della meridiana a camera oscura in seguito alla manomissione avvenuta nel XIX secolo, si rimanda al contributo del professore Angelo Triggianese, nel paragrafo 1.6 del capitolo I intitolato "Il restauro dell'orologio a ore italiane nel Chiostro Grande della Certosa di San Martino" dell'opera citata (Pagliano, Murolo, Santoro, 2014 pp. 31-40).
4. Il pavimento in riggiole di cotto maiolicato presenta sul piano orizzontale la proiezione delle curve dei tropici e dell'equatore, insieme a una particolare disposizione delle costellazioni di entrambi gli emisferi, che sembra derivare dalle antiche rappresentazioni cosmologiche, tra cui quella del globo dell'Atlante Farnese.
5. Per una descrizione maggiormente dettagliata si rimanda al capitolo IV dal titolo "L'orologio solare a quadrante multiplo della Certosa di San Martino" dell'opera citata (Pagliano, Murolo, Santoro, 2014 pp. 31-40 pp. 115-139).
6. Leonardo Chiaiese è stato esponente di spicco di una vasta famiglia di maiolicari che hanno avuto un ruolo fondamentale nell'artigianato di questo tipo in Campania, insieme ai coevi Massa. Divenne particolarmente noto a Napoli grazie ad uno stile personale ben riconoscibile.



15. Rocco Bovi, personaggio guida del percorso durante il video di presentazione al fruitore.

Per un maggiore approfondimento si rimanda all'opera *Pavimenti e rivestimenti maiolicati in Campania* (Donatone, 1981, p. 58).

7. La sperimentazione del caso studio ha adottato un approccio inclusivo di *design for all*, con particolare attenzione alle esigenze delle persone con disabilità cognitive. L'intervento si è concentrato sul superamento delle numerose barriere di inaccessibilità che limitano la fruizione della meridiana a camera tra cui il possibile *overload* percettivo causato dall'eccessiva presenza di dettagli e decorazioni, e la difficoltà nel comprendere i processi geometrici alla base della scienza gnomonica.

Il progetto ha visto la collaborazione con la cooperativa Il Tulipano di Giovanni Minucci per garantire un'esperienza accessibile e arricchente.

8. Rocco Bovi, nato ai Scilla (1734-1831), fu un personaggio di rilievo negli anni a cavallo tra il 1700 e il 1800. Studioso pluridisciplinare, fu chiamato a Napoli per insegnare alla cattedra di fisica sperimentale nel Reale Collegio del Salvatore e gli venne conferita la cattedra di matematica a Salerno. Durante la stesura della grande Carta geografica del Regno delle due Sicilie, Bovi collaborò il geografo Giovanni Antonio Rizzi Zannoni. Tornò a Scilla nel 1783 in seguito al terremoto della Calabria meridionale.

Bibliografia

- Accolla A. (2009). *Design for all. Il progetto per l'individuo reale*. Roma: Franco Angeli.
- Borgia E., Di Berardo M., Occorsio S. (eds) (2019). *Note per l'educazione al patrimonio culturale*. Roma: Ministero per i Beni e le Attività Culturali e per il Turismo, Centro per i servizi educativi- Sed.
- Ceravolo T. (2011). *I monaci di clausura*. Italia: Rubbettino Editore.
- Donatone G. (1983). *Pavimenti e rivestimenti maiolicati in Campania*: Isveimer.
- Farroni L., Incerti M., Pagliano, A. (2022). *Rappresentare il Tempo. Architettura Geometria e Astronomia*. Padova: Libreriauniversitaria.it
- Farroni L., Incerti M., Pagliano, A. (2023). *Misurare il tempo. Strumenti e tecniche tra storia e contemporaneità*. Padova: Libreriauniversitaria.it
- MIBAC (2016). *Raccomandazioni in merito all'accessibilità a musei, monumenti, aree e parchi archeologici*. Circolare 80/2016. Roma.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. (2018). *Circolare 26/2018 DG-MU: Linee guida per la redazione del Piano di eliminazione delle barriere architettoniche (P.E.B.A.)*.
- Olher J. (2008). *Digital storytelling in the classroom*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- Pagliano A., Murolo R., Santoro L. (2014). *Disegnare il tempo. Rocco Bovi e gli orologi solari della Certosa di San Martino*. Roma: Aracne Editore.
- Pagliano A. (2017). Luce, stelle e geometria della meridiana di Rocco Bovi nella Certosa di San Martino. *Disegnare idee immagini*, 54/2017, pp. 24-35.
- Pagliano A. (2024). *Comunicare il patrimonio museale*. Napoli: FedOA - Federico II University Press.
- Pecora A. L. (2023). *Lo spazio rappresentato per il disturbo dello spettro autistico (ASD)*. Napoli: FedOA - Federico II.
- Giordano A., Russo M., Spallone R. (eds.) (2024). *Beyond Digital Representation. Advanced Experiences in AR and AI for Cultural Heritage and Innovative Design*. Switzerland: Springer.
- Severino N. (2007). *La linea meridiana della Certosa di San Martino a Napoli*. Rocassecca: Edizioni Gnomonica Italiana n°23, anno VIII.
- Triola F. (2023). I tempi del Regno. Stato e misura del tempo nel Mezzogiorno preunitario. In *Ricerche di storia politica*, 3/2023, pp. 235-256.
- Tserklevych V. et al. (2021). Virtual Museum Space as the Innovative Tool for the Student Research Practice. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, pp. 24-48.



Salone dei Mesi di Schifanoia, mese di Aprile (Ph. A. Cesari, Bologna). Su concessione dei Musei di Arte Antica, Comune di Ferrara.

Le stelle di Schifanoia. Misure e interpretazioni

Abstract

La fascia zodiacale del Salone dei Mesi di Palazzo Schifanoia a Ferrara costituisce uno degli elementi più distintivi e studiati dell'intero ciclo rinascimentale. Questo contributo si propone di approfondire il tema delle piccole stelle dorate, disposte sulle figure dei segni zodiacali e dipinte in gruppo per rappresentare le antiche costellazioni, utilizzando strumenti e metodi del rilievo, del disegno e della rappresentazione visiva.

The zodiacal band in the Hall of the Months at Palazzo Schifanoia in Ferrara is one of the most distinctive and studied elements of the entire Renaissance cycle. This contribution aims to deepen the theme of the small golden stars, arranged on the figures of the zodiac signs and painted in groups to represent the ancient constellations, using tools and methods of survey, drawing, and visual representation.

Parole chiave

Schifanoia
Zodiaco
Rilievo
Misura
Stelle

Manuela Incerti
Università degli Studi di Ferrara
→ manuela.incerti@unife.it

Introduzione

Il Salone dei Mesi della Delizia di Schifanoia è uno dei più importanti cicli pittorici profani del Rinascimento. La datazione del suo programma è confermata dalla famosa lettera del pittore Francesco del Cossa indirizzata a Borso d'Este, committente dell'opera, e datata 25 marzo 1470. Questo documento, conservato all'Archivio di Stato di Modena¹, testimonia che Pellegrino Prisciani fu tra i protagonisti di questa complessa vicenda artistica. Figura chiave nella cultura ferrarese del Quattrocento, Prisciani fu uomo di grande influenza nella corte: custode della biblioteca e dell'Archivio sotto Borso e sotto Ercole I, oratore, poeta, lettore di astrologia nello Studio di Ferrara, esperto e colto di greco e delle cose classiche, storico della casa d'Este e della città di Ferrara².

Il ciclo, commissionato da Borso e destinato a celebrare le sue doti di buon governo, rende manifesta l'importanza dell'astrologia alla corte estense, come hanno svelato Aby Warburg e i suoi allievi prima e, più recentemente, Marco Bertozzi. Questi studi ricostruiscono gli intrecci culturali tra la tradizione dell'*Astronomicum* di Manilio³, dell'*Introductorium in astronomiam* di Albumasar⁴ e la tradizione magica medioevale e rinascimentale del *Picatrix*⁵, fonti che enfatizzano le qualità mitiche e simboliche delle immagini delle costellazioni⁶.

Il salone

Il grande racconto pittorico è diviso in 3 fasce orizzontali dedicate, rispettivamente, alle divinità

dell'Olimpo (in alto), alle dodici costellazioni dello zodiaco e ai 36 decani⁷ (al centro) e, infine, alla descrizione della vita di corte del duca Borso (in basso). Un apparato architettonico ripartisce le scene in settori di larghezza variabile [fig. 1].

In passato mi sono dedicata all'analisi di alcune problematiche interpretative legate al programma decorativo, tra le quali⁸: l'asimmetria nella distribuzione dei segni zodiacali sulle pareti del salone (non conforme alla canonica opposizione astrologica delle coppie di segni); le differenze dimensionali (con l'Acquario e i Pesci significativamente più grandi rispetto agli altri segni) e le possibili logiche nel percorso di lettura (che inizia con il mese di Gennaio-Acquario davanti alla porta principale, in disaccordo con il calendario astrologico classico, che prende avvio invece con l'Ariete).

Questo contributo si propone di approfondire il tema delle piccole stelle dorate, disposte sopra le figure dei segni zodiacali e dipinte in gruppo per rappresentare le antiche costellazioni.

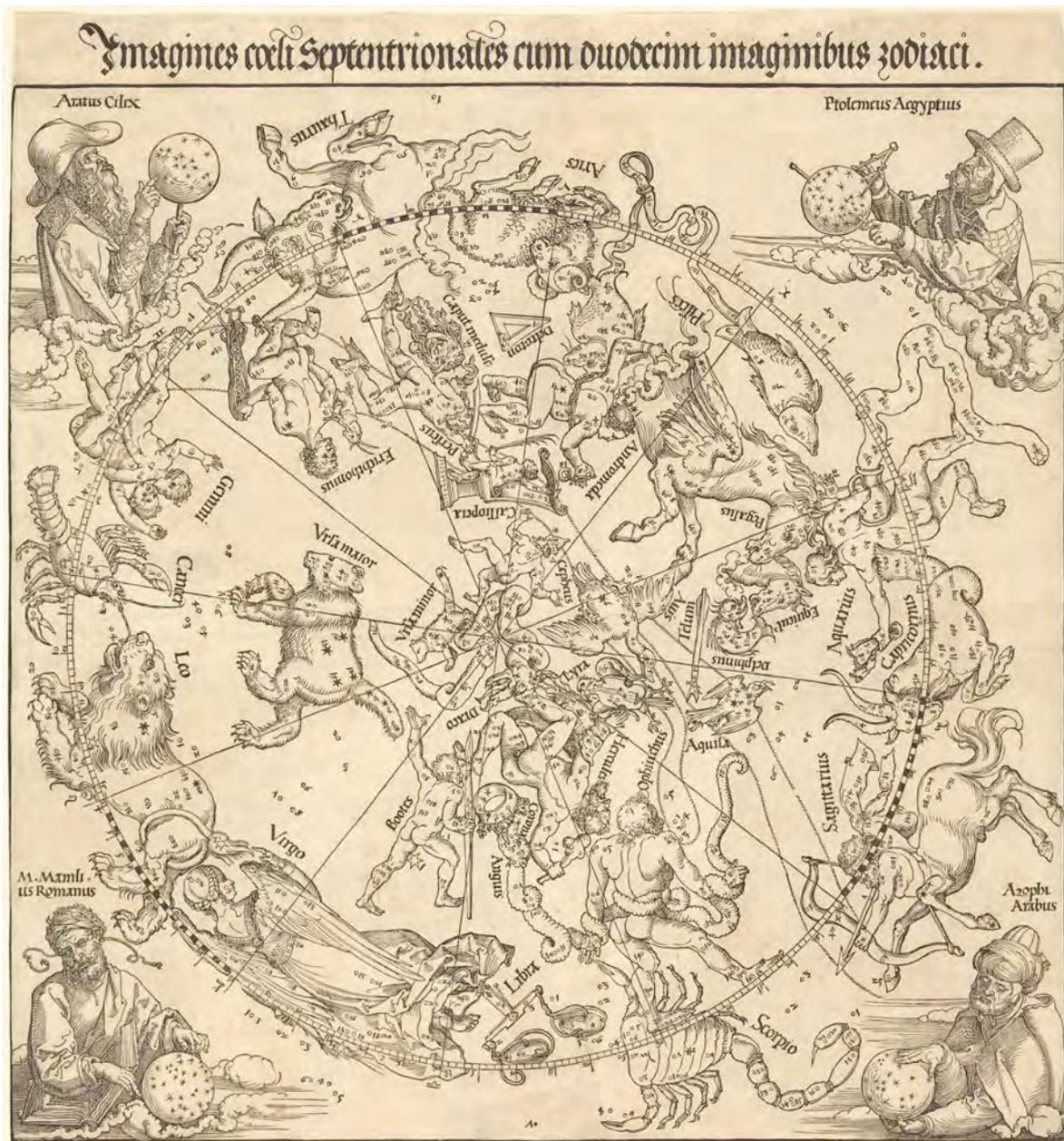
La fascia zodiacale

La fascia zodiacale del Salone dei Mesi costituisce uno degli elementi più distintivi e analizzati dell'intero ciclo pittorico. L'esame delle sue misure ha rivelato che, per definire ciascuno dei 12 rettangoli che la compongono, sono state utilizzate altezze basate su quantità 'tonde' di 2,5 piedi ferraresi⁹. Inoltre, sottili linee verticali dividono ogni area in tre rettangoli, le

1. Vista d'insieme del Salone dei Mesi di Schifanoia (Ph. A. Cesari, Bologna). Su concessione dei Musei di Arte Antica, Comune di Ferrara.



1.



2. Albrecht Dürer, l'emisfero Nord celeste, 1515 (National Gallery of Art, NY. Creative Commons CC0 1.0 Universal).

2.

cui proporzioni variano in relazione alla larghezza totale del singolo settore¹⁰.

I dodici segni zodiacali, ciascuno circondato da tre decani, sono rappresentati secondo la visione del cielo osservato dall'interno della sfera celeste. Dalla Terra, Sole, Luna e pianeti sembrano infatti muoversi lungo una fascia della sfera celeste chiamata zodiaco. Un osservatore posto al centro della sfera celeste e rivolto verso sud vede le costellazioni ruotare verso ovest (in senso orario) a causa del movimento apparente della sfera celeste dovuto alla rotazione terrestre. Ogni due ore, dalla direzione est, sorge un segno zodiacale secondo la sequenza naturale dello zodiaco, che può essere così spazialmente rappresentata¹¹:

Pesci → Acquario → Capricorno → Sagittario → Scorpione → Bilancia → Vergine → Leone →

Cancro → Gemelli → Toro → Ariete (punto Υ). Osservando dall'interno la posizione dell'Ariete, avremo alla sua sinistra il Toro e alla sua destra i Pesci. Tuttavia, se l'osservatore adotta un punto di vista esterno alla sfera celeste, la disposizione dei segni risulterà speculare, seguendo la sequenza¹²: (punto Υ) → Ariete → Toro → Gemelli → Cancro → Leone → Vergine → Bilancia → Scorpione → Sagittario → Capricorno → Acquario → Pesci. In questo caso, il Toro si troverà alla destra dell'Ariete, mentre i Pesci saranno alla sua sinistra.

La comprensione di queste due opposte modalità di orientamento, efficacemente definite come *modalità del cielo* e *modalità del globo* da Dekker (2013)¹³, è immediata osservando la cartografia del Ms 5415 di Vienna (1430-1440)¹⁴ o la mappa di Albert Dürer



3. Cupola della scarsella della Sacristia Vecchia di San Lorenzo (Firenze).

4. Cupola della scarsella della Sacristia Vecchia di San Lorenzo, dettaglio dell'eclittica su Ariete e Toro.

3.



4.



5. Salone dei Mesi di Schifanoia, dettaglio del segno zodiacale dell'Ariete (Ph. A. Cesari, Bologna). Su concessione dei Musei di Arte Antica, Comune di Ferrara.

5.

datata 1515 [fig. 2]¹⁵: al mutare della posizione del punto di vista, dal centro del cerchio eclittico o dall'esterno dello stesso, cambia la posizione reciproca delle figure. Queste due cartografie, la prima delle quali risale a un'epoca antecedente e molto prossima alla realizzazione del ciclo di Schifanoia, non solo offrono una rappresentazione figurativa delle costellazioni celesti, ma permettono anche di individuare la posizione delle stelle numerate in relazione alla tradizione tolemaica¹⁶. Il sistema di coordinate polari è tracciato attraverso il cerchio graduato dell'eclittica, che facilita la lettura delle longitudini eclittiche da parte dell'osservatore.

L'orientamento del ciclo zodiacale di Schifanoia segue dunque la prima tipologia descritta, con un andamento coerente con il reale sorgere delle stelle sull'orizzonte locale¹⁷. Si tratta del modello teorico che è anche alla base della sfera celeste realizzata, nella prima metà del Quattrocento, sulla cupola della scarsella della Sacrestia Vecchia di Firenze. Lo straordinario reperto fiorentino non solo presenta i cerchi astronomici, ma include anche le figurazioni delle costellazioni visibili da Firenze in un preciso 'istante' di quel secolo. Le costellazioni sono dipinte come figure arricchite da piccoli cerchi dorati, che rappresentano le stelle [figg. 3-4].

Una recente ricerca interdisciplinare, condotta grazie a un modello digitale appositamente realizzato, ha rivelato che si tratta delle stelle del catalogo di To-

lomeo, posizionate con grande precisione secondo le metodiche dell'epoca¹⁸.

Anche nelle rappresentazioni delle costellazioni zodiacali di Schifanoia compaiono piccole stelle, qui però ad otto punte [fig. 5], alcune parzialmente conservate e altre soltanto suggerite dalle lacune materiche. A differenza della Sacrestia Vecchia, tuttavia, la superficie che ospita i dipinti di questo programma decorativo è quella piana delle pareti, il che implica l'adozione di un sistema di riferimento differente.

Metodi di indagine

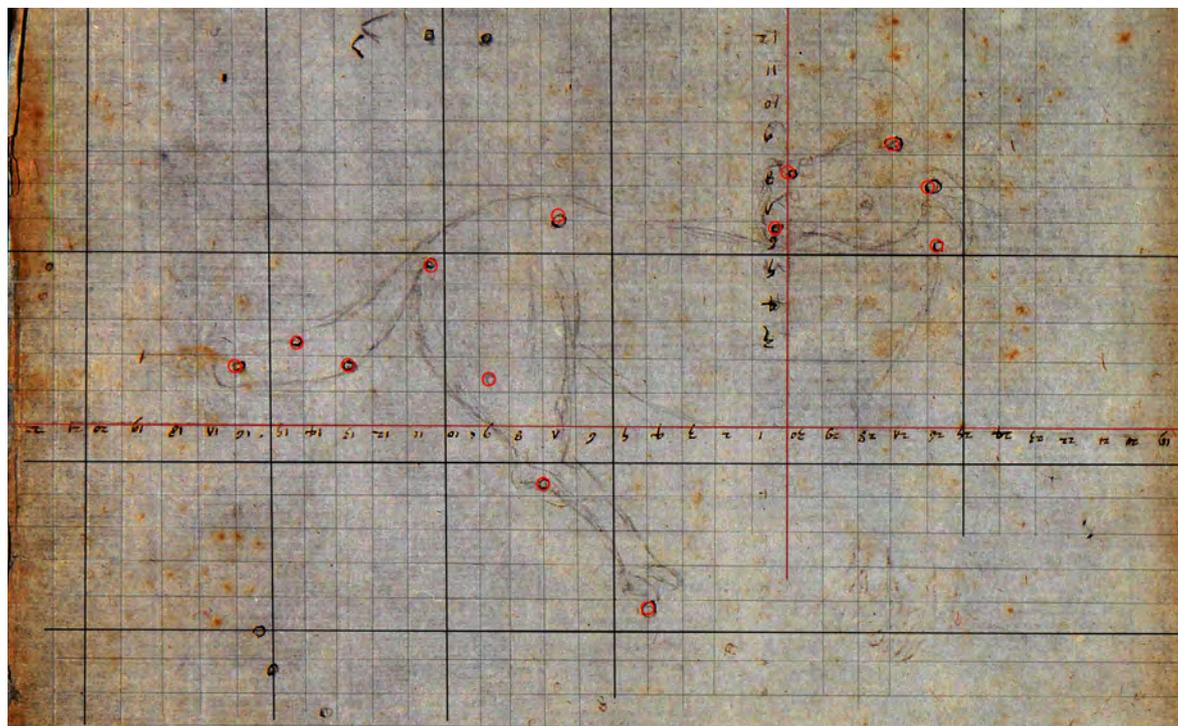
L'iconografia delle costellazioni zodiacali costituisce un vasto e complesso campo di studio, arricchito nel tempo dai contributi di numerosi studiosi che hanno esplorato in modo approfondito le fonti antiche e medievali¹⁹. Le analisi che seguono non si concentrano su questo aspetto, indagato da specialisti del settore anche per questo caso di studio, ma si focalizzano, attraverso le metodologie del rilievo e della rappresentazione, sul posizionamento delle stelle dipinte in alcuni dei segni zodiacali meglio conservati, ossia quelli delle pareti est e ovest.

I dati del rilievo topografico²⁰ hanno permesso di inserire le immagini fotografiche ad alta risoluzione in ambiente CAD, rendendo possibile l'indagine attraverso una griglia misurabile. Il sistema adottato è simile a quello utilizzato dall'astronomo Paolo dal Pozzo Toscanelli (1397-1482), che tra il 1433 e

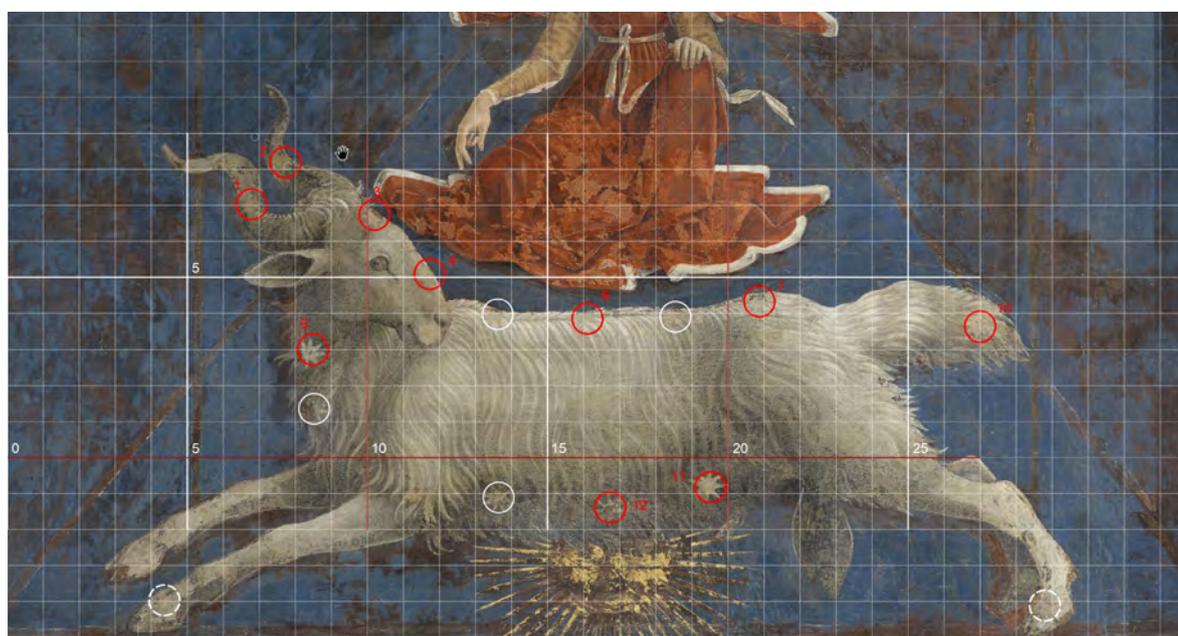
il 1472 registrò la posizione delle comete nel cielo di Firenze, impiegando le coordinate sferiche eclittiche, da lui trasposte in una griglia cartesiana per semplificare le operazioni grafiche²¹. In questi disegni, gli assi principali (longitudine e latitudine eclittici) sono numerati, consentendo così di ritrarre facilmente la posizione giornaliera della cometa rispetto al cielo delle stelle fisse. Il profilo dell'Ariete, rappresentato nella carta 240 B [fig. 6], circonda le 13 stelle di questa costellazione elencate nel Catalogo di Tolomeo. In questo ristretto gruppo di carte, le

uniche autografe a noi pervenute, Toscanelli disegna tutte le stelle tolemaiche, aggiungendone tuttavia anche altre (non in questo foglio), come ha scoperto e argomentato Giovanni Celoria²².

Per il proporzionamento della griglia nel mese di Marzo di Schifanoia sono state utilizzate le coordinate delle stelle più lontane tra loro della costellazione dell'Ariete, ossia la 1 e la 10, rispettivamente sul corno e sulla coda, ed è stata poi divisa la distanza orizzontale in un numero di parti coerente con i gradi della longitudine eclittica²³. Lo stesso proce-



6.



7.

6. Paolo dal Pozzo Toscanelli, (c. 240 B), Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze. Banco Rari 30 BNCF, antiche segnature: 9.2.14, Magl. XI.121/3. Sulla carta, post-prodotta, sono evidenziate le 13 stelle dell'Ariete.

7. Segno zodiacale dell'Ariete, sovrapposizione in ambiente CAD di una griglia con passo ipotetico di 1°. Su concessione dei Musei di Arte Antica, Comune di Ferrara.

dimento è stato applicato alla latitudine. Già a un primo sguardo [fig. 7] emergono delle singolarità:

- il numero delle stelle rappresentate a Schifanoia supera quello riportato nell'elenco di Tolomeo, che ne include solo 13;
- una volta definito il sistema di riferimento (utilizzando le stelle 1 e 10), si osserva che le misurazioni delle altre stelle risultano poco coerenti con i dati del catalogo;
- se il posizionamento di alcune stelle si avvicina, in parte, alla descrizione tolemaica (cerchi rossi)²⁴, altre (cerchi bianchi) non sono individuabili nemmeno tra le 5 stelle informate²⁵;
- è evidente che la costellazione è rappresentata in forma speculare, con la testa dell'Ariete collocata a sinistra anziché a destra, come risulta dal confronto con il disegno del Toscanelli [fig. 6] e con la cupola della Sacrestia Vecchia [fig. 4].

Questa inversione della figura è coerente con una visione dall'esterno e con il posizionamento del punto γ (0° del segno) alla sinistra del segno, invece che alla destra (30° del segno).

Mantenendo invariate le dimensioni della griglia, si è provato ad applicare questo sistema di misurazione alle stelle rappresentate negli altri segni zodiacali. Per il segno del Toro [fig. 8] emergono subito le difficoltà nel proiettare il modello tolemaico sul gruppo di stelle dipinte, poiché questa costellazione ne è particolarmente ricca e comprende, secondo Tolomeo, ben 33 stelle²⁶.

Gli aspetti che è possibile evidenziare in questo caso sono i seguenti:

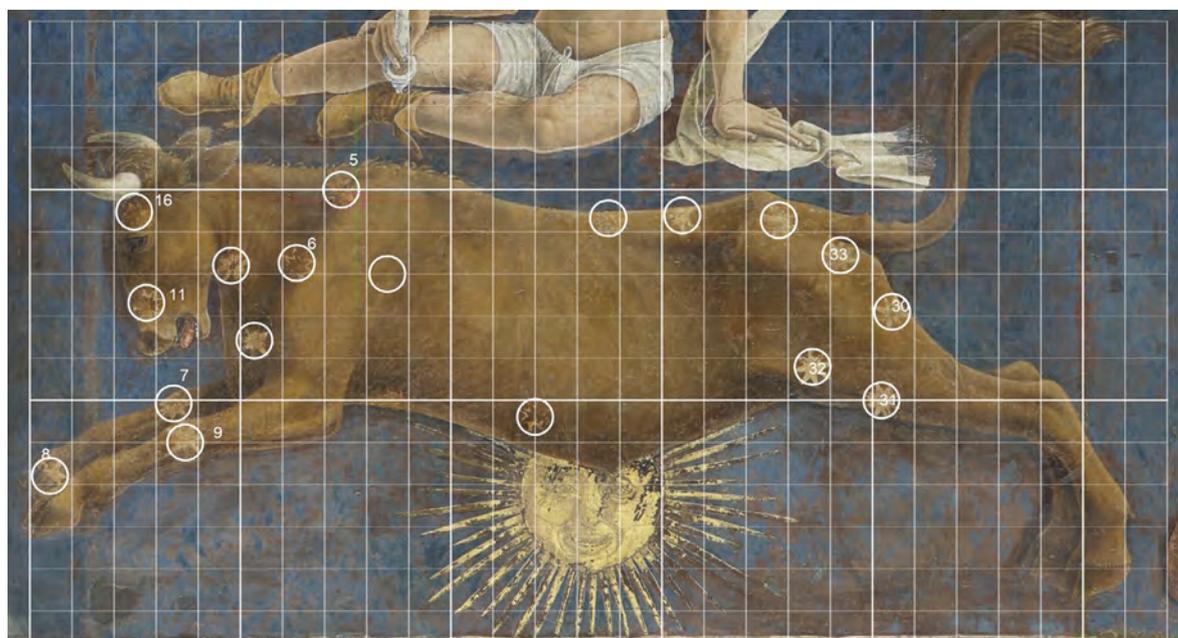
- il Toro è rappresentato con la testa rivolta a sinistra, come si vede dalla terra e non dall'esterno della sfera celeste;

- di conseguenza, le coordinate delle sue stelle sono leggibili da destra (0° del segno) a sinistra (30° del segno), a differenza dell'Ariete;
- l'animale è raffigurato di profilo e, per questa ragione, non sono stati rappresentati gli astri appartenenti al lato nascosto, come ad esempio il secondo occhio;
- la sua iconografia non segue i modelli di tipo scientifico, che invece rappresentano esclusivamente la metà anteriore dell'animale [fig. 2, fig. 4];
- il numero di stelle visibili è poco più della metà di quelle previste, e il folto gruppo delle Pleiadi non risulta riconoscibile;
- sebbene si sia tentato di identificare alcune stelle dell'elenco tolemaico (indicate con cerchi bianchi numerati), risulta evidente che gli artisti non puntavano a una rappresentazione scientifica del catalogo stellare, ma si basarono su altre fonti, già trattate dalle ricerche di Lippincot e Bertozzi.

Proseguendo con l'analisi dei restanti segni zodiacali, queste contraddizioni trovano ulteriori conferme. Tuttavia, solo alcuni segni, come i Gemelli, il Cancro e il Leone, conservano tracce delle antiche stelle dipinte [figg. 7-9].

Il confronto con l'iconografia scientifica del Ms 5415 di Vienna (1430-1440), con la mappa celeste di Dürer (1515) [fig. 2] e con la cupolina della scarsella nella Sacrestia Vecchia, evidenzia che il segno del Cancro [fig. 10, fig. 12] è correttamente orientato e presenta il giusto numero di stelle (9), ma queste risultano distribuite su un intervallo di longitudine eccessivamente ampio.

Il segno del Leone [fig. 11] presenta la direzione invertita [fig. 12] cioè come si vede dall'esterno della sfera e non dall'interno. Come per l'Ariete la longitudine



8. Segno zodiacale del Toro, sovrapposizione in ambiente CAD di una griglia con passo ipotetico di 1°. Su concessione dei Musei di Arte Antica, Comune di Ferrara.

8.



9. Salone dei Mesi di Schifanoia, segno zodiacale dei Gemelli (Ph. A. Cesari, Bologna). Le stelle, in questa e nelle successive immagini, sono stelle post-prodotte a cura dell'autrice. Su concessione dei Musei di Arte Antica, Comune di Ferrara.

10. Salone dei Mesi di Schifanoia, segno zodiacale del Cancro (Ph. A. Cesari, Bologna). Su concessione dei Musei di Arte Antica, Comune di Ferrara.

9.



10.

deve dunque essere misurata da sinistra (0°) a destra (30°). Anche in questo caso, non si riscontra una reale coerenza con la posizione astronomica delle stelle, e Regolo, fondamentale per il calcolo della precessione da applicare poi ai valori dei cataloghi stellari, non appare chiaramente distinguibile tra gli astri.

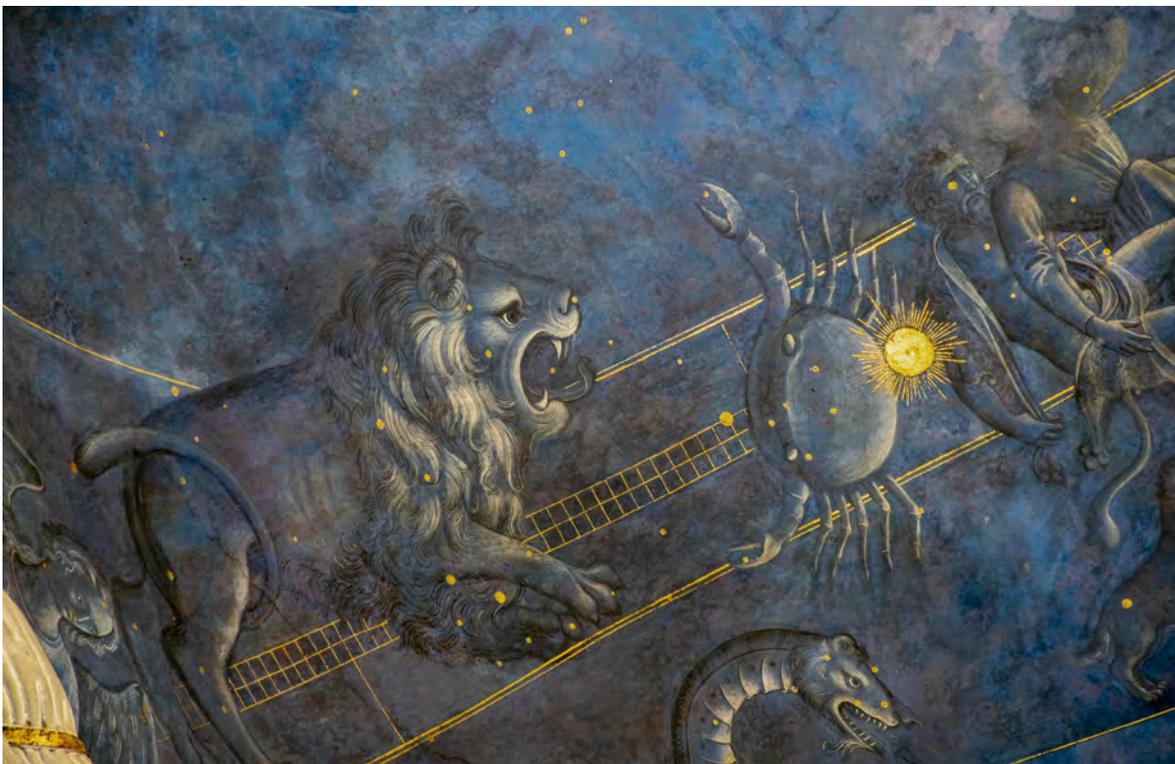
Nei segni della Vergine e della Bilancia non sono sopravvissute rappresentazioni delle stelle. Si può osservare comunque che la Vergine [fig. 13] è orientata in modo inverso rispetto alla disposizione dello zodiaco astronomico visto dalla terra, mentre la Bilancia [fig. 14] presenta una struttura simmetrica rispetto a un asse



11. Salone dei Mesi di Schifanoia, segno zodiacale del Leone (Ph. A. Cesari, Bologna). Su concessione dei Musei di Arte Antica, Comune di Ferrara.

12. Cupola della scarsella della Sacristia Vecchia di San Lorenzo, dettaglio dell'eclittica su leone e Cancro.

11.



12.

verticale, caratteristica condivisa con i Gemelli e i Pesci. La figura 15 offre un quadro sintetico della distribuzione dei segni: in evidenza sul perimetro esterno sono infatti le informazioni relative all'orientamento delle figure. Il grafico si avvale anche delle informazioni ricavate dalle ricostruzioni

dei segni scomparsi, realizzate dall'artista Maurizio Bonora sulla base di cartoni creati in aderenza ai lacerti sopravvissuti²⁷. È possibile constatare che:

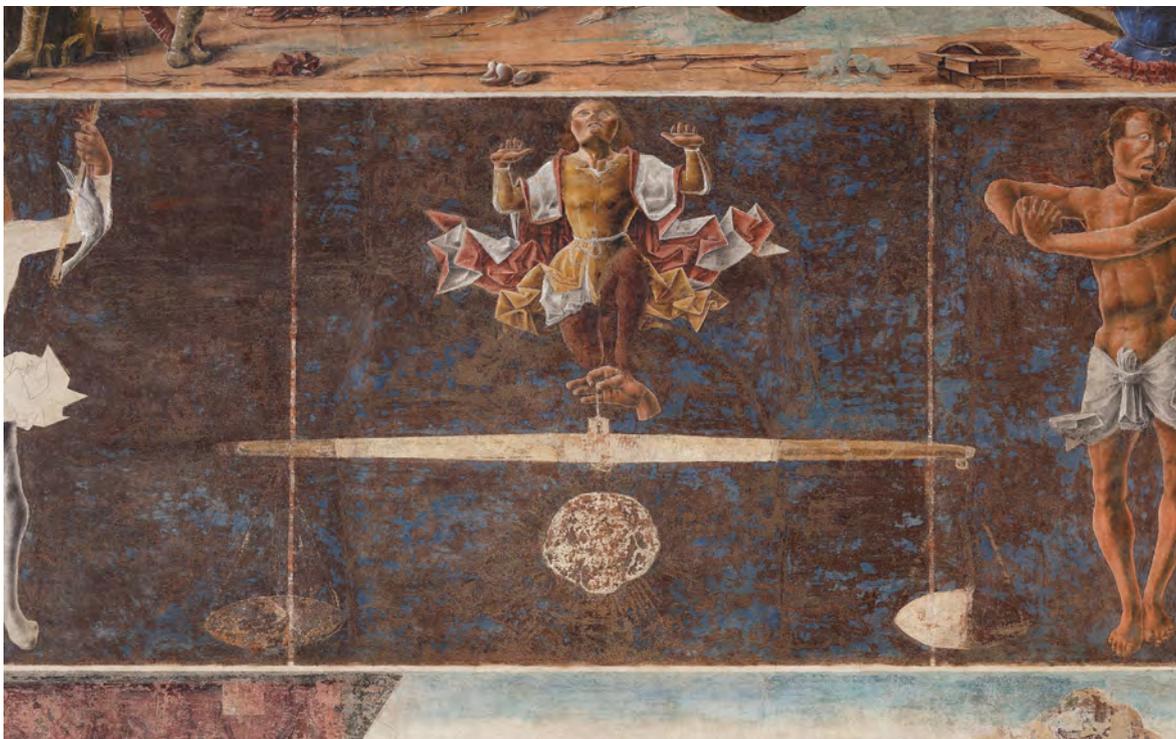
- i segni zodiacali sono disposti in una sequenza coerente con un punto di vista collocato al centro della sfera celeste;



13.
Salone dei Mesi di Schifanoia, segno zodiacale della Vergine (Ph. A. Cesari, Bologna). Su concessione dei Musei di Arte Antica, Comune di Ferrara.

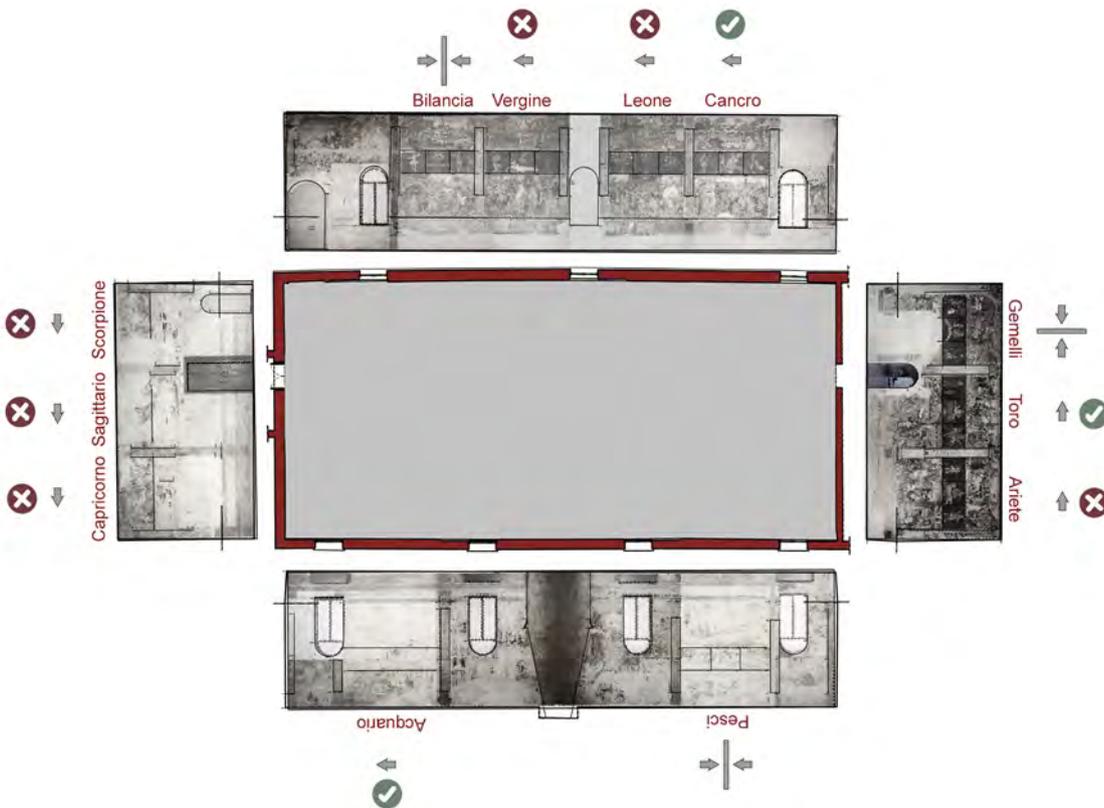
14.
Salone dei Mesi di Schifanoia, segno zodiacale della Bilancia (Ph. A. Cesari, Bologna). Su concessione dei Musei di Arte Antica, Comune di Ferrara.

13.



14.

- Gemelli, Bilancia e Pesci presentano una figurazione di tipo simmetrico rispetto ad un asse verticale, senza evidenziare una direzione preferenziale di lettura;
- tutti gli altri segni, ad eccezione dell'Acquario, hanno la testa posizionata a sinistra, indirizzando l'osservatore verso un unico senso di lettura;
- questo orientamento dei segni non è coerente con la sfera celeste tolemaica per l'Ariete, il Leone, la Vergine, lo Scorpione, il Sagittario e il Capricorno. Per questi settori, dunque, la posizione delle coordinate (e di conseguenza delle stelle) deve essere



15. Quadro di sintesi degli orientamenti dei segni, la freccia indica la posizione della testa della figura (a sinistra oppure a destra), il simbolo sovrastante indica la coerenza dell'orientamento con la costellazione astronomica reale.

16. *Astrolabium planum in tabulis Ascendens* di Johannes Angelus (1488), segno dell'Ariete e del Toro.

15.



16.

letta da sinistra (0° del segno) verso destra (30° del segno) e non viceversa.

La disposizione speculare di alcune rappresentazioni dei decani non solo è stata indagata dalla letteratura specialistica, ma è anche stata evidenziata negli scritti di Marco Bertozzi (2012) e Kristen Lippincot (2006), che

segnalano, con approfonditi e colti commenti, alcune importanti testimonianze iconografiche, tra cui un manoscritto del *Picatrix* e le incisioni dell'*Astrolabium planum in tabulis Ascendens* di Johannes Angelus²⁸. Osservando le immagini tratte da quest'ultima fonte [fig. 16] è possibile notare non solo che i segni esibi-

scono sempre il capo posizionato a sinistra, ma anche l'inversione destra-sinistra dei due decani del mese di marzo. Come a Schifanoia, infatti, il famoso *Vir niger*²⁹, compare qui alla sinistra del segno invece che alla sua destra, contrariamente a quanto dovrebbe essere secondo le mappe astronomiche [fig. 17].

Altre due famose testimonianze iconografiche, trattate anche nei due studi precedentemente citati, ci aiutano ad approfondire ulteriormente queste osservazioni. Nel celebre *Planisfero Bianchini*³⁰, l'Ariete ha la testa a destra, il Toro a sinistra e lo Scorpione a destra, in coerenza con la sequenza delle immagini schematizzate nel cielo reale. In questo reperto, oltre ai segni citati, è sopravvissuto anche un frammento della Bilancia, ritratta come un uomo che regge nella mano destra lo strumento per pesare. I piatti della bilancia sono coerentemente disposti rispetto alla loro forma nel cielo reale. In questo reperto, dunque, il decano *Vir niger* è dunque correttamente posizionato alla destra dell'Ariete, secondo la tradizione astronomica.

Allo stesso modo, anche nelle *tablettes astrologiques de Grand*³¹, tutti i segni sono correttamente orientati (ad eccezione dello Scorpione). Di conseguenza, il *Vir niger* risulta anche qui correttamente disposto alla destra dell'Ariete.

Conclusioni

In sintesi, alla luce di quanto emerso, è possibile formulare alcune considerazioni.

Le rilevazioni sulla posizione delle stelle dipinte nel ciclo di Schifanoia hanno evidenziato che la loro disposizione non rispetta le coordinate del catalogo tolemaico, né vi è una corrispondenza numerica.

Tutti i segni zodiacali, ad eccezione di quelli simmetrici

rispetto ad un asse verticale e dell'Acquario, sono orientati con il capo a sinistra, condizione che implica una disposizione delle stelle speculare in diversi casi. Questo orientamento si riflette anche sulla posizione di alcuni dei decani associati³², come suggerito dalla pagina dell'*Astrolabium planum* dedicata all'Ariete [fig. 16]. Per queste ragioni, gli studi precedenti hanno attribuito alle scelte compositive e distributive del programma astrologico una valenza prevalentemente figurativa ed artistica, il cui valore prevale così sulla coerenza scientifica.

Una ricerca visiva sul catalogo di immagini curato da Kristen Lippincot³³ restituisce rappresentazioni del segno dell'Ariete orientate sia a destra che a sinistra, mostrando una grande variabilità nel numero e nella posizione delle stelle, che cambiano in relazione alla fonte testuale. Questi aspetti, fondamentali per la comprensione dell'iconografia zodiacale e, più in generale, per l'intero programma del Salone dei Mesi di Schifanoia, devono essere ricondotti agli studi di settore. Saranno tali studi a proseguire, offrendo letture sempre più dettagliate e accurate, per una comprensione più profonda e completa di questo straordinario ciclo pittorico, espressione della complessa cultura astronomica della corte estense.

Crediti e ringraziamenti

Si desidera esprimere il più sentito ringraziamento al Settore Cultura e Turismo, Servizio Musei d'Arte del Comune di Ferrara, alla Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze e all'Opera medicea Laurenziana per le autorizzazioni concesse, al fotografo Antonio Cesari per le immagini e, infine, ai referee per il loro prezioso contributo.

17. Salone dei Mesi di Schifanoia, mese di Marzo (Ph. A. Cesari, Bologna). Su concessione dei Musei di Arte Antica, Comune di Ferrara.



Note

1. Questa lettera è conservata all'Archivio di Modena (del Cossa 1470).
2. Su Pellegrino Prisciani (Bertozzi 2011, 2020; Folin 2010; Rotondò 1960). Alla sua figura sono dedicati il numero 58-59 della rivista *Schifanoia*, 2020 e il numero monografico dei *Quaderni estensi* 1/2024.
3. Il poema, articolato in cinque libri, rappresenta la prima opera completa sull'astrologia giunta fino a noi. Non si hanno informazioni certe sull'autore, vissuto probabilmente durante i regni di Augusto e Tiberio e deceduto intorno al 22 d.C. L'opera è stata pubblicata in un'edizione critica suddivisa in due volumi. (vol. I 1996, vol. II 2001). Cfr. (Manilius 1996, 2001).
4. Abū Ma'shar, astronomo e astrologo musulmano attivo a Baghdad nel IX secolo, è autore del *Grande libro di introduzione all'astronomia*, un'opera tradotta più volte in latino durante il Medioevo. Di questo testo si veda l'edizione critica con traduzione inglese (Yamamoto, Burnett 2019).
5. Il manoscritto arabo, scritto intorno alla metà del XI secolo in Spagna, fu fatto tradurre in casigliano da Alfonso X nel 1256. L'opera è un insieme composito di magia e astrologia, che attinge a varie fonti. Una traduzione inglese è stata edita da (Attrell, Porreca, 2019), condotta sull'edizione critica del testo latino (Pingree 1986). Cfr. anche (Rossi 1999).
6. Cfr. (Bertozzi 1999, 2002; Warburg 1999). A questo edificio e alle pitture murali del Salone dei Mesi sono state dedicate due importanti opere (Settis, Ghiraldini 2007; Varese 1989) alle quali si rimanda per la bibliografia estesa.
7. I decani sono associati alla tripartizione dell'arco dell'eclittica che corrisponde a ciascun segno zodiacale. Misurano dunque 10° e furono utilizzati nell'astronomia e nell'astrologia antica. Sugli dei decani di Schifanoia, oltre a Bertozzi che ne individua fisionomia e significato in relazione alle fonti (1999), si veda anche (Lippincott 1994).
8. Mi sono occupata più volte di questo tema, si veda ad esempio (Incerti 2013). Su questo ciclo è stato anche realizzato un prodotto multimediale interattivo che contiene 60 videoclip, uno per ciascun quadro del grande palinsesto.
9. Il piede ferrarese misura 0,40038 m (Martini 1883).
10. A completamento delle informazioni si ricorda che la fascia inferiore è alta 5 piedi ferraresi, mentre quella superiore 4 circa (Incerti 2013).
11. Il significato della frase seguente va interpretato in relazione alla posizione della parola nello spazio, piuttosto che all'ordine di lettura dei singoli segni.
12. Anche il questo caso deve essere ripetuto il ragionamento spaziale espresso nella nota precedente.
13. La rappresentazione del cielo stellato e delle singole costellazioni secondo una prospettiva interna o esterna alla sfera celeste è ampiamente documentata nella tradizione classica e medievale. Questa eredità millenaria manifesta la presenza di interferenze e mescolanze di orientamenti anche all'interno della medesima mappa.
14. *MS 5415*, fol. 168r Österreichische Nationalbibliothek Wien. È evidente che, in questo caso, la rappresentazione della sfera celeste è osservata dall'esterno, poiché alcune figure sono viste di spalle. Una riproduzione digitale in alta definizione di questa mappa, con commenti, è disponibile sul sito di Felice Stoppa <https://www.atlascoelestis.com/>; un recente studio su questo reperto è (Roland 2016). Sugli atlanti celesti si vedano inoltre (Dekker 2013; Grimaldi 1905; Gundel 1992).
15. Albrecht Durer, *Imagines coeli Septentrionales cum duodecim imaginibus zodiaci*, Norimberga 1515. Disponibile in alta risoluzione al link <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8444076j#>
16. Per i cataloghi stellari, è consuetudine fare riferimento a quello contenuto nel Libro VII del *Mathēmatikē Syntaxis* (Trattato di matematica), opera più nota con il nome di derivazione araba *Almagesto*. Cfr. (Grasshoff 1990; Peters, Knobel 1915; Toomer 1984).
17. Il tema dell'orientamento del ciclo narrativo è stato trattato da (Bertozzi, 2012).
18. Su metodi, procedure e conclusioni del lavoro si veda (Incerti, Bònoli, Ranfagni 2025), in corso di stampa.
19. Studi su questo tema sono stati prodotti in ambito italiano da Anna Santoni, tra i suoi più recenti lavori si veda (Santoni, 2023b, 2023a), e da Kristen Lippincott con il *The SAXL Project* e la relativa bibliografia edita nel sito, tra cui si segnala (Lippincott, 2006) <https://www.thesaxlproject.com/>.
20. Il rilievo topografico dell'intero edificio e del salone conta in totale 528 punti misurati con Stazione Totale (arch. G. Galvani, arch. M. Cecchinato e M. Incerti 2006).
21. Questi disegni autografi insieme ad alcuni appunti sono tra le poche carte che rimangono del Toscanelli. Le osservazioni delle comete sono datate tra il 1433 e il 1472, e sono conservate nel manoscritto della Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze, Banco Rari 30 BNCF, antiche segnature: 9.2.14, Magl. XI.121/3.
22. Le carte e le stelle misurate dal Toscanelli sono state studiate *in primis* da (Celoria 1894) e, in seguito, da molti di coloro che si sono occupati delle cupole astronomiche fiorentine.
23. In questa simulazione sono state utilizzate le coordinate originali del catalogo di Tolomeo senza considerare la precessione, ci interessava infatti valutare le distanze relative tra gli astri.
24. Stella 1 Aries: *Praecedens duarum quae sunt in cornu* Long. 6.40, Lat. 7.20, gamma Ari; Stella 10 Aries: *Sequens ipsarum* (si riferisce all'ultima sulla coda) Long. 27.0, Lat. 1.50, tau 2 Ari.
25. Le stelle *informate* sono quelle collocate al di fuori della rappresentazione del soggetto mitologico di una costellazione, e hanno una numerazione autonoma. Per le coordinate delle stelle si fa riferimento a (Grasshoff 1990; Peters, Knobel 1915; Toomer 1984).
26. A queste occorre poi aggiungere le 11 informate.
27. Cfr. (Bonora 1992), alcune stelle sono ancora chiaramente visibili e la loro posizione è stata misurata dal rilievo topografico.
28. Edito per la prima volta ad Augusta nel 1488 (Angeli 1488). Nel trattato tutte le figure sono rivolte a sinistra, ad eccezione di quelle simmetriche rispetto ad un asse verticale.
29. Il primo decano dell'Ariete è un uomo di pelle scura,

occhi rossi, robusto, con giacca e pantaloni bianchi e stracciati. Sta in piedi, in atteggiamento minaccioso, ed è cinto in vita da una corda, di cui tiene un capo con la mano sinistra. La misteriosa simbologia espressa in questa figura deriva da un antico testo di astrologia, la sfera indiana del trattato di Albumasàr. Per l'argomentazione sulle inversioni di posizione tra i decani si rimanda a (Bertozzi 1999).

30. *Planisfero Bianchini*, II sec., Parigi, Musée du Louvre, inv. Ma 540. L'immagine della tavola è disponibile al link <https://brunelleschi.imss.fi.it/galileopalazzostrozzi/object/BianchinisPlanisphereZoom.html>.

31. I due dittici sono conservati, uno al Museo Dipartimentale d'Arte Antica e Contemporanea di Épinal, l'altro al Museo Archeologico Nazionale di Saint-Germain-en-Laye. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bf/Tablette_zodiacale_de_Grand_-_MAN.jpg

32. Per la complessa analisi sull'identità e l'orientamento dei decani si rimanda a (Bertozzi 1999).

33. Oltre al catalogo di immagini sul sito generale del Warburg Institute, è possibile consultare una selezione di rappresentazioni del segno dell'Ariete al link: <https://www.thesaxlproject.com/assets/Uploads/00-Aries-Master-0-R-6-Oct-2023.ptx.pdf>.

18. Salone dei Mesi di Schifanoia, mese di Aprile (Ph. A. Cesari, Bologna). Su concessione dei Musei di Arte Antica, Comune di Ferrara.



18.

Bibliografia

- Angeli J. (1488). *Astrolabium planum in tabulis Ascendens*. Augusta: Ratdolt, Erhard.
- Attrel D., Porreca D. (2019). *Picatrix A Medieval Treatise on Astral Magic*. University Park, Pennsylvania: Pennsylvania State University Press.
- Bertozzi M. (1999). *La tirannia degli astri: gli affreschi astrologici di Palazzo Schifanoia*. Livorno: Sillabe.
- Bertozzi M. (a cura di). (2002). *Aby Warburg e le metamorfosi degli antichi dei*. Modena: F.C. Panini.
- Bertozzi M. (2011). 'Caput draconis': i consigli astrologici di Pellegrino Prisciani alle principesse d'Este. In M. Ariani, A. Bruni, A. Dolfi, A. Gareffi (a cura di), *La parola e l'immagine. Studi in onore di Gianni Venturi*, pp. 245-251. Firenze: Olschki.
- Bertozzi M. (2012). A doppio senso: istruzioni su come orientarsi nelle immagini astrologiche di Palazzo Schifanoia. *AISTHESIS*, n. 2 (5), pp.233-247.
- Bertozzi M. (2020). Lettere di conforto : i consigli astrologici di Pellegrino Prisciani alle principesse d'Este. *Schifanoia*, n. 58-59 , pp.15-21.
- Bonora M. (1992). *Lo Zodiaco del principe: i decani di Schifanoia di Maurizio Bonora*. Ferrara: Maurizio Tosi.
- Celoria G. (1894). *Sulle osservazioni di comete fatte da Paolo dal Pozzo Toscanelli e sui lavori astronomici suoi in generale*. Roma: Hoepli.
- Dekker E. (2013). *Illustrating the phaenomena: celestial cartography in antiquity and the Middle Ages*. Oxford University Press.
- del Cossa F. (1470). Lettera di Francesco Del Cossa, 25 marzo 1470. *Archivio di Stato di Modena, Archivio per materie Arti belle Pittori B 2*. Arc.
- Folin M. (2010). La Proportionabilis et commensurata designatio urbis Ferrariae di Pellegrino Prisciani (1494-1495). In Folin, M. (a cura di), *Rappresentare la città. Topografie urbane nell'Italia di antico regime*, pp. 99-120. Reggio Emilia: Diabasis.
- Grasshoff G. (1990). *The history of Ptolemy's star catalogue*. New York: Springer-Verlag.
- Grimaldi A. (1905). *A catalogue of zodiacs and planispheres: originals and copies, ancient and modern, extant and nonextant, from B.C. 1320 to A.D. 1900*. London: Gall & Inglis.
- Gundel H. G. (1992). *Zodiakos : Tierkreisbilder im Altertum*. Mainz am Rhein: Philipp von Zabern.
- Incerti M. (2013). Misura del cielo e misura dello spazio nella Sala dei mesi di Schifanoia. *Schifanoia. Rivista Dell'Istituto Di Studi Rinascimentali di Ferrara, Atti della Settimana di Alti Studi*, n. 42-43 , pp.151-167.
- Lippincott K. (2006). Between text and Image: Incident and accident in the history of astronomical and astrological illustration. In P. Morel, F. Albertini, V. Schmitt (a cura di), *L'Art de la Renaissance entre science et magie*, pp. 3-24. Paris: Somogy.
- Manilius M. (1996). *Il poema degli astri*. Roma, Milano: Fondazione L. Valla, A. Mondadori.
- Martini A. (1883). *Manuale di metrologia, ossia misure, pesi e monete in uso attualmente e anticamente presso tutti i popoli*. Torino: E. Loescher.
- Peters C. H. F., Knobel E. B. (1915). *Ptolemy's catalogue of stars; a revision of the Almagest*. Washington: The Carnegie Institution of Washington.
- Pingree D. (a cura di). (1986). *The Latin Version of the Ghayat-al-Hakim*. London: Studies of the Warburg Institute, University of London.
- Roland M. (2016). Die Wiener Sternkarten von 1435 Astronomie, Ikonographie, Stil, Gesellschaft. In J. Hamel, W. R. Dick (a cura di), *Beiträge zur Astronomiegeschichte*. Leipzig: AVA.
- Rossi P. A. (a cura di). (1999). *Picatrix: dalla versione latina del Ghayat al-hakim*. Milano: Associazione culturale Mimesis.
- Rotondò A. (1960). Pellegrino Prisciani (1435 ca.-1518). *Rinascimento*, n. II (1), pp. 70-110.
- Santoni A. (2023a). *La costellazioni e i loro miti al tempo di Carlo Magno. Il contributo della tradizione aratea alla conoscenza del cielo in età carolingia*. Pisa: ETS.
- Santoni A. (2023b). Nomi, figure, posizioni : la conoscenza delle costellazioni in due mappe aretee del 1000 ca. In E. Antonello (a cura di), *Per la nobilitate del suo subietto e per la sua certezza*, pp. 87-110. Padova: Padova University Press.
- Settis S., Ghiraldini A. (a cura di). (2007). *Il Palazzo Schifanoia a Ferrara*. Modena: Panini.
- Toomer G. J. (1984). *Almagest*. London: Duckworth.
- Varese R. (a cura di). (1989). *Atlante di Schifanoia*. Modena: Panini.
- Warburg A. (1999). Arte italiana e astrologia internazionale nel Palazzo Schifanoia di Ferrara. In M. Bertozzi (a cura di ed.), *Tirannia degli astri: Aby Warburg e l'astrologia di Palazzo Schifanoia*, pp. 81-112. Livorno: Sillabe.
- Yamamoto K., Burnett C. (2019). *The Great Introduction to Astrology by Abū Ma 'šār (2 vols.)*. Leiden: Brill.



Telescopio 3.6 m e CAT e sul fondo il centro della *Via Lattea* (fonte: ESO.org.).

Uno sguardo sul patrimonio scientifico astronomico architettonico di La Silla

Abstract

Il Cile ospita un patrimonio unico legato all'astronomia, con infrastrutture come l'*Osservatorio* di La Silla, sviluppato dall' ESO dal 1963. Questo patrimonio scientifico e architettonico riflette la ricerca globale sull'Universo, ma è minacciato dall'obsolescenza tecnologica dei suoi strumenti ed edifici. Il lavoro propone un approccio interdisciplinare per censire, valorizzare e tutelare queste strutture, promuovendone il riuso a fini educativi e culturali. Attraverso collaborazioni e attività didattiche, si mira a preservare il contributo scientifico, storico e architettonico di La Silla per le future generazioni.

Chile hosts a unique heritage linked to astronomy, with infrastructures such as the La Silla *Observatory*, developed by ESO since 1963. This scientific and architectural heritage reflects global research on the Universe but is threatened by the technological obsolescence of its instruments and buildings. This work proposes an interdisciplinary approach to catalog, enhance, and protect these structures, promoting their reuse for educational and cultural purposes. Through collaborations and educational activities, the goal is to preserve La Silla's scientific, historical, and architectural contribution for future generations.

Key-words

Osservatorio astronomico
La Silla
Patrimonio scientifico
Patrimonio architettonico
Educazione e Comunicazione
della scienza

Cecilia Wolff
Università del Cile
→ momwolff@uchile.cl
Nicoletta Lanciano
Università di Roma La Sapienza
→ nicoletta.lanciano@fondazione.uniroma1.it

Introduzione al patrimonio culturale presente a La Silla

Il Cile è un paese lungo e stretto che si estende tra i paralleli 17°29'57" Sud e 56°32'12" Sud e ha una larghezza media di appena 200 km. Ha una grande tradizione nell'osservazione astronomica, grazie alle sue caratteristiche geografiche e atmosferiche che si traduce in un ricco patrimonio di conoscenze, scoperte, tecnologie, istituzioni e infrastrutture. Dal punto di vista culturale, questo complesso è riconosciuto come "Patrimonio Scientifico" (Lanciano 1998; 2018), poiché rappresenta la storica ricerca di comprensione della Natura e dell'Universo. In particolare, per lo sviluppo dell'Astronomia, le scelte fatte per le infrastrutture architettoniche rivestono una rilevanza fondamentale e forniscono una situazione ottimale anche per le tecnologie di osservazione moderne. Gran parte di questo patrimonio corrisponde alle infrastrutture sviluppate da istituzioni cilene e internazionali, tra cui le più importanti sono ESO, NSF, AURA, Carnegie, NRAO e NAOJ¹ e quindi la sua importanza riguarda e coinvolge la comunità mondiale. Il patrimonio scientifico si trasforma in patrimonio culturale quando viene riconosciuto, valorizzato e protetto dalla società nel suo complesso, poiché rappresenta una parte fondamentale dell'identità nazionale e contribuisce alla conoscenza e allo sviluppo sostenibile (Wolff 2015): per questo è riconosciuto come lascito di conoscenza scientifica, culturale ed educativa del Paese. Inoltre, la valorizzazione delle infrastrutture architettoniche le preserva dalla distruzione e ne evidenzia l'importanza, riconoscendole come opere, design e tecnologia al servizio della scienza. Ciò avviene attraverso il censimento, la valutazione e la valorizzazione delle infrastrutture esistenti, per cui si utilizzano metodologie sviluppate per la protezione del patrimonio architettonico e culturale (UNESCO 2003).

Dagli anni '60, in particolare a La Silla, sono stati costruiti edifici complessi e con strumenti di grande precisione tecnologica, il cui valore si va perdendo a causa dell'ininterrotto enorme progresso delle strumentazioni di osservazione astronomica. Molte di queste, infatti, oggi sono obsolete ed è difficile gestirle e farne adeguata manutenzione.

Obiettivi del lavoro

Obiettivo Generale. Obiettivo generale del lavoro presentato nel seguito è quello di organizzare un Gruppo di ricerca interdisciplinare con l'obiettivo di riconoscere e valorizzare il "Patrimonio Scientifico Astronomico e Architettonico" del Cile e in particolare dell'*Osservatorio* di La Silla, che comprende infrastrutture sviluppate dall'*European Southern Observatory*. L'iniziativa mira a fornire una base per la collaborazione scientifica, centrata sull'Astronomia e l'Architettura, contribuendo all'educazione e

alla comunicazione scientifica e architettonica. L'obiettivo di questo gruppo ha radici nel riconoscimento e nella valorizzazione del patrimonio architettonico, astronomico, scientifico dell'*Osservatorio* di La Silla come parte del Patrimonio Scientifico di interesse globale, attraverso metodologie per la tutela e la gestione (DDU 400; UNESCO 2003), secondo i criteri del patrimonio architettonico e urbano e per il contributo allo sviluppo della scienza e della cultura, del Cile e del mondo.

Obiettivi specifici. Tra gli obiettivi specifici che si intende perseguire, vi sono i seguenti:

1. Censire le strutture, in particolare quelle di osservazione astronomica, che compongono il patrimonio architettonico attuale di La Silla, attraverso lo studio del loro contesto storico e l'analisi del loro stato di conservazione, dell'uso attuale, e della relativa obsolescenza di alcune di esse rispetto al lavoro attivo degli astronomi, con il fine di capire la possibilità di trasformazione o di riuso degli edifici stessi in infrastrutture di comunicazione ed educazione scientifica. Tale censimento è già iniziato con il lavoro delle studentesse di Architettura per il loro progetto di laurea (Montoya 2023; Faba 2022) e con i progetti di ricerca recentemente avviati con i fondi dell'Università del Cile (RNIT 2024) e del *Comité Mixto* 2024-2026 (ESO/ Governo del Cile).
2. Evidenziare il patrimonio scientifico intangibile vincolato alle scoperte astronomiche più importanti nelle quali sono stati utilizzati gli strumenti astronomici di La Silla.
3. Proporre alternative per diffondere la conoscenza del patrimonio astronomico tangibile ed intangibile del complesso di La Silla, attraverso attività didattiche in diversi spazi educativi tra cui la Facoltà di Architettura e Urbanistica e la Facoltà di Scienze Fisiche e Matematiche dell'Università del Cile e gli



1.

1. In basso nella foto i petroglifi attribuiti alla cultura Molle, in cima a destra il telescopio di 3.6 metri dell'ESO (fonte: ESO/ B. Tafresh).

incontri in Italia di Astronomia culturale e Archeoastronomia, e del Gruppo di ricerca sulla Pedagogia del cielo del MCE (Movimento di Cooperazione Educativa) e dell'Officina Matematica di Emma Castelnuovo, tra gli altri.

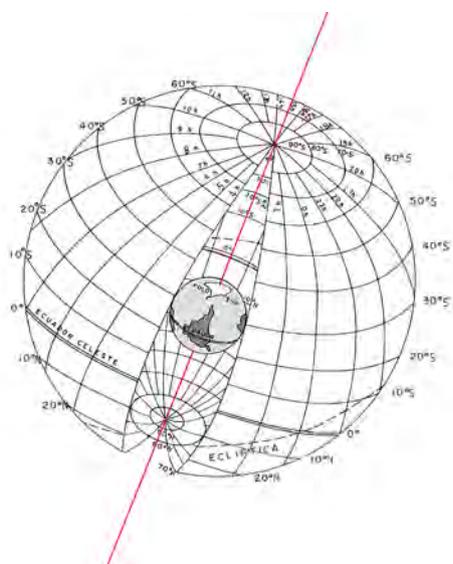
Il cielo cileno, un patrimonio naturale

Il nord del Cile è stato per secoli luogo di osservazione astronomica, ma i primi grandi osservatori arrivarono nel Paese alla fine del XIX secolo perché gli astronomi che lavoravano nell'emisfero settentrionale, avevano bisogno di osservare e analizzare l'intero cielo da polo a polo (Silva 2019). Il primo Osservatorio scientifico del Cile fu costruito nel 1843 a Valparaíso dall'orologiaio svizzero Juan Mouat, che arrivò nel paese per gestire gli strumenti di navigazione intercontinentale nel porto, prima dell'apertura del Canale di Panama (Bustamante 2025). Nel 1850, venne eretto il secondo Osservatorio a Santiago, sotto la direzione dell'astronomo James Melville Gilliss, incaricato della Spedizione Astronomica Navale degli Stati Uniti per osservare la sfera celeste dall'emisfero Sud (oan.uchile.cl). Il terzo, l'Osservatorio Lick (oggi Foster), fu costruito sul Cerro San Cristóbal da una missione dell'Università della California con lo stesso obiettivo di studiare l'emisfero celeste australe (Silva 2019). Dopo il 1910, non vennero costruiti altri osservatori fino all'inizio della corsa allo Spazio, nella seconda metà del XX secolo, quando delegazioni da Stati Uniti, Europa e Russia iniziarono a studiare e sfruttare le eccezionali condizioni atmosferiche e la posizione privilegiata del Deserto di Atacama per l'osservazione astronomica. Da quel momento in poi il Cile è diventato sede delle più importanti agenzie internazionali di osservazione astronomica. Dal punto di vista culturale l'altro aspetto rilevante

è che i grandi osservatori condividono il territorio con vestigia dei popoli nativi, della cultura Molle (Ballereau; Niemeyer 1996), con la presenza di petroglifi [fig. 1]. Si tratta di un centinaio di incisioni rupestri e, sebbene sia difficile accertare con precisione il significato, sembra che un allineamento astronomico possa essere attribuito ad una peculiare struttura in pietra artificiale. La datazione archeoastronomica di questo allineamento coincide con quella dei petroglifi e consente di evidenziare una connessione con una funzione pratica, ragionevole per la popolazione a cui questa struttura è attribuita (Vecchiato et al. 2015). Questo insieme complesso rappresenta quindi, un patrimonio dove arte e storia convivono con la scienza, senza quella separazione tra i due mondi, così come concepiti dai popoli indigeni e anche dalla civiltà occidentale fino a prima dell'avvento del dualismo nella cultura occidentale, che fino a tempi recenti ha impedito di leggere e abitare questo patrimonio nel suo insieme. Tuttavia, la visione attuale del concetto di *Heritage*, che è migrata dalla fine del XVII secolo dal concetto di "monumento" proposto da Viollet le Duc a quello culturale e antropologico delle scuole americane (Chanfón 1988), permette di considerare La Silla un patrimonio materiale e immateriale, sia per l'infrastruttura materiale che sostiene e custodisce i telescopi sia per le scoperte scientifiche che, grazie ad essa, sono state possibili, sia per le tracce delle culture indigene. A livello di patrimonio mondiale dell'UNESCO, l'idea di includere in esso anche il patrimonio scientifico e tecnologico legato all'esplorazione spaziale, nasce nel contesto della Strategia Globale per una Lista del Patrimonio Mondiale equilibrata, rappresentativa e credibile, nel 2007 e perfezionata in seguito nel 2009, durante la Conferenza Internazionale organizzata nel quadro

2. Sfera celeste col globo terracqueo orientato ed il Cile in mezzo (fonte: Consuelo Montoya, 2022).

3. Mappa del Cile con l'ubicazione degli Osservatori più importanti (fonte: <https://slideplayer.es/slide/13819421/>)



2.

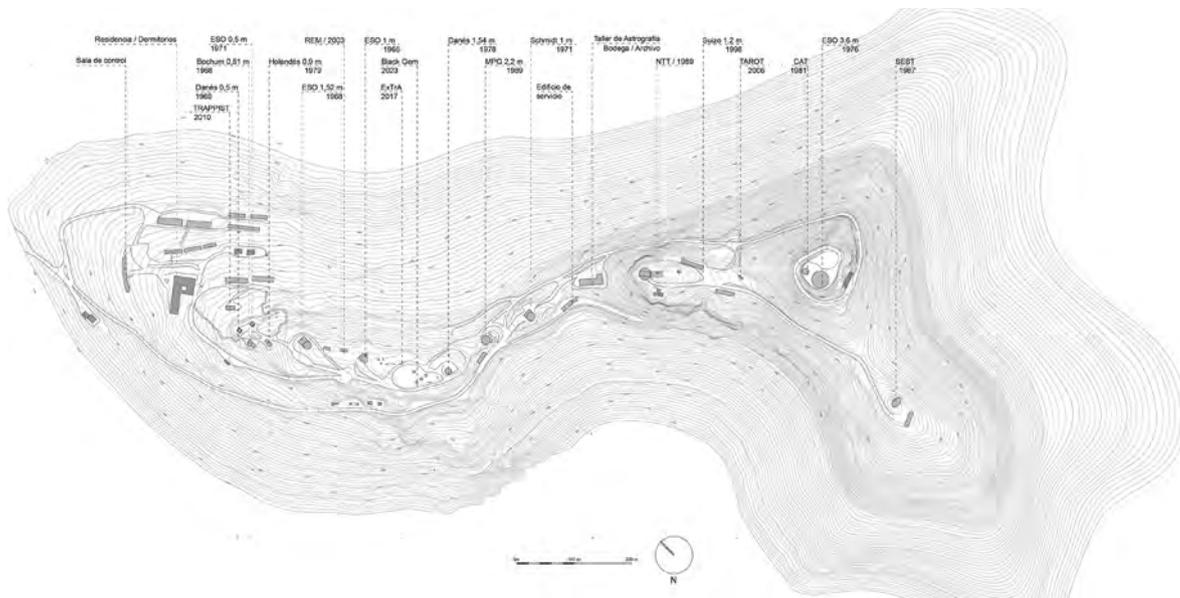


1.



4. Vista generale di La Silla (fonte: ESO.org).

5. Mappa di La Silla con i suoi telescopi ed altri edifici (elaborazione grafica di C. Wolff).



5.

delle Nazioni Unite, in cui appare la prima proposta sulla definizione delle categorie dei siti tecnologici spaziali (UNESCO 2009).

La Silla: una piccola “città bianca” in cima alle colline

Tra i siti di osservazione astronomica presenti in Cile, ci concentriamo sul sito di La Silla, emblema dell'ESO, nella parte meridionale del deserto di Atacama, a 2.400 metri di altitudine, lontano da fonti di inquinamento luminoso e le cui notti sono tra le più buie della Terra [figg. 2,3]. Qui, l'ESO gestisce due dei telescopi ottici che sono stati tra i più produttivi al mondo. L'accordo tra Cile ed ESO, firmato nel 1963, stabiliva che una volta abbandonati i siti per l'osservazione, questi dovessero ritornare allo stato iniziale, cosa che in pratica risulta

oggi impossibile poiché nella zona si sono verificati anche cambiamenti di ordine geologico/geografico. Inoltre, si è investito non solo nelle strutture edilizie, nell'ubicazione e nell'accessibilità stradale alla zona, ma anche in innumerevoli sistemi di rete di produzione energetica attraverso fattorie solari, di infrastrutture di ospitalità e approvvigionamento per chi fa ricerca, chi ci lavora anche per la manutenzione e per i visitatori. Da parte del Cile esistono, inoltre, leggi territoriali e nazionali (Ley 19.300, 2024) per regolare l'inquinamento luminoso del cielo intorno agli Osservatori Astronomici, e non bisogna dimenticare che anche l'oscurità è un patrimonio di grande rilevanza che è importante tutelare (Vicuña, Sanhueza 2020, p. 53). La Silla, primo sito ESO in Cile, è oggi una piccola città bianca sulla cima delle colline, luogo che, come di-

cono gli astronomi “raccolge la luce dall'Universo sotto forma di materia prima”. È molto evidente il contrasto cromatico tra il bianco degli edifici e il terreno circostante, così come il contrasto tra natura e tecnologia [figg. 4,5]. Il colore bianco garantisce la riflessione dei raggi solari durante il giorno, ed ha lo scopo di non riscaldare gli strumenti e l'ambiente, se di notte è meno caldo, e così l'atmosfera deforma meno le immagini. Negli osservatori di ultima generazione il problema della deformazione delle immagini si affronta con la nuova tecnologia dell'ottica adattiva, tramite un raggio laser che proietta una stella artificiale sullo strato di sodio

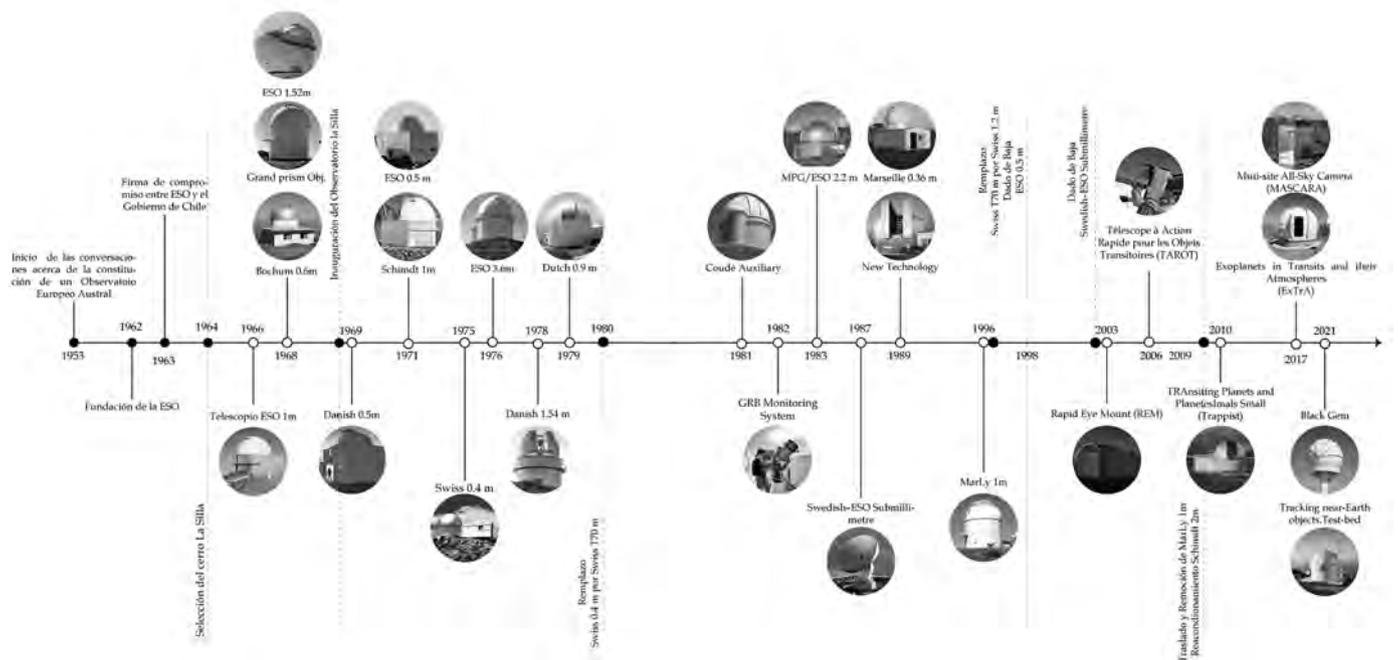
dell'atmosfera a 90 km di quota; tale effetto di disturbo qualche decennio fa veniva invece affrontato con l'allontanamento dal suolo dei telescopi, per cui sono stati costruiti edifici che risultano altissimi cilindri, dipinti esternamente di bianco.

A La Silla, sono stati costruiti circa 30 telescopi per ospitare i più delicati e complessi strumenti ottici che di volta in volta era possibile costruire in quel momento [figg. 6,7]. A questi si aggiungono una decina di altri edifici, tra cui uffici di controllo, residenze, serbatoi, antenne e magazzini. L'intero complesso è organizzato attraverso una rete di strade e sentieri che fanno parte del complesso urbano. Dal

6.
Tavola delle date di costruzione degli telescopi (elaborazione di C. Wolff).

Year	Name	Current status
1968	ESO 1 m telescope	National and project telescopes in operation
1968	Grand Prispe Objectif /GOP telescope	Decommissioned
1968	ESO 1.52 m telescope	Decommissioned
1968	Bochum 0.61 m telescope	Decommissioned
1969	Danisch 0.5 m telescope	Decommissioned
1971	ESO 0.5 m telescope	Decommissioned
1971	Schmidt 1 m telescope	National and project telescopes in operation
1975	Swiss 0.4 m telescope	Decommissioned
1976	ESO 3.6 m telescope	Currently operated by ESO
1978	Danish 1.54 m telescope	National and project telescopes in operation
1979	Dutch 0.9 m telescope	Decommissioned
1980	Swiss T70 telescope	Decommissioned
1981	Coudè Auxiliary Telescope (CAT)	Decommissioned
1982	GRB Monitoring System (GMS)	Decommissioned
1987	Swedish ESO Submillimeter Telescope (SEST)	Decommissioned
1989	MPG /ESO 2.2 m telescope	National and project telescopes in operation
1989	New Technology Telescope (NTT)	Currently operated by ESO
1989	Marseille 0.36 m telescope	Decommissioned
1996	Marly 1 m telescope	Decommissioned
1998	Swiss Leonhard Euler 1.2 m	National and project telescopes in operation
2003	Rapid Eye Mount (REM) Telescope	National and project telescopes in operation
2003	HARPS instrument	Unverified information
2006	Rapid Action Telescope for Object Transisor (TAROT)	National and project telescopes in operation
2010	Transiting Planets and Planetsmalls Small Telescope South (TRAPPIST)	National and project telescopes in operation
2017	MASCARA	Currently in operation
2017	EXTRA	Currently in operation
2021	Test-Bed Telescope (TBT)	Currently in operation
2021	Blackgem	Currently in operation

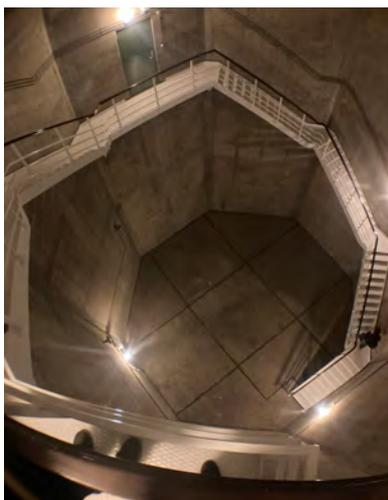
6.



7.

punto di vista architettonico, la maggior parte degli edifici presenta una morfologia cilindrica con il telescopio situato nella parte superiore e coperto da una cupola emisferica che si apre al centro e può ruotare a 360° [fig. 8]. Altre tipologie architettoniche sono legate a osservatori sperimentali, come il *Swedish-ESO Submillimeter Telescope* (SEST), precursore delle antenne di ALMA, o il *New Technology Telescope* (NTT) [fig. 9], progettato per sperimentare una tipologia che sarebbe stata successivamente utilizzata nei quattro telescopi (VLT) di Paranal. In questo caso, la cupola ha una terminazione orizzontale con angolo retto e presenta aperture di ventilazione orizzontali che consentono all'aria di passare senza produrre distorsioni che potrebbero alterare le immagini. Inoltre, esistono piccoli osservatori

come gli *ExTrA* e i *BlackGEM*, di forma sferica, che vengono utilizzati per l'osservazione tramite interferometria degli esopianeti o altri oggetti celesti (eso.org). Questa varietà di tipologie edilizie dimostra che La Silla è stata anche un laboratorio per la sperimentazione di nuove forme di osservazione, le cui innovazioni sono visibili oggi negli osservatori di Paranal e ALMA. Dei quasi 30 telescopi e strumenti che La Silla ha ospitato, 13 sono stati dismessi o sono in disuso e deterioramento, alcuni sono stati ricondizionati per garantire la continuità della ricerca e 5 sono stati sostituiti da nuovi telescopi o spostati in altre istituzioni. Allo stesso tempo, alcuni di loro sono dedicati ad attività di educazione e comunicazione scientifica poiché non sono più in condizione



8.



9.

- 7. Linea temporale sulla costruzione dei telescopi (fonte: Belén Faba, 2022).
- 8. Interno del cilindro del telescopio 3.6 m (foto di C. Wolff).
- 9. Studenti del Mg,di Patrimonio (MIPA) della Università del Cile all'esterno del telescopio NTT (foto di C. Wolff).

di poter dare un contributo significativo alla ricerca. Ad esempio il telescopio *Bochum*, dopo aver perso la cupola, è stato donato all'Università di Valparaíso ed è ora ospitato nell'*Osservatorio Pocuro*, nella zona centrale del Cile (Zúñiga 2018) [fig. 10]. Altri oggetti di valore, sono documenti, lastre, manuali e tavole architettoniche, che fino agli anni '90, come tutte le informazioni planimetriche degli edifici e dei loro strumenti, venivano progettate e conservate su carta o vetro: sebbene oggi ci sia un certo ordine, queste informazioni planimetriche rimangono disperse e solo in parte digitalizzate. D'altra parte la maggior parte delle più di 50.000 lastre prese dagli osservatori più antichi del Cile, La Silla, El Tololo e Las Campanas, rimangono ancora su vetro. Tuttavia, dal 2024 si è iniziato un lavoro per digitalizzare le lastre in collaborazione con la Cina, con risultati di grande valore per il patrimonio culturale e utili anche per la ricerca scientifica attuale (Mejías 2024) in quanto permettono, tra l'altro, di confrontare la posizione degli astri da 40 anni fa a oggi [fig. 11].

Il cielo a La Silla e le sue caratteristiche geografiche e astronomiche

Il complesso astronomico denominato "La Silla" si trova sul Cerro La Silla, nel Sud del deserto di Atacama, in Cile, 600 km a nord della capitale Santia-



10. Smontaggio del telescopio *Bochum* e della sua cupola (fonte: Sebastian Zuñiga, 2018).

11. Lastre fotografiche e mappe stellari a La Silla (foto di C. Wolff).

10.

go del Cile. Il nome originario della montagna era Cinchado, ed è a un'altitudine di 2400 metri. Il suo nome in spagnolo si riferisce alla sella, per la sua forma geografica a doppia curvatura. Tra le molte scoperte scientifiche importanti legate ai telescopi di La Silla, troviamo:

- che le stelle della nostra galassia orbitano intorno ad un buco nero che si trova al centro della *Via Lattea*;
- due gruppi di ricerca indipendenti, compresi quelli dei telescopi dell'ESO a La Silla e Paranal, hanno dimostrato che l'espansione dell'Universo sta accelerando. Il Premio Nobel per la fisica 2011 fu dato per questo risultato;



11.

- è stato trovato un pianeta nella zona abitabile intorno a *Proxima Centauri*, la stella più vicina al Sistema Solare, detto *Proxima b*.

Dal punto di vista meteorologico la posizione di La Silla rispetto all'orografia della regione, fa sì che il cielo sia sempre terso, privo di umidità e non vi si formino nuvole: si ha quindi un cielo ugualmente adatto ad osservazioni astronomiche durante tutti i mesi dell'anno. Basta osservare le foto stellari o del profondo cielo che vi sono state riprese e la nitidezza delle ombre diurne (vedi foto di copertina), per accorgersi di questo. La zona è inoltre priva di inquinamento luminoso.

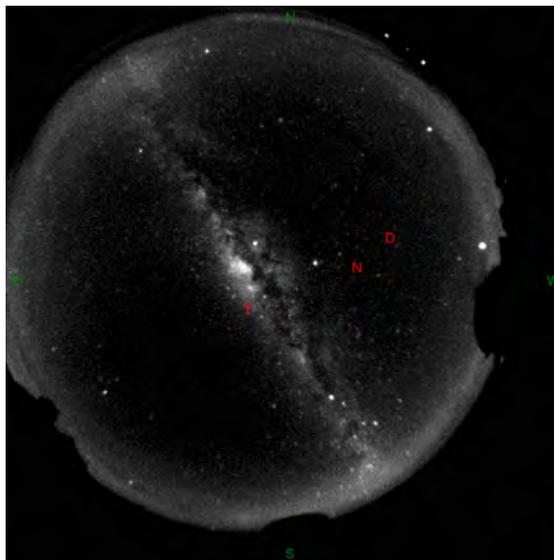
La Silla è poco a Sud del Tropico del Capricorno, a $29^{\circ}15'40.2''$ Sud e a $70^{\circ}43'52.8''$ Ovest. In particolare la sua latitudine presenta una peculiarità eccezionale dal punto di vista astronomico perché coincide con la declinazione del Centro Galattico, calcolata e presentata per la prima volta dal gruppo di lavoro dell'*Osservatorio* di Harvard nello studio sulla distribuzione degli ammassi globulari del 1918. Tale declinazione, pari a $-29^{\circ}00'28,1''$ (epoca J2000), si trova nella costellazione del Sagittario: di conseguenza il centro galattico passa per lo zenit del luogo [fig.12]. Rispetto a La Silla il Polo Sud celeste ha un'altezza sull'orizzonte pari a circa 29° , mentre l'Equatore celeste intercetta il meridiano locale a circa 61° nord [fig. 13]. Oltre all'intero emisfero Sud Celeste, sono quindi visibili le regioni dell'emisfero Celeste Nord fino alla declinazione 61° nord. Rispetto agli altri grandi osservatori astronomici della regione del deserto di Atacama, Paranal e *L'Atacama Large Millimeter/submillimeter Array* (ALMA) che è un radiointerferometro situato a 5000 metri di altitudine, a La Silla sono state fatte le prove di alcuni degli strumenti realizzati in seguito, in misura e potenza maggiore, nelle altre due località (vedi foto di copertina).

Radicali cambiamenti nei modi di utilizzare i grandi Osservatori dagli anni '60 del 1900 a oggi

Dal 1969, quando è stato inaugurato l'*Osservatorio* di La Silla, il modo di osservare il cielo da parte degli astronomi professionisti è radicalmente cambiato.

- A metà del Novecento l'astronomo doveva andare fisicamente nel luogo dove era il telescopio con le strumentazioni che voleva utilizzare. Gli osservatori che in Europa, fino alla fine dell'Ottocento, erano nel centro delle città, sono stati spostati fuori dalle città, in un primo momento in zone più idonee (da Parigi a Meudon, dal centro di Roma a Monte Porzio e Campo Imperatore) poi più lontane ma nello stesso paese.

- In seguito, sono stati costruiti osservatori astronomici in luoghi poco inquinati della Terra e fuori dai confini delle nazioni che li progettavano e li



12.

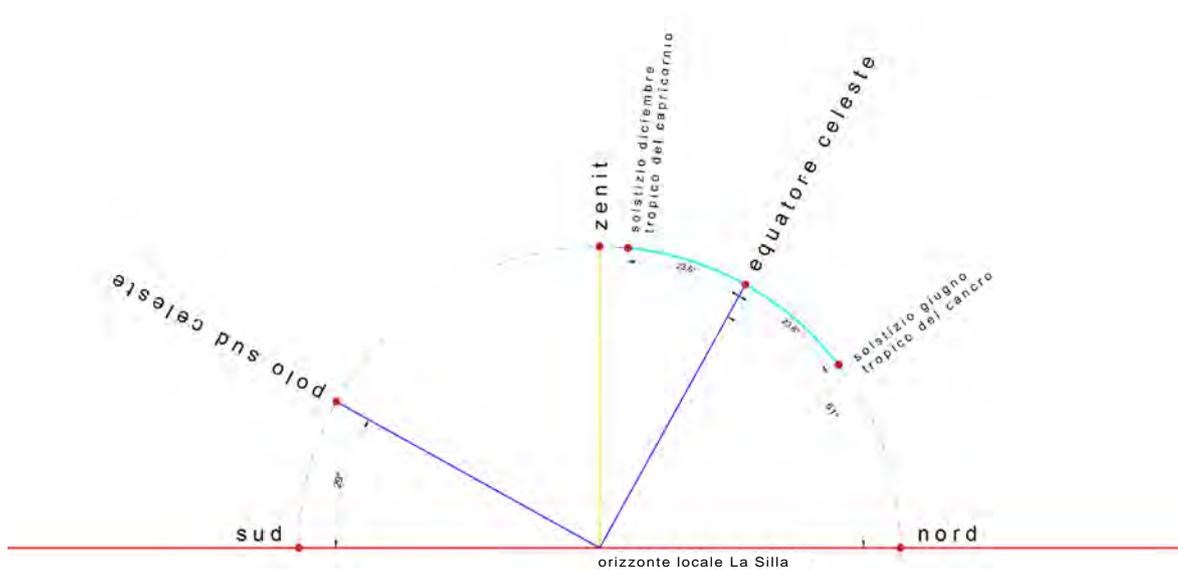
usavano, in luoghi privilegiati e in collaborazione tra tanti paesi. Inizialmente i dati erano raccolti su schede perforate, o altri supporti materiali e si lavorava guardando nell'oculare dello strumento, o utilizzando le lastre fotografiche. Bisognava quindi prenotare date e orari di osservazione, e uno stesso telescopio poteva essere utilizzato per alcune ore per un certo tipo di osservazione e con certi utenti e poi cambiare utenti e programma osservativo. Ciononostante, spesso gli astronomi non "conoscevano" il cielo nel senso di saper riconoscere le costellazioni in cielo ma si affidavano totalmente alle tavole delle coordinate della regione di cielo che volevano studiare.

- In seguito, si sono usati dispositivi elettronici collegati a computer che raccoglievano i dati per l'elaborazione.

- Poi è stato possibile per un astronomo prenotare il tempo di osservazione ma ricevere i dati senza recarsi sul posto e senza dover mettere l'occhio al telescopio, magari anche solo stando al caldo nella stanza a fianco: bastava dare ai tecnici che si trovavano sul luogo, le indicazioni utili per puntare lo strumento ed effettuare, a distanza, le osservazioni volute. Sottolineiamo che questo, da un punto di vista umano ed emozionale, cambia completamente il rapporto con l'oggetto di studio e con il proprio lavoro.

- L'uso dei telescopi virtuali, quindi a distanza, permette anche al grande pubblico di "vedere" la corona solare durante un'eclisse "in tempo reale" o una regione di cielo non visibile dalla propria latitudine e questo provoca alcune "distorsioni percettive" perché chi guarda in uno schermo non ha idea, e comunque non "sente" con tutti i sensi: non percepisce, ad esempio, il freddo di una cupola, la velocità con cui arriva la notte dopo il tramonto a una certa latitudine, la pulizia e la secchezza dell'aria,

12.
Centro della Via Lattea a La Silla nel giorno del Solstizio d'Inverno (fonte: ESO.org.).



13.

13.
Schema del meridiano di La Silla (elaborazione grafica di C. Wolff).

14.
Immagini del Modello di La Silla per l'Expo Exploración ESO: *Tres sitios para la exploración del Universo* (foto di C. Wolff).

l'altezza di un astro osservato rispetto all'orizzonte.
- La possibilità di utilizzare telescopi fuori dall'atmosfera terrestre ha spostato ancora una volta la distanza tra chi osserva e il suo strumento, ma ha cambiato anche la quantità di persone che possono utilizzare per le loro ricerche, anche assai diverse, gli stessi dati forniti nello stesso momento.

Dal presente e verso il futuro

Ci chiediamo quindi che cosa resta oggi a La Silla delle strutture del passato recente; che cosa il pubblico dei non addetti ai lavori può vedere, quali tipi di edifici e di strumenti; che cosa testimonia quello che c'è oggi della storia scientifica recente e come può essere riutilizzato ciò che si trova a La Silla, per la didattica e per la comunicazione al grande pubblico. Sono già avviati progetti di creazione di modelli per la diffusione e l'educazione astronomica, con l'ESO e il *Museo Interattivo dell'Astronomia* (MIA di Santiago del Cile) e l'Università del Cile,

che potranno essere accompagnati da proposte di attività e uso di strumenti [fig. 14]. Tra gli strumenti o le installazioni che si possono progettare *ad hoc* vi è la rivisitazione, per la latitudine specifica, di strumenti didattici già sperimentati altrove (Lanciano 2002) con attenzione particolare alla presenza della *Via Lattea*, come già sottolineato, e all'enorme ampiezza dell'arco di declinazione del cielo visibile nel corso dei mesi (150° sui 180° da Polo a Polo) e all'ampio orizzonte del luogo. Si tratta di strumenti che si usano all'aperto e che mettono in contatto diretto chi osserva con la natura del cielo locale.

Tra questi strumenti, adattati alla latitudine, all'orizzonte e all'orografia del luogo, o ideati appositamente, citiamo, tra gli altri:

- il tracciamento all'aperto del meridiano locale e della rosa dei venti con i nomi tradizionali e locali dei venti nelle direzioni cardinali;
- la 'sdraio celeste' [fig. 15], costituita da un piano parallelo al piano equatoriale, dunque inclinata



14.

come la colatitude rispetto al terreno su cui è fissata, in modo che l'osservatore possa sdraiarsi e osservare il cielo verso Sud. Un palo perpendicolare al piano della sdraio è puntato sul Polo celeste Sud, dunque, inclinato rispetto al suolo come la latitudine del luogo, e può fungere da gnomone per un orologio solare equatoriale opportunamente fissato al piano;

- un "mappamondo parallelo", cioè in posizione omotetica alla Terra in quel luogo, quindi con la collina di La Silla posta in cima e i poli orientati verso Sud e Nord, su cui osservare come la Terra viene illuminata dal Sole in tempo reale;

- un "palo delle direzioni" con frecce correttamente inclinate da un punto di vista geografico.

In particolare, le proposte possono riguardare la didattica e/o la comunicazione per i non addetti ai lavori, come già accade in diverse parti del mondo con alcuni Osservatori le cui condizioni ambientali, soprattutto per l'inquinamento luminoso, non sono più utilizzati a tempo pieno per la ricerca. A loro volta la didattica dell'Astronomia può avere attenzione verso la scuola di diversi ordini, la formazione degli insegnanti, la formazione dei nuovi aspiranti astronomi e la ricerca sulla didattica dell'Astronomia e la comunicazione può essere diretta a gruppi diversi e cioè ad un pubblico misto, ad un pubblico di adulti e turisti, ad un pubblico di bambini.

L'apertura al pubblico di alcune di queste strutture, anche solo in forma parziale, permette altresì di osservare con strumenti assai più importanti rispetto a quelli di cui può disporre un giovane astrofilo o una scuola. Tra questi Osservatori possiamo citare quello di Monte Wilson vicino Los Angeles in USA, quello di Pic du Midi de Bigorre in Francia, quelli di Merate e Asiago in Italia.

A tali fini, alcuni dei telescopi presenti in loco possono essere destinati, in alcuni momenti, a collegamenti con scuole o altre istituzioni lontane, per mostrare un fenomeno in particolare (ad esempio l'occultazione di una stella da parte della Luna) o oggetti del cielo vicino e lontano (una cometa, una galassia...).

Attenzione particolare al cielo locale è già presente nella pianta delle strutture e del complesso degli osservatori della collina di La Silla, legata alla traccia della *Via Lattea* di cui i popoli originari hanno nominato in particolare le zone oscu-



15.

15.
La "sdraio celeste"
e il "mappamondo
parallelo" a
Francoforte (foto di
N. Lanciano).

re, invece che i punti luminosi delle costellazioni greco-latine. Tutto ciò può essere sottolineato da nuove strutture con le mappe del cielo visibile alla latitudine di Sud, nelle diverse epoche dell'anno e nelle diverse direzioni cardinali.

Crediti e ringraziamenti

La ricerca condotta per questo articolo è stata possibile grazie alla collaborazione di Luis Chavarria, rappresentante dell'ESO in Cile fino al 2025, Sofia Otero e Laura Ventura del Dipartimento Comunicazioni dell'ESO Cile.

Desideriamo inoltre ringraziare i professori dell'Università del Cile che compongono il gruppo di ricerca interdisciplinare "Grupo Das/Fau per la valorizzazione del patrimonio architettonico scientifico astronomico", il professor Fernando Dowling, del Dipartimento di Architettura, il professor Patricio Rojo del Dipartimento di Astronomia e la professoressa Eugenia Gayó del Dipartimento di Geografia che compongono il gruppo di lavoro.

Allo stesso modo, apprezziamo la partecipazione delle architetto Consuelo Montoya, Belén Faba e Constanza Cornejo, laureate alla Facoltà di Architettura e Urbanistica dell'Università del Cile.

Ringraziamo inoltre il Gruppo di ricerca sulla Pedagogia del cielo del MCE (Movimento di Cooperazione Educativa) e l'Officina Matematica di Emma Castelnuovo.

Note

1. The European Southern Observatory (ESO); National Science Foundation (NSF); Association of Universities for Research in Astronomy (AURA); National Radio

Astronomy Observatory (NRAO); National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ); Carnegie Observatories.

Bibliografia

- Ballereau C., Niemeyer H. (1996). Los petroglifos del cerro La Silla, Región de Coquimbo. In *Chungará*, vol. 28, n. 1-2, pp. 277-317.
- Bustamante D. (2024). *¿Un observatorio astronómico en Valparaíso? Relevancia y rol del patrimonio astronómico en Chile*. XXIV Congresso Internazionale di astronomia (Museo MIA), Santiago del Cile, 2024.
- Chanfón C. (1988). *Fundamentos teóricos de la restauración*. México: UNAM.
- Faba B. (2022). *Yacana. Centro de Interpretación y Difusión Observatorio La Silla*. Tesis per accedere al grado di Architettura, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile.
- Lanciano N., Celi V. (1998). Linee meridiane interne in Sicilia. In *L'Astronomia*, n.3, pp. 25-32.
- Lanciano N. (2002 I edizione, 2019 IV edizione). *Strumenti per i giardini del cielo*. Trieste: Asterios.
- Lanciano N., (2018). *Guida alla scoperta dell'Astronomia a Roma in dodici itinerari. In luna, stellis et sole*. Roma: Apeiron Ed.
- Madsen C. (2013). *The Jewel on the Mountaintop. The European Southern Observatory through Fifty Years*. ESO.
- Mejías A. (2024). *Congresso Internazionale di astronomia* (Museo MIA), Santiago del Cile, 2024.
- MINVU, DDU 400 (2018). *Declaración, reglamentación y reconocimiento, según corresponda, de las áreas de protección de recursos de valor patrimonial cultural en PRC*.
- Montoya C. (2023). *Escuela natural de observación astronómica La Silla*. Tesis per accedere al grado di Architettura, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile.
- Silva B. (2019). *Astronomy at the Turn of the Twentieth Century in Chile and the United States. Chasing Southern Stars (1903 – 1929). History of Science and Technology Series*. New York: Palgrave Macmillan.
- UNESCO (2003). *Initiative on Heritage of Astronomy, Science and Technology*. <https://whc.unesco.org/en/astro-nomy-science-technology/>
- UNESCO (2010). *The first ICOMOS–IAU Thematic Study. Commission C4 World Heritage and Astronomy*. <http://www.astronomicalheritage.net/thematic-study-1>
- UNESCO (2017). *The second ICOMOS–IAU Thematic study*. <http://www.astronomicalheritage.net/thematic-study-2>
- Vecchiato A. et al (2015). Possibile significato astronomico di alcune scoperte di El Molle all'Osservatorio ESO di La Silla. In *Assemblea generale dell'IAU*, v. 29. Provided by the SAO/NASA Astrophysics Data System.
- Vicuña C. (2020). *Minga del cielo oscuro*. Santiago de Chile: AECID, Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo. Centro Cultural de España.
- Wolff C. (2015). *Estrategias, sistemas y tecnología para el uso de luz natural en arquitectura y su aplicación en la rehabilitación de edificios históricos chilenos*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.
- Zúñiga-Fernández S., et al. (2018). *Revival of an abandoned telescope: the Boller and Chivens Bochum 0.61-metre telescope of Universidad de Valparaiso*, Proc. SPIE 10700, Ground-based and Airborne Telescopes VII, 107002X. <https://doi.org/10.1117/12.2314014>.

Sitografia

- ESO, <https://www.eso.org/public/> (consultato il 29 gennaio 2025).
- Fundación Cielos de Chile, <https://cieloschile.cl/> (consultato il 10 dicembre 2024).



*P. Adam Schall Germanus I. Ordinis Mandar
rinus*

Ritratto di Johann Adam Schall von Bell in abiti cinesi (Kircher, A. *China monumentis, qua Sacris quâ Profanis, nec non variis naturae & artis spectaculis, aliarumque rerum memorabilium Argumentis illustrata*. Amsterdam, 1667).

L'accomodamento delle conoscenze europee per l'Osservatorio astronomico di Pechino tra XVII e XVIII secolo

Abstract

Il contributo presenta i primi risultati di una ricerca in fase di avvio sul ruolo dei trattati e delle immagini nell'ambito degli scambi scientifici avvenuti tra Europa e Cina nel XVII e XVIII secolo, attivati dall'azione dei missionari gesuiti. In questa occasione, vengono esposti gli scambi riguardanti temi astronomici, con particolare attenzione alla progettazione e realizzazione degli strumenti astronomici alla europea per l'Osservatorio astronomico imperiale di Pechino attraverso l'azione dei gesuiti Johann Adam Schall von Bell (1592-1666) e Ferdinand Verbiest (1623-1688).

This paper presents preliminary findings from an ongoing investigation into the role of treatises and visual materials in the scientific exchanges between Europe and China during the 17th and 18th centuries, facilitated by Jesuit missionaries. Focusing specifically on astronomical knowledge transfer, the study examines the design and construction of European-style astronomical instruments for the Imperial Astronomical Observatory in Beijing under the supervision of Jesuit scholars Johann Adam Schall von Bell (1592–1666) and Ferdinand Verbiest (1623–1688).

Parole chiave

Scambi culturali
Strumenti astronomici
Osservatorio astronomico Pechino
Johann Adam Schall von Bell
Ferdinand Verbiest

Matteo Flavio Mancini
Università degli Studi Roma Tre
→ matteoflavio.mancini@uniroma3.it

Introduzione

Negli ultimi decenni si è affermata la necessità di interpretare il mondo come un insieme interconnesso, interpretandolo alla luce delle connessioni, degli scambi e della circolazione di merci, persone e idee su scala globale. Questo approccio mira alla reinterpretazione dei rapporti storici tra territori, culture e popoli e alla normalizzazione delle differenze culturali all'interno di un quadro complessivo. In questo quadro i rapporti culturali tra Europa e Cina sono esemplari di come l'incontro tra culture possa innescare contatti che portano conoscenze, teorie e tecnologie ad attraversare il tempo e lo spazio geografico, generando nuove forme che manifestano elementi di entrambe le culture coinvolte.

Il contributo si inserisce nel più ampio ambito di studi che riguarda gli scambi culturali tra Occidente ed Estremo Oriente tra XVI e XIX secolo e vuole indagare il ruolo dei trattati e delle immagini quali strumenti di intermediazione culturale e trasferimento di teorie e strumenti. In particolare, si vuole porre l'accento sul loro ruolo nello scambio di conoscenze riguardo all'astronomia e agli strumenti astronomici tra XVII e XVIII secolo, nell'ambito dell'osservatorio astronomico di Pechino, attivato dalla presenza dei missionari gesuiti.

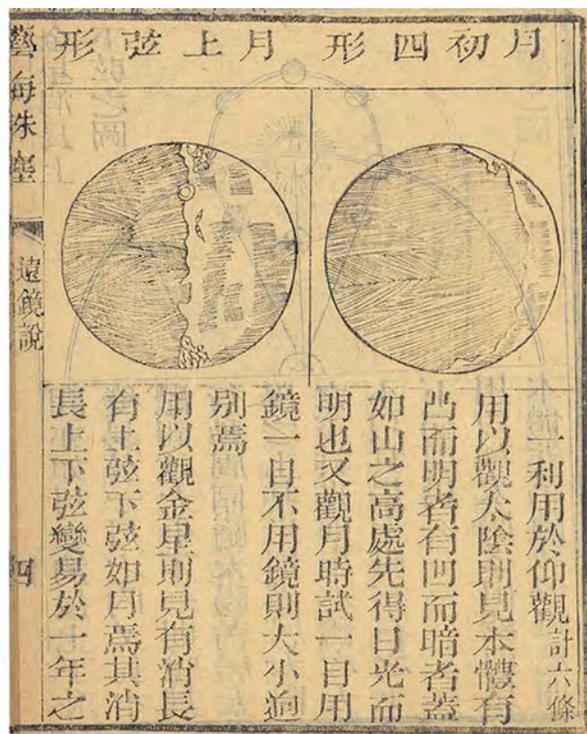
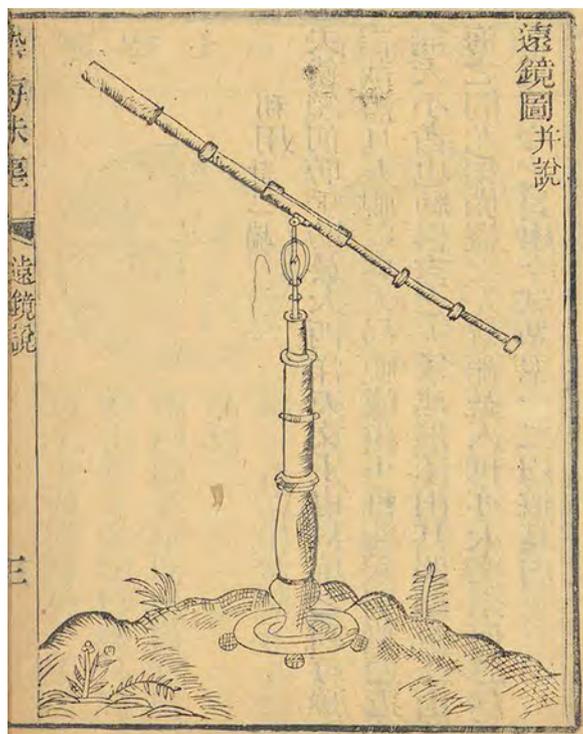
I Gesuiti in Cina e la strategia dell'accomodamento

Gli scambi culturali tra Europa e Cina si intensificarono a partire dal XVII secolo attraverso l'azione dei missionari cattolici che, grazie alle navi portoghesi e spagnole, arrivavano in Cina con l'intento di evange-

lizzare il grande impero orientale. Rispetto agli altri territori extra europei in cui i missionari gesuiti operavano, la Cina presentava un contesto diverso: non era un territorio militarmente occupato ma un partner commerciale per le corone europee e, inoltre, veniva riconosciuto un elevato livello economico e culturale. Qui, i missionari gesuiti scelsero di instaurare stretti legami con la corte imperiale delle dinastie tardo Ming (1580-1644), Qing (1644-1912) e con la casta degli intellettuali-funzionari letterati che gravitavano intorno alla corte, proponendosi come ambasciatori e insegnanti delle conoscenze europee. Insieme alla loro fede i Gesuiti introdussero in Cina anche le conoscenze scientifiche e tecnologiche europee in diversi campi, tra cui l'astronomia e la costruzione di strumenti di alta precisione, grazie a un incessante lavoro di traduzione, "accomodamento" e insegnamento delle fonti europee. Per i missionari gesuiti, l'integrazione delle conoscenze europee nel contesto culturale cinese si rivelò un processo in grado di sostenere un parallelo percorso di dialogo e integrazione di elementi della religione cattolica nel confucianesimo, che veniva praticato dalle caste più alte della colta società cinese del tempo (Mungello 2013).

Quando i Gesuiti arrivarono in Cina riuscirono a inserirsi nel dibattito sulla riforma del calendario in corso e a sfruttare l'esperienza maturata dal confratello Christoph Clavius (1538-1612) nella riforma del calendario Gregoriano. Nel 1642 la riforma del calendario cinese, basata su modelli e metodi di calcolo occidentali, venne approvata e raccolta nel *Chongzhen lishu* (Astronomia matematica del Re-

1.
Johann Adam Schall von Bell S.J., immagini del telescopio e della Luna (Schall von Bell, J.A. *Yuanjing shuo*. Pechino, 1626).



gno di Chongzhen). Tre anni dopo, con l'inizio della dinastia Qing, il gesuita Johann Adam Schall von Bell (1592-1666) aggiornò l'opera e ne modificò il titolo aggiungendo un riferimento esplicito ai nuovi metodi occidentali per donarla alla corte della nuova dinastia. Johann Adam Schall von Bell venne insignito della carica di direttore dell'Osservatorio e da allora, fino al 1775, un gesuita fu a capo dell'istituzione. I nuovi metodi occidentali comprendevano l'adozione del modello geo-eliocentrico proposto da Tycho Brahe (1546-1601) nel *De mundi aetherei recentioribus phaenomenis* (1588), che era stato seguito dalla Chiesa cattolica romana nel 1616 a seguito della condanna delle teorie copernicane e galileiane. La condanna dell'eliocentrismo portò i Gesuiti a preferire il modello ticonico e a presentare quello copernicano come una variante pre-ticonica, sottolineandone l'utilità per il calcolo dei moti planetari ma tralasciandone il valore cosmologico. Il modo in cui venne presentato il modello copernicano era stato a tal punto fuorviante che, quando poté essere trattato apertamente, venne inizialmente rigettato dagli astronomi cinesi ai quali appariva in contrasto con quanto era stato precedentemente enunciato. L'atteggiamento ambiguo tenuto dagli astronomi gesuiti rispetto al modello del sistema solare non impedì loro di contribuire in modo significativo allo sviluppo dell'astronomia cinese, proponendo novità quali: l'introduzione dei metodi europei per la previsione delle eclissi, l'esposizione della geometria euclidea e la sua applicazione per la descrizione dei movimenti dei pianeti, l'introduzione delle proiezioni gnomoniche e stereografiche, l'adozione di meridiani e paralleli per suddividere la superficie terrestre, l'introduzione di strumenti astronomici aggiornati, tra cui il telescopio, e delle tecniche per la loro costruzione (Needham 1959; Elman 2005; Shi 2020a). Infatti, i principi ottici delle lenti e l'uso del telescopio furono divulgati da Johann Adam Schall von Bell nello *Yuanjing shuo* (Spiegazione del telescopio) nel 1626, il primo trattato di larga diffusione in lingua cinese a mostrare il nuovo strumento e immagini telescopiche della Luna [fig. 1] (Shi 2020b).

L'osservatorio imperiale

A partire dalla dinastia Zhou (1000-256 a.C.), le attività astronomiche e astrologiche vennero interamente controllate dall'imperatore che, in qualità di Figlio del Cielo (*tianzi*), governava l'impero ed era responsabile della gestione e manutenzione dell'osservatorio astronomico imperiale (Shy 2015a). L'ufficio astronomico imperiale era incaricato di redigere il calendario ufficiale e osservare, interpretare e prevedere i fenomeni celesti, sia di tipo periodico come i moti dei pianeti e le eclissi solari e lunari, che di tipo eccezionale quale il passaggio di meteore, comete e cosiddette "stelle ospiti". Inoltre, si occupava

di osservare notte e giorno i fenomeni meteorologici quali venti, nubi, temporali e nebbie. L'importanza di queste attività era vitale per gli imperatori cinesi che dimostravano l'armonia tra il proprio regno e i Cieli attraverso il controllo scientifico dei fenomeni astronomici e meteorologici. Per questo motivo, prima ancora dell'arrivo degli astronomi gesuiti, gli imperatori avevano assunto astronomi arabi, le cui tecniche di calcolo si erano dimostrate più avanzate di quelle cinesi, per affiancare i propri astronomi.

Pechino venne eletta capitale principale del regno Ming nel 1406 e venne dotata di un primo osservatorio astronomico che, nel 1439, fu dotato di strumenti astronomici in bronzo, modellati sulle repliche lignee di strumenti risalenti al XIII secolo, precedentemente in uso presso l'osservatorio di Nanchino. Nel 1442, su un bastione nell'angolo sud-orientale delle mura della città, venne realizzato il nuovo e definitivo osservatorio e i suoi strumenti furono posti su una piattaforma approssimativamente quadrata (23,90x20,40 metri) posta a circa 14 metri di altezza (Deane 1994; Shi 2015b). Le più importanti trasformazioni dell'osservatorio avvennero tra il 1669 e il 1674, quando il gesuita belga Ferdinand Verbiest (1623-1688) diresse la realizzazione di sei nuovi strumenti in bronzo: una sfera armillare equatoriale, una sfera armillare eclittica, un globo celeste, un anello azimutale, un quadrante e un sestante. Successivamente, il gesuita Kilian Stumpf realizzò un quadrante azimutale (1713-1715), e i gesuiti Ignaz Kogler e Ferdinand Augustin Haller von Hallerstein realizzarono la sfera armillare *Jibeng* (1744-1775), uno strumento tipico della tradizione astronomica cinese ma dotato di scale graduate e strumenti di collimazione europei (Shi 2015b; Deng 2021).

Conosciamo lo stato del nuovo osservatorio dopo l'installazione dei primi sei strumenti bronzei grazie alla rappresentazione che Ferdinand Verbiest fece inserire sia nel trattato in cinese *Lingtai yixiang zhi* (Trattato sugli strumenti astronomici dell'osservatorio imperiale) del 1668, sia nella successiva sintesi in latino *Liber Organicus Astronomiae Europaeae* dello stesso anno che nella compilazione europea *Astronomia Europaea Sub Imperatore Tartaro* (Verbiest 1687). Queste ultime opere erano concepite per divulgare in Europa l'impegno e i successi raggiunti dai missionari in Cina. Oltre agli strumenti, l'immagine mostra anche le strutture a pozzi gradonati in cui questi vennero alloggiati, insieme ad altri strumenti di supporto quali una meridiana (al centro del lato meridionale della piattaforma), una torre per l'osservazione, un riparo per gli astronomi e un indicatore della direzione dei venti [fig. 2]. L'immagine ebbe grande fortuna editoriale e continuò ad essere inserita, con alcune modifiche, in numerose opere divulgative sulla Cina pubblicate in Europa in diverse lingue (Du Halde 1736, 1741).

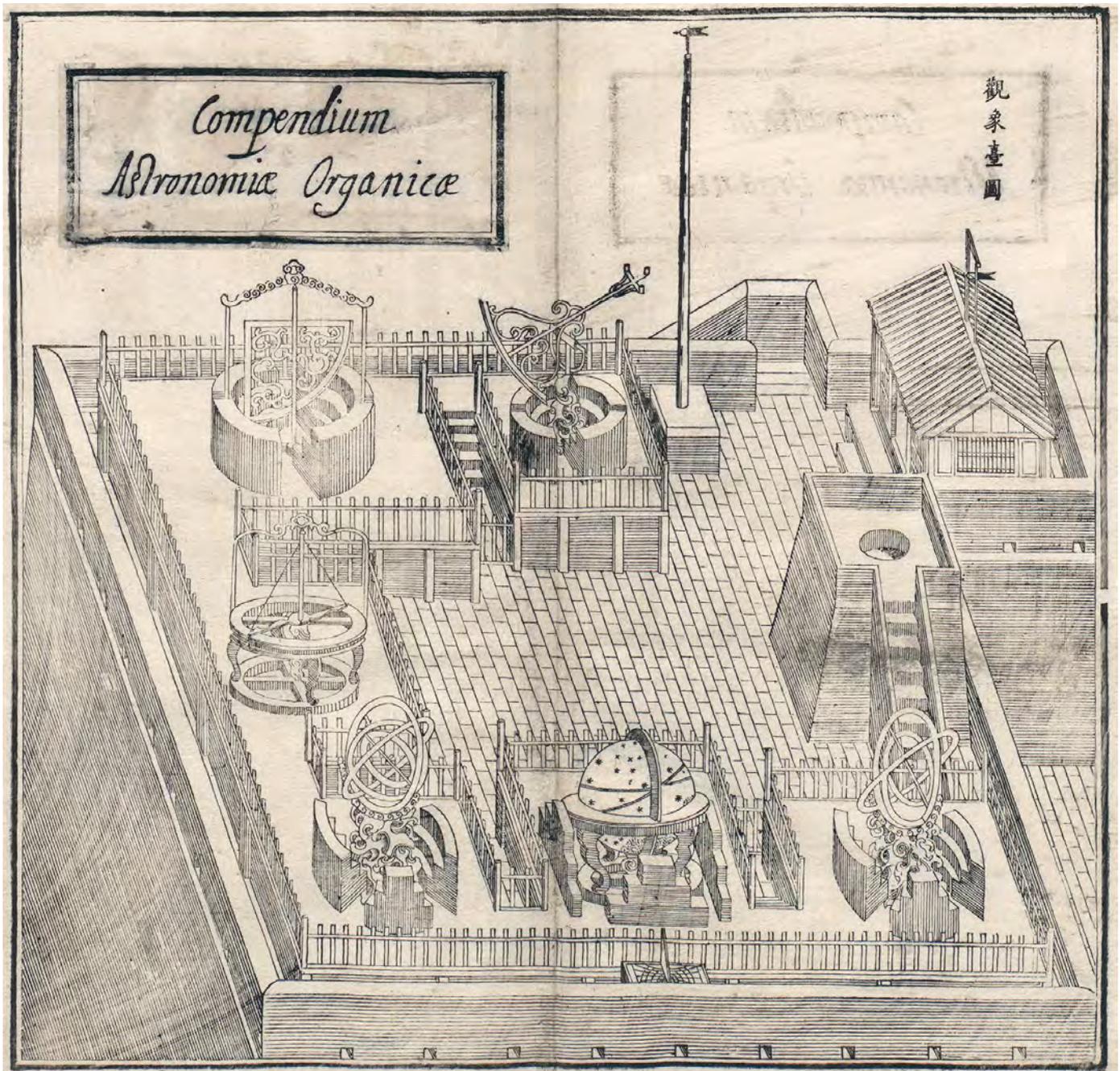
Gli strumenti astronomici alla europea

La precisione degli strumenti realizzati nel 1439 non è verificabile ma, considerando le descrizioni disponibili e la suddivisione tradizionale cinese in $365 \frac{1}{4}$ gradi (du) dei circoli celesti che adottavano, la loro precisione teorica viene stimata come intermedia tra quella degli strumenti utilizzati da Niccolò Copernico (10 minuti primi d'arco) e quelli di Tycho Brahe (1 minuto primo d'arco) (Deane 1994). Fonti documentali testimoniano il cattivo stato di conservazione degli strumenti già nel 1478 e una prima richiesta di sostituzione nel 1489, seguita da nuove critiche riguardo alla loro accuratezza nel 1502. Nel 1612 si decise per una loro sostituzione con nuovi strumenti in legno

che, però, venne attuata solo tra il 1629 e il 1635 con il contributo di Johann Adam Schall von Bell (Deane 1994). È possibile che le crescenti critiche sollevate verso l'accuratezza degli strumenti dell'osservatorio di Pechino dipendessero sia dalla mancata manutenzione sia dal fatto che gli strumenti in uso fossero repliche di quelli concepiti per l'osservatorio di Nanchino. Con il passare del tempo, errori di calibrazione o di adeguamento alla latitudine di Pechino, che differisce di 7 gradi da quella di Nanchino, poterono averne incrinato l'accuratezza.

La crescente inaccuratezza delle osservazioni e delle previsioni prodotte dall'osservatorio fu tra le cause della crisi del calendario e della sua riforma, che aprì

2.
Ferdinand Verbiest S.J., rappresentazione dell'Osservatorio astronomico di Pechino (Verbiest, F. *Liber Organicus Astronomiae Europaeae apud Sinas Restitutae*. Pechino, 1668).



2.

la strada agli astronomi gesuiti. È in questa situazione che, durante il regno dell'imperatore Qing Kangxi (1662-1722), questi strumenti furono fusi e ne vennero forgiati di nuovi sotto la direzione del gesuita belga Ferdinand Verbiest (1623-1688), che in quegli anni era a capo dell'osservatorio. Verbiest era un matematico e astronomo formatosi tra Lovanio, Roma e Siviglia, che insegnò matematica in Portogallo prima della sua partenza per la Cina, dove arrivò nel 1658. Era stato nominato direttore dell'osservatorio nel 1669 e, entro il 1674, fece realizzare i sei nuovi strumenti astronomici in bronzo di ispirazione europea. Inoltre, provvide a descrivere i principi teorici, le tecniche realizzative, l'utilizzo degli strumenti e il rinnovato osservatorio nei volumi *Lingtai yixiang zhi* (Trattato sugli strumenti astronomici dell'osservatorio imperiale) e *Yixiang tu* (Illustrazioni degli strumenti astronomici) del 1668. Con questi lavori, Verbiest dimostrò non solo le sue competenze di matematico e astronomo ma anche le sue conoscenze riguardo alla tecnologia e alla realizzazione di strumenti in bronzo, integrando tecniche orientali e occidentali.

I prototipi degli strumenti progettati da Verbiest sono rintracciabili negli strumenti illustrati circa un secolo prima da Tycho Brahe nel *Astronomiae Instauratae Mechanica* (Brahe 1598), ma presentano degli aggiornamenti che lasciando intendere l'esperienza del gesuita belga e la conoscenza dei più moderni avanzamenti degli strumenti astronomici europei, almeno fino al momento della sua partenza per la Cina (Iannaccone 1989).

Le evoluzioni proposte sono mirate alla semplificazione dell'utilizzo degli strumenti e al miglioramento della precisione e discendono dai principi progettuali espressi da Verbiest:

“La capacità di uno strumento di misurare i fenomeni astronomici è determinata dalla calibrazione e dall'osservazione. La calibrazione consiste in una suddivisione fine ed equa, così come l'osservazione richiede persistenza e precisione. Questi sono gli elementi essenziali nella costruzione di strumenti astronomici”.

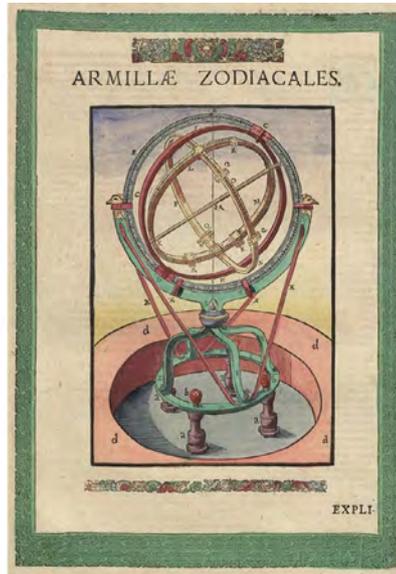
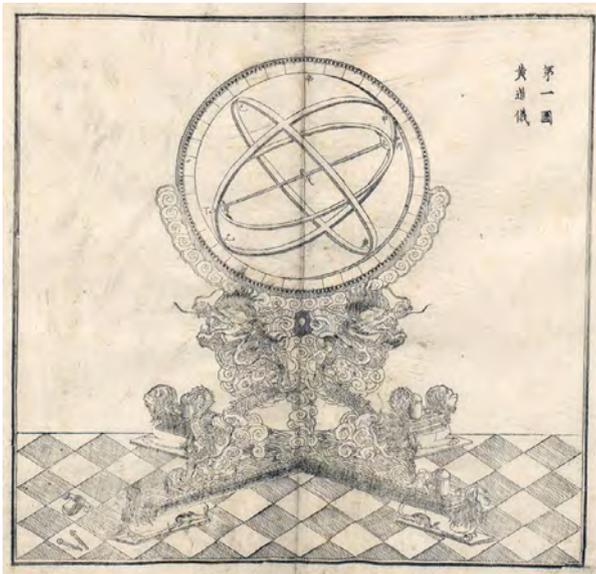
(Deng 2021, p. 89, traduzione dell'autore)

“I sei strumenti sono utilizzabili in tutte le direzioni, in modo che tutte le stelle dell'universo possano essere viste e rilevate chiaramente. La struttura è sottile e raffinata, in modo da non bloccare la vista. L'intera struttura può essere più grande dei vecchi progetti, ma la rotazione è molto più fluida. I nuovi strumenti sono stati costruiti con una tale raffinatezza che possono ruotare liberamente in qualsiasi direzione, con un'accuratezza che si spinge fino al più piccolo dettaglio nell'osservazione astronomica”.

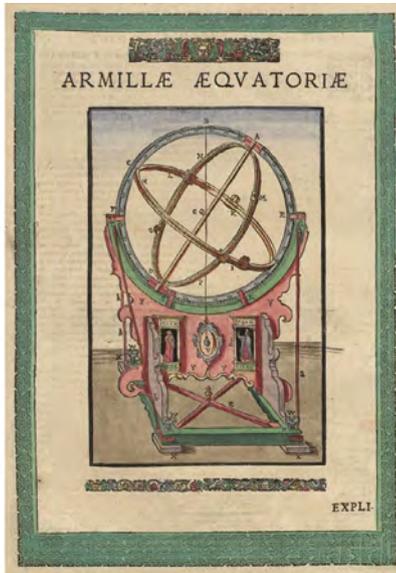
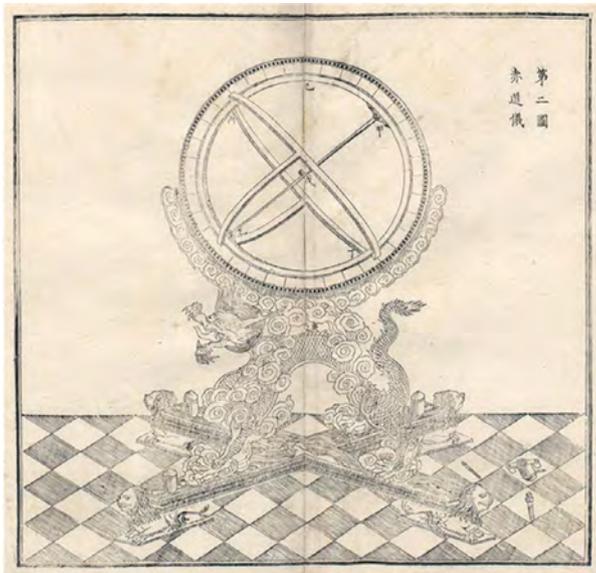
(Deng 2021, p. 90, traduzione dell'autore)

Nel *Yixiang tu*, Verbiest rappresenta i sei nuovi strumenti, le tecniche di realizzazione e i loro utilizzi in 117 disegni. A differenza delle tavole di Tycho Brahe che adottano spesso rappresentazioni prospettiche e ambientazioni architettoniche, le tavole mostrano gli strumenti su pavimenti a scacchiera, senza ulteriori definizioni degli ambienti, e applicano in maniera sistematica una rappresentazione di tipo assonometrico priva di caratterizzazioni chiaroscurali, congeniale alla tradizione cinese e ai soggetti tecnologici e meccanici. In particolare, gli strumenti realizzati furono:

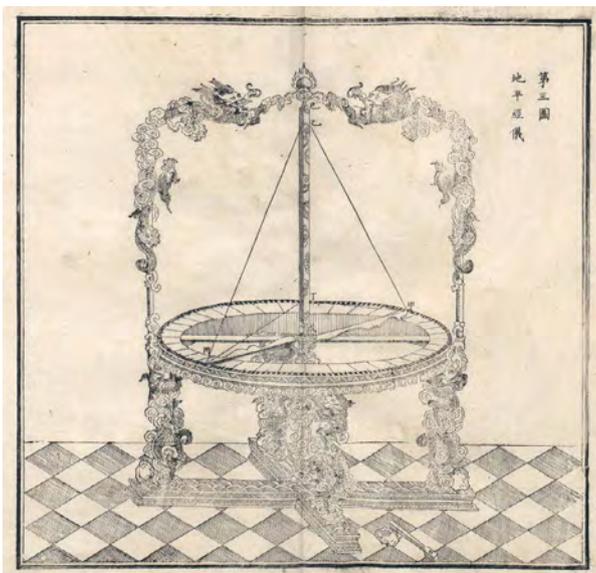
- *Sfera armillare zodiacale eclittica* (Globo delle longitudini e latitudini zodiacali) – Si tratta di una sfera armillare, composta da 4 cerchi complessivi, ognuno dei quali è suddiviso alla europea in 360 parti, a loro volta suddivise in 60 minuti. Verbiest giustifica la riduzione dei cerchi, e quindi delle informazioni leggibili, con un miglioramento della lettura e della funzionalità dello strumento. Veniva utilizzata per misurare le coordinate eclittiche degli astri [fig. 3].
- *Sfera armillare equatoriale* (Globo delle longitudini e latitudini equatoriali) – Si tratta di una sfera armillare equatoriale che, come nel precedente caso, viene semplificata riducendo a 3 il numero di cerchi. Inoltre, un cerchio viene trasformato in un semicerchio per semplificare l'orientamento dello strumento e la lettura delle misurazioni. Questo strumento veniva usato per la misura del tempo, dell'ascensione retta e della declinazione degli astri [fig. 4].
- *Semicerchio azimutale* (Cerchio dell'orizzonte) – Si tratta di una semplificazione dell'altazimutale. È composto da un cerchio bronzeo orizzontale e la lettura avviene attraverso la collimazione dell'astro con un piano materializzato attraverso un elemento rigido verticale e due cavi diagonali collegati a un indicatore orizzontale che ruota intorno al centro dello strumento. Veniva usato per misurare l'azimut dei corpi celesti [fig. 5].
- *Quadrante* – Si tratta di una semplificazione dell'altazimutale, ed era uno strumento sconosciuto agli astronomi cinesi. Era concepito per misurare l'altezza dei corpi celesti e lavorare in sinergia con il precedente strumento [fig. 6].
- *Arco bipartito* (Sestante) – Questo strumento è costituito da un sesto di arco di cerchio in grado di ruotare intorno alle tre direzioni. Per migliorare la stabilità dello strumento Verbiest introduce un palo di supporto e delle pulegge. Veniva utilizzato per misurare la distanza angolare tra i corpi celesti [fig. 7].
- *Globo celeste* – Verbiest indica questo come strumento di riferimento per tutti i precedenti. Misura circa 1,6 metri di diametro, pesa quasi quattro tonnellate e rappresenta: il piano meridiano, l'orizzonte, il cerchio dell'equatore e i cerchi equino-



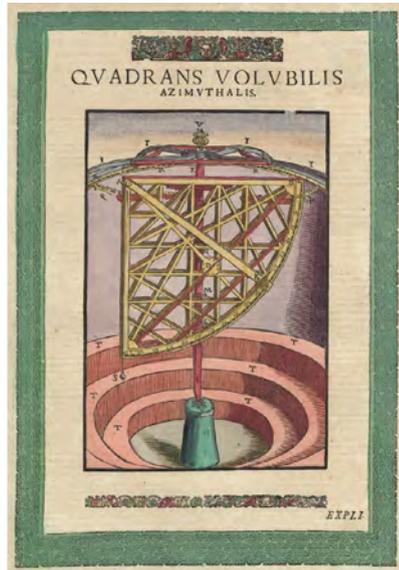
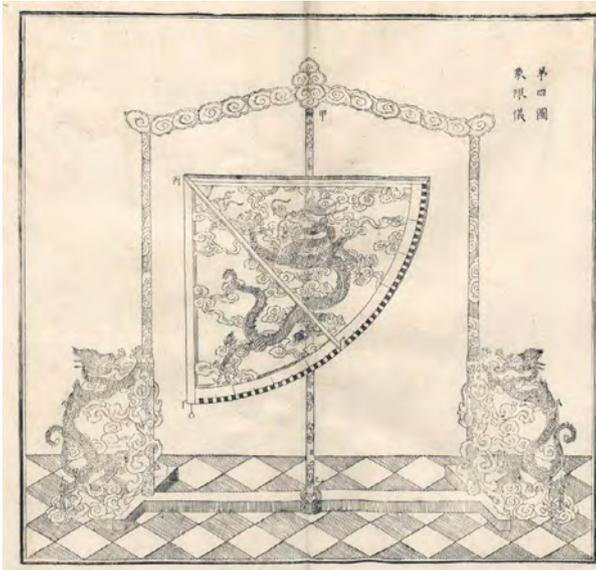
3. Ferdinand Verbiest S.J., l'armilla zodiacale, figura 1 del *Liber Organicus* (a sinistra) e il suo prototipo di Tycho Brahe nella *Astronomiae Instauratae Mechanica* (a destra).



4. Ferdinand Verbiest S.J., l'armilla equatoriale, figura 2 del *Liber Organicus* (a sinistra) e il suo prototipo di Tycho Brahe nella *Astronomiae Instauratae Mechanica* (a destra).

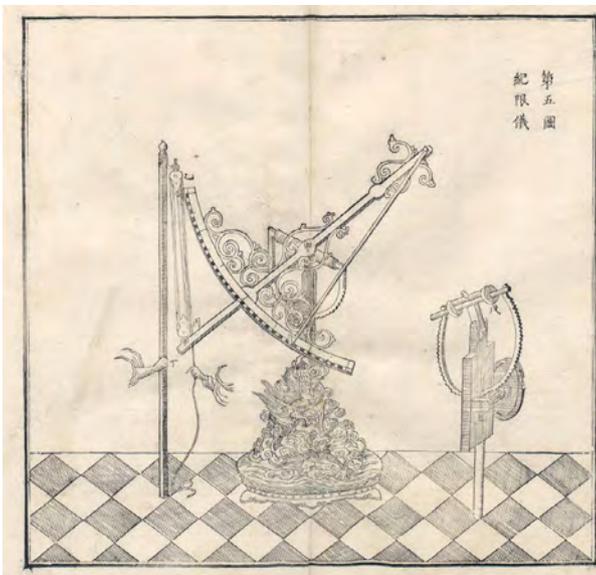


5. Ferdinand Verbiest S.J., il semicerchio azimutale, figura 3 del *Liber Organicus* (a sinistra) e il suo prototipo di Tycho Brahe nella *Astronomiae Instauratae Mechanica* (a destra).



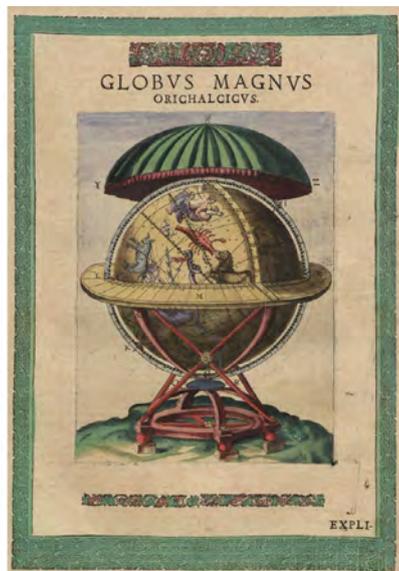
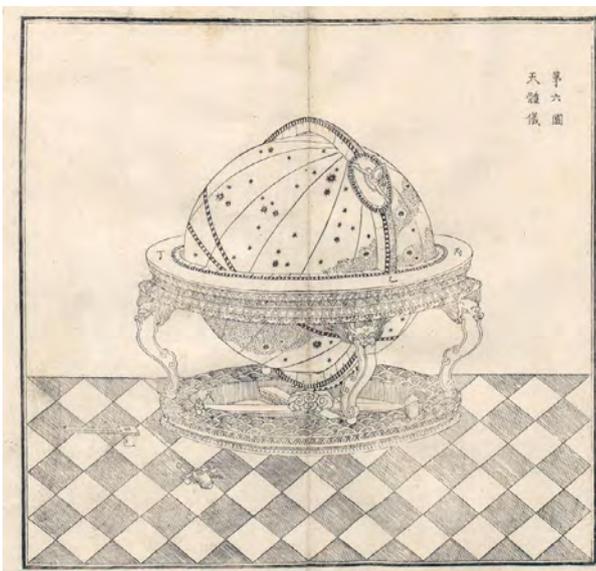
6.

6. Ferdinand Verbiest S.J., il quadrante, figura 4 del *Liber Organicus* (a sinistra) e il suo prototipo di Tycho Brahe nella *Astronomiae Instauratae Mechanica* (a destra).



7.

7. Ferdinand Verbiest S.J., il sestante, figura 5 del *Liber Organicus* (a sinistra) e il suo prototipo di Tycho Brahe nella *Astronomiae Instauratae Mechanica* (a destra).



8.

8. Ferdinand Verbiest S.J., il globo celeste, figura 6 del *Liber Organicus* (a sinistra) e il suo prototipo di Tycho Brahe nella *Astronomiae Instauratae Mechanica* (a destra).

ziale e solstiziale, lo zodiaco con le costellazioni incise sulla superficie del globo e un cerchio per la misura del tempo. Inoltre, vengono illustrati sessanta modi diversi di utilizzare il globo celeste [fig. 8].

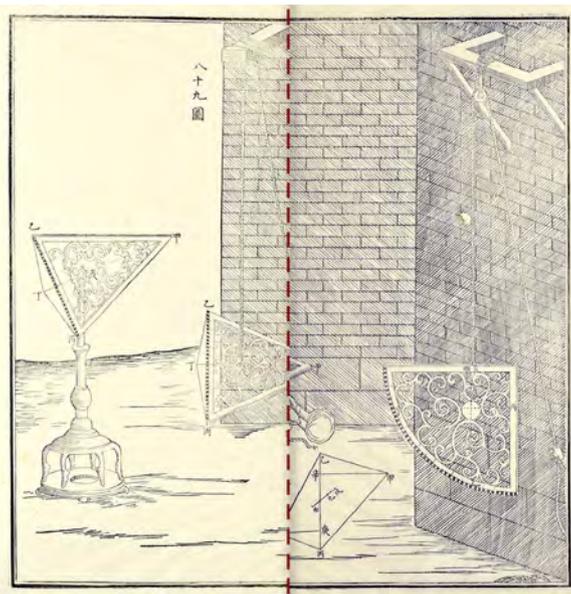
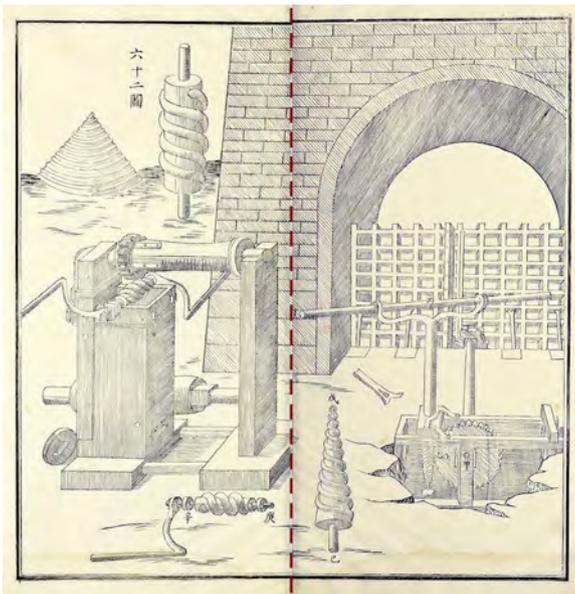
Il processo di semplificazione di alcuni strumenti, che si estende alla suddivisione dell'altazimutale in due strumenti indipendenti specializzati, trova corrispondenze anche nelle raccomandazioni metodologiche espresse da Verbiest. L'astronomo gesuita suggerisce di integrare sempre le letture di più strumenti, poiché la combinazione delle misurazioni permette sia di avere tutte le informazioni desiderate sia di valutare gli errori attraverso il confronto delle misurazioni stesse.

Rispetto ai prototipi di Tycho Brahe, tutti gli stru-

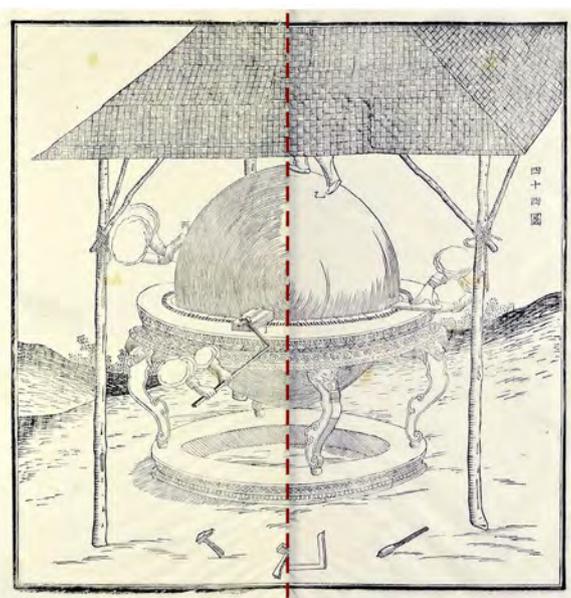
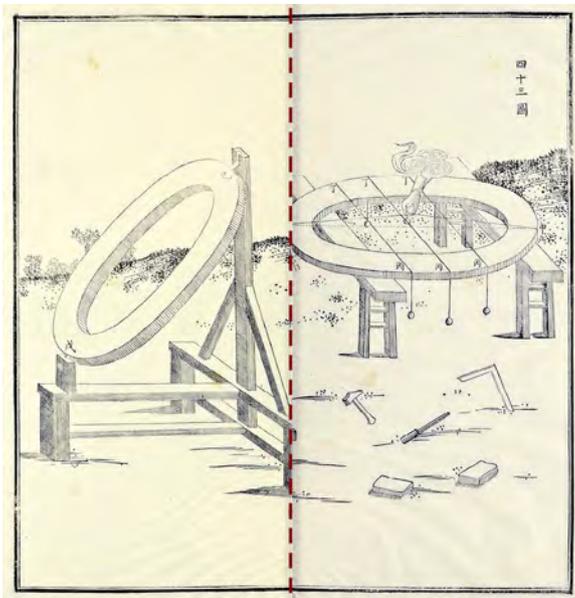
menti vengono interamente realizzati in bronzo, ottenendo una maggiore stabilità, e hanno un diametro massimo di circa 2 metri per aumentare la precisione delle letture. Inoltre, per ottimizzare la calibrazione e la ripetibilità delle misurazioni gli strumenti sono dotati di piedi regolabili singolarmente, per garantire l'orizzontalità dello strumento, e potevano essere movimentati grazie alla presenza di ingranaggi e perni elicoidali appositamente progettati per ridurre l'energia da applicare (Halsberghe 2011). Inoltre, la movimentazione degli strumenti più pesanti poteva avvenire attraverso l'uso di pulegge e pesi [fig. 9]. Infine, è interessante notare che l'impegno divulgativo di Verbiest comprende anche le tecniche di costruzione degli strumenti e alcune procedure per verificare la planarità dei cerchi, attraverso un sistema di cavi e pesi, e

9. Ferdinand Verbiest S.J., tipologie di ingranaggi, figura 62 del *Liber Organicus* (a sinistra), e movimentazione degli strumenti tramite pulegge, figura 89 del *Liber Organicus* (a destra). Le linee tratteggiate indicano un'interruzione dei disegni dovuta alla rilegatura delle pagine.

10. Ferdinand Verbiest S.J., tecniche di costruzione e verifica dei cerchi degli strumenti, figura 43 del *Liber Organicus* (a sinistra), e del globo celeste, figura 44 del *Liber Organicus* (a destra). Le linee tratteggiate indicano un'interruzione dei disegni dovuta alla rilegatura delle pagine.



9.



10.

la finitura della superficie sferica del globo celeste, con operazioni di limatura della superficie [fig. 10].

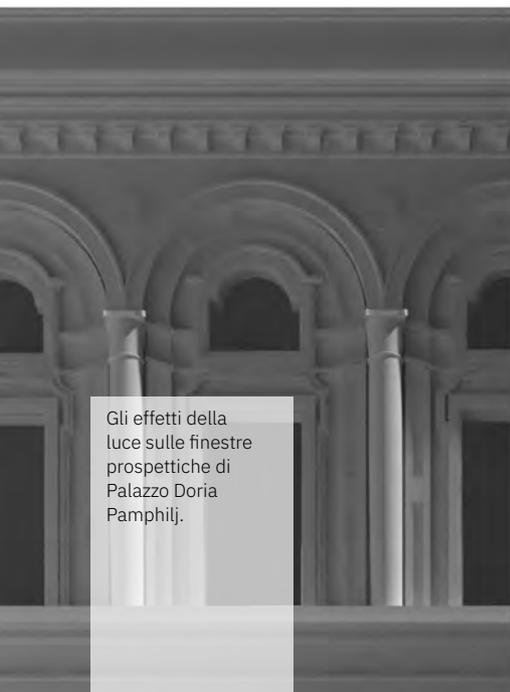
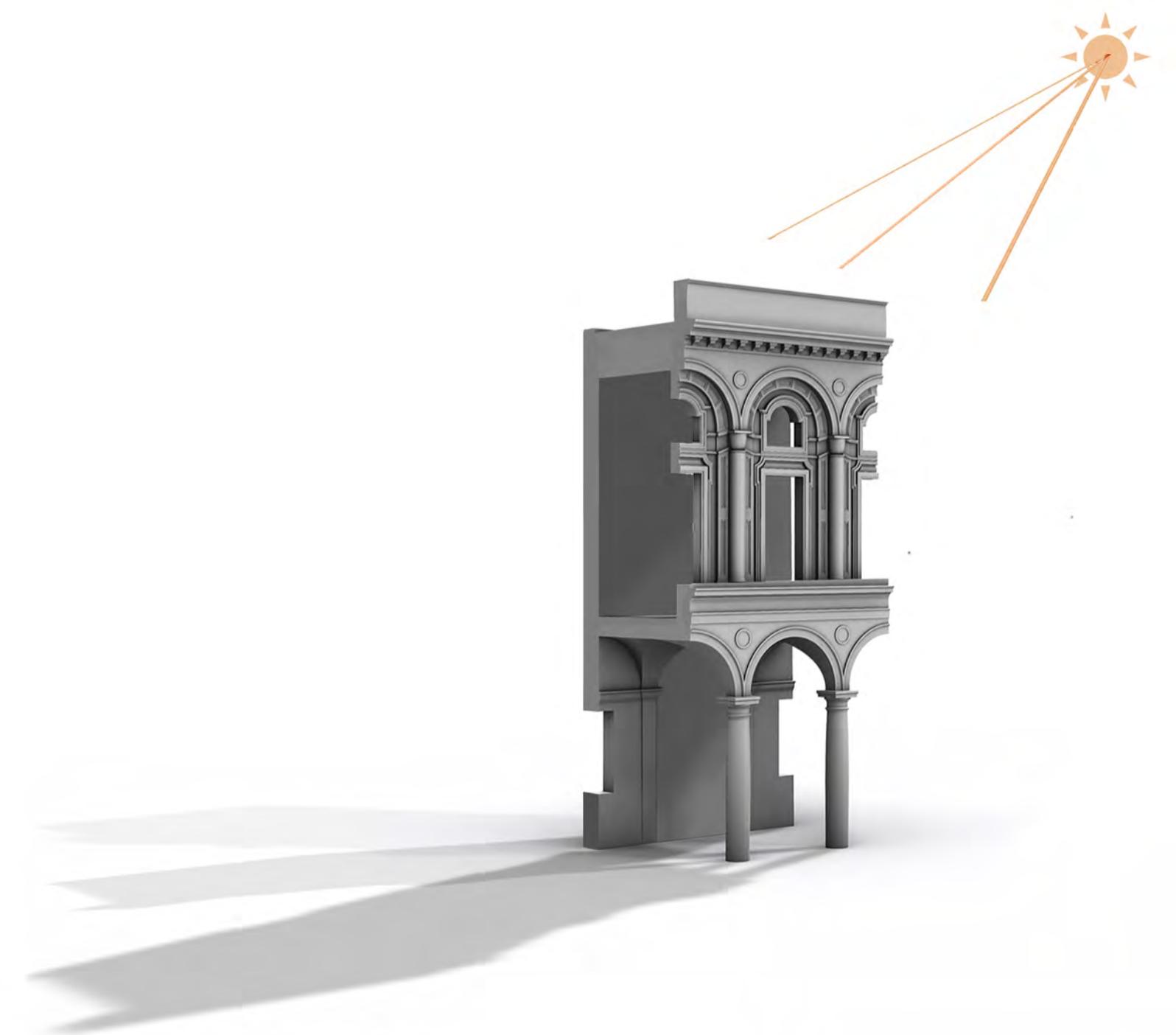
Conclusioni

L'esperienza di *accomodamento* delle conoscenze europee attuata dai missionari gesuiti in Cina riguardo all'astronomia e alla costruzione di strumenti di osservazione e misurazione è un esempio di scambio culturale di lunga durata che ha creato un terreno condiviso di comunicazione e ricerca tra culture che si erano sviluppate con limitate occasioni di contatto. La veicolazione di diversi modelli dell'universo, geometrie e strumenti è avvenuta attraverso e ha contestualmente generato un'ampia produzione editoriale, caratterizzata da traduzione e integrazione dei saperi, in cui le immagini hanno avuto un ruolo importante di veicolo. Lo scambio culturale ha infatti innescato un ampio movimento bidirezionale di trattati come vettori di conoscenza e le immagini che contengono sono interessanti sia per i contenuti sia per la reinterpretazione che offrono delle rispettive tradizioni figurative e culture visuali.

Bibliografia

- Brahe T. (1598). *Astronomiae Instauratae Mechanica*. Wandesburgi.
- Deane T.E. (1994). Instruments and Observation at the Imperial Astronomical Bureau during the Ming Dynasty. In *Osiris*, vol. 9, pp. 126-140.
- Deng K. (2021). Ferdinand Verbiest and on the Newly Made Astronomical Instruments. In Jiang X. (a cura di). *Western Influences in the History of Science and Technology in Modern China*, pp. 63-107. Singapore: Springer.
- Du Halde J.B. (1736). *Description géographique, historique, chronologique, politique, et physique de l'empire de la Chine et de la Tartarie Chinoise*. La Haye: Henri Scheurleer.
- Du Halde J.B. (1741). *The General History of China, Containig a Geographical, Historical, Chronological, Political and Physical Description of the Empire of China, Chinese-Tartary, Corea and Thibet*. London: J. Watts.
- Elman B.A. (2005). *On Their Own Terms. Science in China, 1550-1900*. Cambridge: Harvard University Press.
- Halsberghe N. (2011). Introduction and Development of the Screw in Seventeenth-Century China: Theoretical Explanations and Practical Applications by Ferdinand Verbiest. In *East Asian Science, Technology, and Medicine*, vol. 34, pp. 163-193.
- Iannaccone I. (1989). From Tycho to Isaac Newton: Ferdinand Verbiest's Astronomical Instruments in the Ancient Observatory of Beijing. In *Memorie della Società Astronomica Italiana*, Vol. 60, pp. 889-906
- Mungello D.E. (2013). *The Great Encounter of China and the West, 1500-1800*. Lanham: Rowman & Littlefield Publishers.
- Needham J., Wang L. (1959). *Science and Civilisation in China, Vol. 3, Mathematics and the Sciences of the Heavens and the Earth*. Cambridge: Cambridge University press.
- Shi Y. (2015a). Ancient Chinese Astronomy – An Overview. In Ruggles C.L.N. (a cura di). *Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy*, pp. 2031-2042. New York: Springer.
- Shi Y. (2015b). Beijing Ancient Observatory. In Ruggles C.L.N. (a cura di). *Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy*, pp. 2141-2148. New York: Springer.
- Shi Y. (2020a). Chinese astronomy in the time of the Jesuits: Studies following 'Science and Civilisation in China'. In *Cultures of Science*, vol. 3, issue 1-2, pp. 1-8.
- Shi Y. (2020b). The Astronomical Images in the First Chinese Treatise on the Telescope by Johann Adam Schall von Bell Revisited. In *N.T.M.*, 28, pp. 451-479.
- Verbiest F. (1687). *Astronomia Europaea Sub Imperatore Tartaro Sinico Câm Hÿ Appellato Ex Umbra In Lucem Revocata*. Dilingae: Joannis Caspari Bencard.

In questo contesto, l'esperienza dei gesuiti Johann Adam Schall von Bell e Ferdinand Verbiest testimonia il successo, a livello scientifico e istituzionale, dell'azione di mediazione svolta ma evidenzia anche i limiti legati a ragioni culturalmente profonde. Le teorie geocentriche che in Europa erano state rivoluzionarie, poiché minavano un quadro più ampio di teorie e valori, in Cina vennero infine accolte per le loro ricadute pratiche nella redazione di calendari più accurati e di migliori interpretazioni degli auspici per l'imperatore. Per le stesse ragioni, l'interesse verso i nuovi strumenti astronomici fu molto elevata e permise a Verbiest di ibridare conoscenze astronomiche e tecniche europee con tecnologie e gusto cinesi. Infatti, i suoi strumenti alla europea rispecchiano il gusto e la tradizione cinese della decorazione degli strumenti con figure allegoriche e sfruttano la sapienza cinese nella lavorazione del bronzo, risultando in un'operazione di sinizzazione delle conoscenze europee ancora oggi visibile presso l'Antico osservatorio astronomico di Pechino.



Gli effetti della luce sulle finestre prospettive di Palazzo Doria Pamphilj.

Luce, ombre, architettura nella percezione delle prospettive solide. Le finestre di Palazzo Doria Pamphilj

Abstract

L'ente fisico della luce consente di vedere e comprendere, anche attraverso l'ombra, suo opposto, l'architettura. Le ombre proprie, portate e autoportate partecipano alla comprensione dello spazio e degli oggetti tridimensionali, sottolineando nelle architetture definibili isotrope le profondità reali. Cosa succede quando si tratta di architetture anisotrope come le prospettive solide? Il movimento del sole può influenzarne la percezione svelando l'inganno illusorio? Per rispondere a queste domande abbiamo inteso sperimentare tali effetti sulle finestre prospettiche di Palazzo Doria Pamphilj a Roma.

The physical entity of light enables the perception and understanding of architecture, including through its opposite, shadow. Self-cast, cast, and self-supporting shadows contribute to the comprehension of space and three-dimensional objects, emphasising real depths in isotropic architectural forms. What happens, however, in the case of anisotropic architecture, such as solid perspectives? Can the movement of the sun influence their perception, unveiling the illusory deception? To address these questions, we have explored the effects of light and shadow on the perspective windows of Palazzo Doria Pamphilj in Rome.

Parole chiave

Prospettiva solida
Ombra
Luce
Illusione prospettica
Percezione visiva

Marco Fasolo

Sapienza Università di Roma
→ marco.fasolo@uniroma1.it

Flavia Camagni

Sapienza Università di Roma
→ flavia.camagni@uniroma1.it

Elisa Guarino

Sapienza Università di Roma
→ elisa.guarino@uniroma1.it

Introduzione

La celebre frase di Le Corbusier: “L’architettura è il gioco sapiente, rigoroso e magnifico dei volumi assemblati nella luce” (Le Corbusier 1973, p. 16) definisce in maniera chiara ed efficace il rapporto esistente tra architettura e luce. L’essenza materiale dell’architettura si somma all’entità immateriale della luce producendo quel risultato di esaltazione della forma che conduce l’osservatore all’apprezzamento, anche percettivo, del fatto tridimensionale. L’ente fisico della luce si configura dunque come elemento essenziale per poter vedere e comprendere, anche attraverso l’ombra, suo opposto, la natura che ci circonda e perciò anche l’architettura che in essa vive. È proprio l’ombra prodotta dai raggi luminosi che, colpendo le superfici opache, crea quegli effetti chiaroscurali di rafforzamento della percezione della spazialità.

A proposito della luce, del buio e al loro indissolubile rapporto, James Turrell osserva: “la luce non è l’unica condizione per vedere. L’oscurità è un’altra. La vera luce e il vero buio sono in realtà asimmetriche. La luce è una condizione per poter vedere tutto dove invece l’oscurità (interagendo con la luce) è la condizione per vedere qualcosa focalizzandoci” (Hurtado Campaña 2017).

Il connubio tra luce e ombra non solo rende possibile la visione ma, al tempo stesso, favorisce la valutazione delle forme apprezzandone, in senso metaforico, il loro pulsare, il loro movimento come se fossero degli organismi viventi. Juhani Pallasmaa tratteggia in maniera chiara gli effetti che, in questo senso, la luce e l’ombra producono sull’architettura: “l’impressione straordinariamente potente di messa a fuoco e di presenza nelle tele di Caravaggio e di Rembrandt sorge dalla profondità dell’ombra (...) l’ombra dà forma e vita all’oggetto in luce. Inoltre procura la dimensione da cui nascono sogni e fantasie (...) nei grandi spazi architettonici c’è una costante e profonda respirazione tra luce e ombra; l’ombra inala (inspira) e l’illuminazione esala (espira) luce” (Pallasmaa 2007, p. 63). Risulta perciò evidente, da quanto detto, come la luce e le ombre siano elementi naturali che permettono l’esistenza stessa dell’architettura come provocatoriamente sosteneva Francesco Venezia durante una sua lezione alla Facoltà di Architettura di Alghero: “All’equatore non c’è ombra, al polo non c’è luce, lì non può esistere l’architettura; alla nostra latitudine c’è la luce che crea la giusta ombra, solo qui può esistere l’architettura” (Censi 2014, p. 7).

In questo contributo si intende ribaltare la sequenza *architettura, geometria, astronomia*, caratterizzante il titolo del convegno, in una a noi più funzionale: *astronomia, geometria, architettura*. Dove la prima parola fa riferimento al Sole, stella madre del sistema solare; la seconda allude ai fenomeni proiettivi delle ombre da esso derivanti; mentre con l’ultima si intende l’oggetto architettonico, nonché la com-

posizione di volumi sulla quale le ombre cadono. L’esistenza dei due elementi immateriali, luce e formazione dell’ombra, favorisce la comprensione della spazialità dell’architettura, sottolineandone la sua intrinseca tridimensionalità e permettendo all’osservatore di meglio comprenderla. Sono effettivamente le ombre, proprie, portate e autoportate che partecipano alla comprensione visiva dello spazio e degli oggetti a tre dimensioni, rivelandone le forme e le loro reciproche posizioni: i corpi anteposti ad altri, gli oggetti, le rientranze, la forma di parti di essa o la sua stessa complessità.

Il ruolo della luce nello svelamento dell’inganno delle false prospettive

Abbiamo visto come la luce e le conseguenti ombre assumano un ruolo fondamentale per la visione e per l’apprezzamento delle forme. I movimenti “statici” delle componenti progettuali che si protendono al di fuori della facciata o degli altri che rientrano rispetto a essa attivano quei meccanismi della visione che generano un dinamismo che tende ad essere esaltato dalla presenza della luce e delle ombre. La luce penetra nell’architettura, la movimentata creando piani di luce e nuove superfici che intersecando quelli reali restituisce uno spettacolo al contempo immateriale e irrealista ma pur sempre vero. La conformazione spaziale delle forme da quelle più complesse a quelle più semplici è rilevata da un osservatore che guarda quello spettacolo, leggendo, grazie alle suddette componenti materiali e immateriali, i giochi di pieni e vuoti che caratterizzano il manufatto architettonico. La profondità di una nicchia sferica così come di una trabeazione di qualunque ordine sia verrà apprezzata maggiormente da chi osserva grazie alle ombre che sono in grado di fornire un ulteriore indizio di profondità volto ad esaltare quella già presente nella realtà.

Ci poniamo ora queste domande: cosa accade però quando l’artefatto architettonico intende simulare volontariamente profondità diverse da quelle che realmente lo caratterizzano? Ci riferiamo a quegli elementi architettonici che nella loro tridimensionalità alludono ad una spazialità differente, contratta rispetto a quella costruita, di cui ne sono un esempio le finestre in “falsa prospettiva”. Può l’agire del Sole, attraverso il fenomeno delle ombre, svelare la vera morfologia delle geometrie presenti?

Le finestre in falsa prospettiva fanno parte della “prospettiva solida” nota anche come “prospettiva rilievo” anche se la prima definizione, che usa l’aggettivo solida, meglio descrive, a nostro giudizio, il carattere tridimensionale di questa rappresentazione prospettica. L’oggetto progettato e realizzato in prospettiva solida finge profondità maggiori di quelle reali.

Mentre nelle architetture per così dire isotrope abbiamo visto come l’effetto della luce e delle ombre

tende a sottolineare le profondità reali degli elementi fisici conducendo l'osservatore all'apprezzamento scultoreo tridimensionale di ciò che guarda, cosa succede allora quando lo spettatore si trova di fronte ad architetture anisotrope come sono le prospettive solide investite dalla luce e dalle ombre prodotte da essa? Il sole durante il suo movimento nell'arco della giornata può influenzare la percezione di questi oggetti svelandone il recondito inganno illusorio?

Per rispondere a queste domande abbiamo inteso sperimentare gli effetti prodotti dalla luce e dalle ombre sulle finestre in prospettiva solida di Palazzo Doria Pamphilj a Roma.

Finestre in prospettiva solida

Per lo studio di questo fenomeno, si è scelto di analizzare le finestre situate al primo livello del cortile di Palazzo Doria Pamphilj al Corso. Queste finestre presentano caratteri prospettici capaci di alterare la percezione spaziale, apparendo a chi le osserva di una profondità maggiore rispetto a quella reale [fig. 1]. Soluzioni architettoniche illusorie di questo tipo trovano origine nel Rinascimento, ma si affermano soprattutto a partire dal periodo Barocco, in linea con il prevalente sentimento di meraviglia che lo caratterizza (Ricci 1904). Tra gli esempi più celebri e radicati nell'immaginario collettivo figurano il finto coro bramantesco di Santa Maria presso San Satiro,

la Galleria di Palazzo Spada attribuita a Borromini e la famosa Scala Regia in Vaticano opera di Bernini. Questi espedienti progettuali, finalizzati a suscitare nello spettatore la percezione di uno spazio illusorio (Paris 2005), sono generalmente catalogati nella letteratura come "false prospettive" o "prospettive solide". Queste ultime possono essere ulteriormente suddivise in sottocategorie, a seconda della relazione tra lo spazio reale, oggettivo, e quello a cui tali prospettive alludono.

Le finestre in questione, così come portali e nicchie che presentano medesima matrice prospettica, rientrano nella categoria delle prospettive solide che alludono a uno spazio di dimensioni ridotte a partire da uno spazio reale altrettanto contenuto. Come mostrato nella figura 1, le finestre oggetto di studio presentano una profondità ridotta, ma gli elementi architettonici orizzontali, come le modanature sopra i piedritti dell'arco e quelle che definiscono i cassettoni, sono inclinati verso l'interno e convergono approssimativamente in un punto. Questo genera il fenomeno dell'accelerazione prospettica, responsabile dell'illusione di essere di fronte a delle finestre aventi una maggiore profondità [fig. 2].

Tale inclinazione di alcuni e significativi elementi architettonici e il relativo intento prospettico si riscontrano anche in altre finestre. Queste possono essere degli *unicum* su una facciata, come nella Chiesa di

1.
Il cortile di Palazzo Doria Pamphilj al Corso prima del recente restauro.
©Trust Doria Pamphilj. Tutti i diritti sono riservati.



1.

San Stanislao dei Polacchi o nella Chiesa dei Santi Celso e Giuliano a Roma, oppure ripetersi in modo seriale e a quote elevate, come nell'ultimo livello della facciata principale di Palazzo Barberini. In altri casi, adornano la facciata secondo diverse giaciture, come nel Palazzetto di Caccia di Stupinigi a Torino, o caratterizzano i quattro lati di un cortile, come nel caso di Palazzo Doria Pamphilj al Corso. A differenza degli altri esempi poc'anzi riportati, la particolarità delle finestre oggetto di studio risiede nella loro collocazione: un cortile rinascimentale, che per sua natura si compone di quattro prospetti tra loro uguali. Questa configurazione consente di osservare contemporaneamente gli elementi prospettici in differenti condizioni di illuminazione.

Il cortile e le finestre di Palazzo Doria Pamphilj al Corso

Il Palazzo Doria Pamphilj al Corso confina a nord con la Chiesa di Santa Maria in Via Lata e con Piazza del Collegio Romano, e si erge, secondo la Forma Urbis Romae di Lanciani, sulle fondamenta dei Saepia Iulia. L'attuale configurazione dell'edificio è il risultato di una serie di interventi che, a partire dal nucleo originario risalente agli inizi del Cinquecento, hanno man mano inglobato il tessuto medievale dell'isolato delimitato da via del Plebiscito a sud, piazza Grazioli a ovest e via Lata (oggi via del Corso) a est. Nel cortile si distinguono una parte cinquecentesca e una settecentesca. Sebbene il progetto iniziale prevedesse un cortile, la sua costruzione si interruppe: vennero completati solo il lato orientale e quello meridionale, mentre al livello superiore fu realizzato un loggiato parziale. Due secoli dopo, tra il 1731 e il 1739, l'architetto Gabriele Valvassori completò il cortile e chiuse il loggiato superiore, per la realizzazione della famosa Galleria fortemente voluta da Camillo Filippo Pamphilj. La differenza temporale tra le due fasi costruttive è evidente nei materiali e nelle lavorazioni: le colonne cinquecentesche, in marmo peperino, sono arricchite da capitelli in pietra finemente lavorati, mentre quelle settecentesche sono intonacate e sormontate da capitelli in gesso di fattura più grossolana.

Il cortile funge da elemento di connessione tra le strutture preesistenti, conferendo un'unità razionale sotto il profilo distributivo e stilistico. Nonostante l'interruzione del rapporto tra Valvassori e la committenza, i lavori proseguirono, raggiungendo il completamento nel 1877 con l'intervento di Busiri Vici. Tuttavia dall'intervento di Valvassori non si registrano modifiche significative al cortile, sebbene nella seconda metà del XVIII secolo sia stato utilizzato per eventi prestigiosi, come quello del 2 aprile 1769. In quell'occasione, l'architetto Francesco Nicoletti realizzò una struttura in legno coperta da un tendaggio alla quota della Galleria, un intervento

considerabile come esempio di architettura effimera e che consentì un punto privilegiato di osservazione delle finestre prospettiche.

L'efficacia della matrice prospettica delle finestre è stata parzialmente confermata dai rilievi di Carandente degli anni '70, nei quali non sono state rilevate le inclinazioni menzionate in precedenza. È possibile che l'effetto prospettico di maggiore profondità sia percepibile in modo più evidente solo in specifiche condizioni di luce solare (Carandente 1975).

Analisi delle ombre nelle finestre prospettiche

Il cortile del Palazzo Doria Pamphilj presenta una pianta quadrata, con un'articolazione su due livelli: un primo livello porticato, caratterizzato da archi poggianti su colonne, e un secondo livello, che ospita la Galleria Pamphilj e presenta le già citate finestre prospettiche.

L'impianto compositivo si ripete simmetricamente sui quattro lati del cortile. Ogni modulo presenta una doppia finestra inquadrata all'interno di una composizione armonica: un arco a tutto sesto si imposta su semicolonne corinzie, mentre l'apertura superiore della finestra, ad arco ribassato, è valorizzata da profili modanati. L'apertura inferiore, di forma rettangolare e orientamento verticale, è anch'essa riquadrata da modanature.

Due elementi chiave definiscono la struttura: l'arco su colonne e le finestre con cornici modanate. Questi sistemi si sviluppano su due piani paralleli posti a profondità differenti. Lo spazio intermedio che raccorda i due livelli presenta una superficie leggermente inclinata, elemento cruciale per l'effetto prospettico. In corrispondenza dell'arco, i cassettoni sono disposti radialmente, con modanature convergenti verso il centro; in modo analogo, gli elementi di raccordo tra colonne simulano paraste lavorate, in cui le modanature che in un modello isotropo dovrebbero essere orizzontali, risultano inclinate, rafforzando la percezione tridimensionale e dinamica della composizione. Il gioco illusorio è ulteriormente rafforzato dalla parte inferiore di questo elemento in cui le modanature tornano ad essere orizzontali e coerenti con le basi delle colonne [fig. 3].

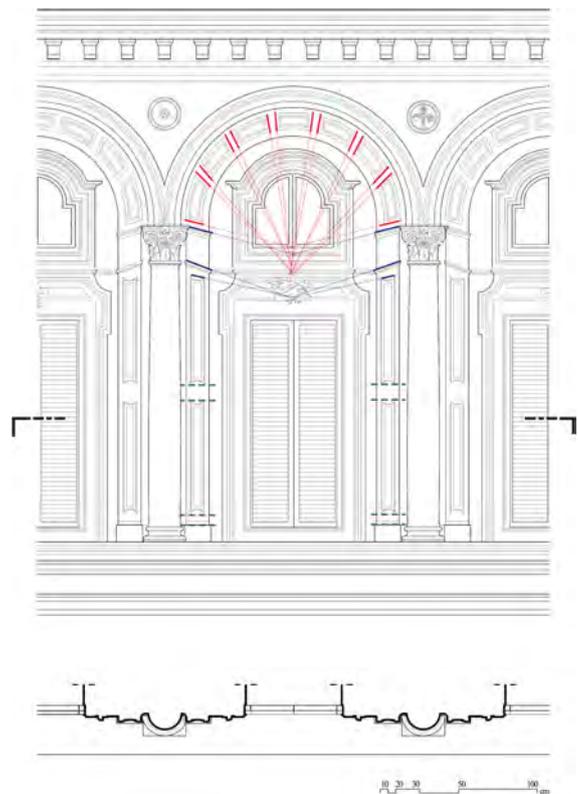
L'incidenza della luce solare gioca un ruolo fondamentale nell'enfatizzare i volumi e le modanature delle finestre prospettiche, creando un complesso gioco di luci e ombre che rafforzano l'effetto illusorio.

L'effetto delle ombre portate, tuttavia, varia in funzione di due fattori principali: la posizione del Sole durante il giorno e la collocazione dei singoli elementi architettonici. Poiché la composizione delle finestre si ripete simmetricamente sui quattro lati del cortile, ciascuna riceve i raggi solari con inclinazioni differenti a seconda dell'ora del giorno. Questo fenomeno produce una varietà di ombre, che, in alcuni momenti, accentuano il carattere prospettico delle cornici, mentre in altri ne rivelano l'artificio.

Tale variabilità luminosa costituisce uno strumento efficace per indagare la natura progettuale dell'illuminazione ottica e la percezione spaziale degli osservatori. Le fotografie scattate a diverse ore del giorno su una stessa finestra evidenziano come le ombre portate modifichino in maniera determinante la percezione degli elementi decorativi e, di conseguenza, l'effetto prospettico. Nelle prime ore del mattino, quando il prospetto è in ombra e non riceve luce solare diretta, l'effetto illusorio risulta al massimo della sua efficacia, mantenendo intatta l'unitarietà compositiva. Con l'avanzare del giorno, l'incidenza della luce solare comincia a rivelare la reale profondità degli ele-



2.



3.

menti inclinati, svelando progressivamente la natura illusoria della rappresentazione. A metà giornata, quando il Sole è alto, l'ombra prominente proiettata dal cornicione terminale spezza visivamente l'equilibrio tra la parte superiore e inferiore della finestra, provocando una perdita di unitarietà nella percezione complessiva dell'elemento architettonico [fig. 4]. Questa prima osservazione dimostra come è nell'imprescindibile legame tra luce e volumi che risiede il valore intrinseco di una forma architettonica. Ma così come è fondamentale la presenza della luce per la visione di un'architettura così lo è anche il suo opposto: l'ombra. Infatti, le ombre – proprie, portate e autoportate – contribuiscono alla comprensione visiva dello spazio e degli oggetti tridimensionali, rivelandone le forme e le reciproche relazioni spaziali. Lo studio presentato intende indagare come la percezione della profondità delle cornici delle finestre è mantenuta a prescindere delle condizioni luminose o, se le ombre, presenti naturalmente in alcune ore del giorno, siano in grado di svelarne l'inganno. La metodologia adottata parte sia dall'osservazione diretta del fenomeno fisico che dalla sua documentazione fotografica. Tale fase risulta essere propedeutica alla formulazione di ipotesi sull'influenza delle ombre nella percezione delle geometrie del modello costruito in prospettiva solida. Il passaggio successivo prevede la realizzazione di un modello digitale idoneo a replicare la morfologia del soggetto indagato, andando a verificare le ipotesi precedentemente formulate mediante opportuni strumenti in grado di simulare la direzione solare. Il sistema digitale utilizzato permette inoltre di esplicitare le condizioni e le relazioni geometriche tra Sole e architettura, consentendo una descrizione accurata del fenomeno proiettivo nella sua complessità.

Esplicitazione della geometria delle ombre

Per approfondire il legame tra la percezione delle forme architettoniche e l'interazione della luce, è stato scelto di riprodurre digitalmente l'intero sistema, ovvero architettura e fenomeno luminoso, ponendo particolare attenzione alla sua componente geometrica. Come primo passo, è stato realizzato un modello tridimensionale del cortile utilizzando dati provenienti da una campagna di rilievo integrato basata sulla tecnica *Structure from Motion* (SfM), verificati e controllati con dati topografici di riferimento. Questa metodologia ha consentito di ottenere un modello accurato, dotato di informazioni spaziali e metriche affidabili. Tuttavia, il risultato finale non si limita a una mera rappresentazione fedele: si tratta di un'interpretazione critica del dato, volta a costruire un modello ideale che privilegia regole morfologiche e proporzionali rispetto a eventuali irregolarità legate alle tecniche costruttive originarie [fig. 5]. Successivamente, il modello del cortile è stato geo-

2. Dettaglio di una delle finestre prospettiche del lato sud prima del recente restauro, vista laterale (sinistra) e vista frontale (destra). ©Trust Doria Pamphilj. Tutti i diritti sono riservati.

3. Analisi prospettica della finestra del secondo livello del cortile.

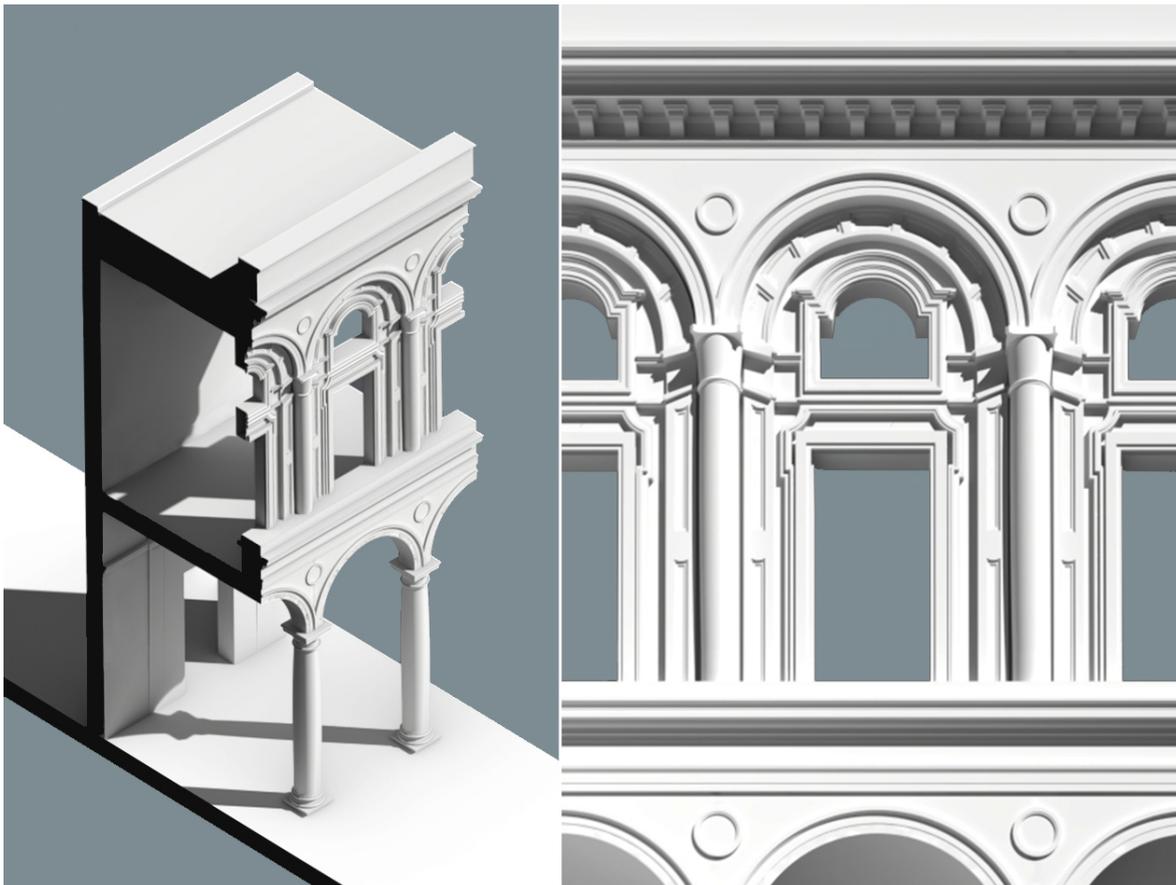
referenziato e orientato, per poi essere integrato in un sistema digitale parametrico [fig. 6]. La realizzazione del sistema parametrico ha avuto l'obiettivo di esplicitare la costruzione geometrica delle ombre, studiandone il comportamento dinamico al variare della direzione della luce solare nell'arco della giornata e durante le diverse stagioni dell'anno. La simulazione digitale ha permesso di osservare, con

precisione geometrico-proiettiva, l'interazione della luce con le superfici architettoniche, evidenziando le variazioni nelle modanature e nell'effetto prospettico delle finestre.

Sottoponendo il modello digitale a differenti configurazioni luminose, si è osservato che il prospetto ovest si rivela il più sensibile alle variazioni delle ombre portate, mostrando effetti chiaramente apprezzabili [fig. 7].



4.



4. Finestra del cortile con effetto delle ombre al variare della direzione del Sole. ©Trust Doria Pamphilj. Tutti i diritti sono riservati.

5. Palazzo Doria Pamphilj al Corso. Modellazione digitale di una campata del cortile (sinistra) e di una finestra (destra).

5.

Il sistema parametrico sviluppato si articola in due componenti principali: la prima gestisce la direzione della sorgente luminosa in funzione della posizione geografica e del tempo; la seconda è responsabile della rappresentazione del raggio luminoso, consentendo di osservare il fenomeno proiettivo anche nella sua componente geometrica [fig. 8]. Questa duplice struttura consente di verificare in maniera dinamica il rapporto tra la direzione della luce e la percezione delle profondità simulate.

L'analisi ha rivelato che quando la direzione della luce è coerente con gli elementi prospettici, l'ombra

non interferisce con l'effetto illusorio. Al contrario, variazioni significative nella direzione luminosa possono svelare la natura illusoria della prospettiva.

Le ombre non inficiano l'effetto prospettico delle finestre quando i raggi solari hanno un angolo zenitale ampio (ovvero, quando il Sole è alto nel cielo, come a metà giornata).

In queste condizioni, le ombre portate sono più corte e restano confinate agli elementi più vicini alla loro origine, evitando di sovrapporsi eccessivamente alle superfici circostanti. Questo permette agli elementi prospettici di mantenere la coerenza visiva, poiché le ombre



6.



h 9.00



h 11.00



h 13.00



h 15.00

7.

6. Rappresentazione digitale delle ombre prodotte dalla luce solare sul cortile indagato.

7. Prospetto ovest in quattro orari differenti, registrati nel periodo autunnale.

non interferiscono significativamente con la percezione delle forme e della profondità simulata.

Al contrario, quando i raggi solari hanno un angolo zenitale ridotto (quando il Sole è basso sull'orizzonte, al mattino presto o al tramonto), le ombre portate diventano più lunghe e invadono maggiormente lo spazio architettonico. In queste condizioni, le ombre possono evidenziare le reali profondità e distanze degli elementi, rivelando la natura illusoria delle costruzioni prospettiche e compromettendo l'effetto visivo complessivo.

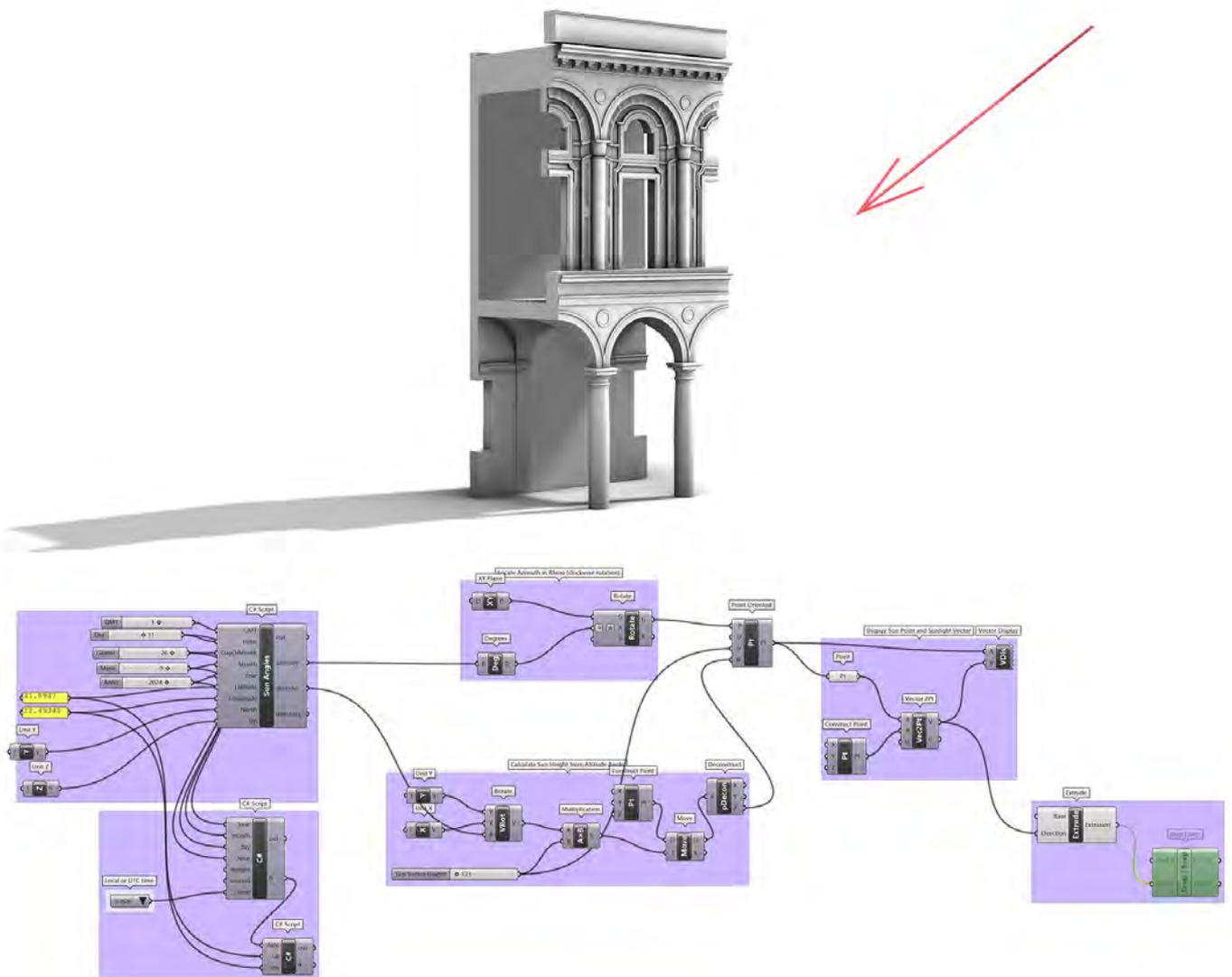
Lo studio ha inteso dimostrare come l'illusione prospettica delle finestre del cortile di Palazzo Doria Pamphilj sia strettamente condizionata dalle condizioni di illuminazione. L'integrazione del modello tridimensionale digitale con i sistemi di simulazione della traiettoria solare consente di individuare con precisione le configurazioni luminose che preservano l'illusione e quelle che invece ne rivelano il carattere illusorio.

Conclusioni

Questa ricerca conferma l'importanza dell'osservazione diretta e dell'utilizzo del modello digitale per la comprensione delle interazioni tra luce, ombra e percezione spaziale dell'architettura. Superando l'impostazione tradizionale, ben illustrata già da Matteo Zaccolini nel suo trattato sulle ombre (1618-1622), che consiste nel partire da un oggetto sul quale applicare le ombre, si propone il percorso inverso: dalla realtà alla definizione geometrica del problema. La teoria delle ombre, sebbene radicata in tradizioni storiche, trova nuove applicazioni pratiche nella comprensione e gestione delle illusioni architettoniche.

“I nostri occhi sono fatti per vedere le forme nella luce: le ombre e le luci rivelano le forme”
(Le Corbusier, 1973).

8. Sistema parametrico per la variazione delle ombre con esplicitazione della direzione del raggio luminoso.



8.

Bibliografia

- Barba S. (2007). Luci e ombre nel disegno. In *Desafio da era digital: ensino e tecnologia CURITIBA Departamento de Desenho - UFPR Vol. CD*, pp.1-10. Curitiba: Departamento de Desenho - UFPR.
- Cândido C. (2010). *Il Disegno e la Luce. Fondamenti e metodi, storia e nuove applicazioni delle ombre e dei riflessi nella rappresentazione*. Firenze: Alinea.
- Carandente G. (1975). *Il Palazzo Doria Pamphilj*. Milano: Electa.
- Casale A. (2018). *Forme della percezione dal pensiero all'immagine*. Milano: FrancoAngeli.
- Censi S. (2014). Il gioco magnifico e corretto dei colori sotto la luce. In *The Colours of Architecture*, n. 04, pp. 6-13.
- Casati R. (2000). *La scoperta dell'ombra*. Milano: Arnoldo Mondadori Editore S.p.A.
- De Rosa A. (1997). *Geometrie dell'Ombra. Storia del simbolismo della teoria delle ombre*. Milano: CittàStudi Edizioni.
- Fasolo O., Di Clemente A., Fasolo M. (1993). *Le ombre in proiezioni ortogonali. Dall'immagine alla teoria*. Roma: Edizioni Kappa.
- Gay F. (2004). Photofanie: esattezza della luce e approssimazioni dell'ombra in architettura. In A. De Rosa (Ed). *Tra Luce e Ombra*, pp. 209-221. Padova: Il Poligrafo.
- Hurtado Campaña C. (2017). *Coreografia delle Ombre all'interno della cultura giapponese nel mondo contemporaneo*. Tesi di dottorato di ricerca in Architettura – Teorie e Progetto, tutor prof. A. Saggio, cotutor prof. K. Kuma. Università Sapienza di Roma.
- Le Corbusier (1973). *Verso una Architettura*. Milano: Longanesi & C.
- Lindberg D. C. (1996). *Theories of Vision – from Al-Kindi to Kepler*. Chicago: University of Chicago Press.
- Pallasmaa J. (2007). *Gli occhi della pelle. L'architettura e i sensi*. Milano: Jaca Book. p. 63.
- Paris L. (2015). Prospettive solide. la scala regia in vaticano. In Bartoli M. T., Lusoli M. (a cura di), *Le teorie, le tecniche, i repertori figurativi nella prospettiva d'architettura tra il '400 e il '700*, pp. 84-94 .Firenze: Firenze University Press.
- Ricci C. (1904). *Vita Barocca*. Milano: Ulrico Hoepli.
- Zaccolini M. (1618-1622). *Della descrizione dell'ombre prodotte da corpi opachi rettilinei*.



Point-cloud della Sala Ovale di Palazzo Barberini (elaborazione dell'autore).

L'ovale di Bernini e le idee di Kepler: prime riflessioni sulla geometria a Palazzo Barberini

Abstract

Nel 1625, Papa Urbano VIII commissionò la costruzione di Palazzo Barberini in Roma, coinvolgendo Carlo Maderno, Gian Lorenzo Bernini e Francesco Borromini. Uno degli spazi più noti e dibattuti, a causa dell'impianto geometrico, è la Sala Ovale. La ricerca si inserisce nel dibattito circa le ipotetiche influenze cosmologiche e kepleriane che avrebbero portato alla costruzione di questo ambiente, attraverso un'analisi critica basata su rilievi digitali, sovrapposizioni grafiche e verifiche dimensionali.

In 1625, Pope Urban VIII commissioned the construction of Palazzo Barberini in Rome, involving Carlo Maderno, Gian Lorenzo Bernini, and Francesco Borromini. One of the most renowned and debated spaces, due to its geometric layout, is the Oval Room. This study contributes to the discussion on the possible cosmological and Keplerian influences that may have led to the creation of this space, through a critical analysis based on digital surveys, graphic overlays, and dimensional verifications.

Parole chiave

Geometria descrittiva
Rilievo digitale
Kepler
Bernini
Analisi grafica

Stefano Costantini
Sapienza Università di Roma
→ s.costantini@uniroma1.it

Introduzione

Palazzo Barberini, probabilmente grazie alla presenza contemporanea di più architetti e artisti di alto profilo dell'epoca, è composto da diversi ambienti di rilevanza spaziale e architettonica molto noti e apprezzati. Infatti, oltre all'introduzione di nuove soluzioni architettoniche, l'edificio è costellato di rimandi metaforici e teoretici a tematiche connesse con l'universo e l'astronomia. Molti di questi sono contenuti all'interno della Sala Ovale.

In particolare, l'impianto di questa Sala è stato associato da alcuni autori (Colonnese 2014; Magnanini 1984; Velo 2021) sia alle teorie cosmiche galileiane che al sistema solare con orbite ellittiche descritto da Johannes Kepler. Questo perché la teoria di quest'ultimo fu pubblicata circa vent'anni prima dell'inizio dei lavori di costruzione della fabbrica, in una Roma seicentesca che, in modo sistematico, stava applicando questa geometria in diverse architetture religiose.

Questo lavoro di ricerca si propone quindi di verificare le ipotesi formulate in passato, riflettendo sulla possibile influenza delle nuove scoperte astronomiche nel processo di progettazione della residenza pontificia, considerando l'innovativa applicazione della forma ovata all'interno di un edificio civile.

In primo luogo, quindi, si è cercato di delineare il contesto storico e culturale in cui si colloca la costruzione dell'edificio, mettendo in evidenza sia il significato architettonico degli elementi presenti nella Sala, sia i riferimenti simbolici individuati dalla critica storica, i cui valori risultano ulteriormente arricchiti dal rapporto tra il committente e l'astronomia. Al fine di verificare l'impianto geometrico realizzato, è stato poi condotto un rilievo digitale con tecnologia *range-based*, restituendo i dati acquisiti in elaborati bidimensionali. Questi sono stati analizzati e confrontati con le diverse interpretazioni sulle proporzioni della Sala che si sono succedute nel tempo, oltre che con gli studi grafici dell'ovale rappresentato da Johannes Kepler, pubblicato agli inizi del 1600 a dimostrazione dell'orbita compiuta da Marte.

La Sala Ovale di Palazzo Barberini in Roma

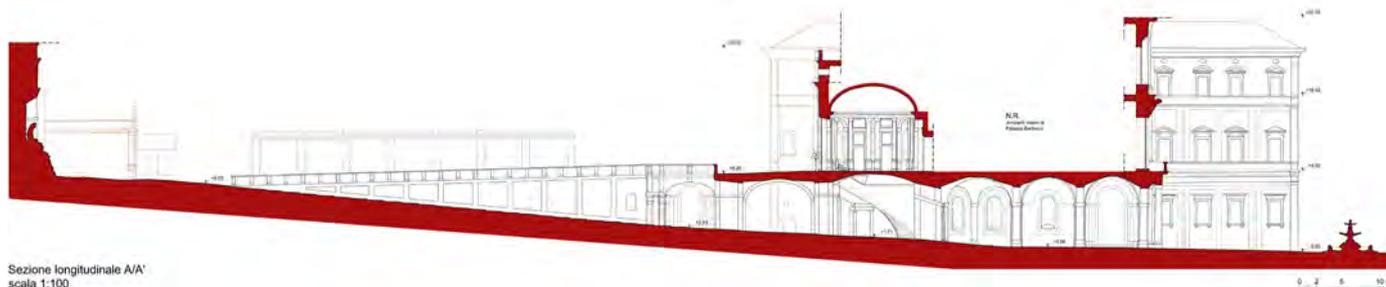
Attorno al 1625, nel cuore di una Roma Barocca in pieno fermento culturale, Papa Urbano VIII¹ (1568 - 1644) acquistò il preesistente Palazzo Capri-Sforza, insieme ai relativi terreni annessi, per costruire la propria residenza cittadina. Il palazzo originario fu inglobato all'interno del nuovo progetto, divenendo una fonte di vincoli sia strutturali che di posizionamento della quota dei solai. L'incarico progettuale venne affidato a Carlo Maderno (1556-1629), affiancato inizialmente dal giovane Gian Lorenzo Bernini (1598-1680). Quest'ultimo, dopo la morte del Maderno, assunse la guida del progetto, collaborando con Francesco Borromini (1599-1667). La presenza di tre protagonisti di spicco del Seicento contribuì alla creazione di un edificio civile unico nel contesto urbano romano.

Tra le caratteristiche distintive del complesso si annoverano la posizione interna rispetto al fronte stradale principale, l'impianto simmetrico a due ali aggettanti e con il prospetto principale arretrato ed un percorso retrostante lungo più di 80 metri. Questo tragitto, orientato con azimut 65° da nord², grazie alla presenza di una rampa di circa 50 metri, è progettato con una prospettiva solida che ne altera sensibilmente la percezione visiva e conduce lo sguardo, fin dall'ingresso, verso la statua di Apollo³ [fig. 1].

La rappresentazione allegorica del Sole, qui visibile dalla fontana prospiciente il palazzo quando l'osservatore si colloca lungo l'asse di simmetria longitudinale, non è casuale. L'allegoria del Sole si può osservare infatti in diversi punti del complesso, espresso attraverso diverse immagini, sia scultoree che pittoriche⁴. Questo elemento testimonia la volontà del papa Barberini di costruire una analogia tra la propria figura e quella del Sole.

Lungo l'asse principale, al primo piano, si trova la *Exedra ovata* (Teti 1642), oggi nota come la Sala Ovale [fig. 2]. Questo spazio, posto come collegamento tra il Salone d'Onore ed il giardino retrostante, venne completato probabilmente attorno al 1632. Visivamente, la Sala Ovale si pone in antitesi con la ricchezza figurativa del Salone affrescato, essendo interamente intonacata e stuccata. Le pareti

1. Sezione longitudinale del palazzo lungo l'asse principale (disegno dell'autore).



1.



2.
Point-cloud generata da laser scanner della Sala Ovale di palazzo Barberini.

3.
Frontespizio del Teatro d'impresa (1623) di Giovanni Ferro, con rappresentate le 12 imprese all'interno di stemmi (sinistra). Pagina 650 dell'opera con la rappresentazione a piena pagina del Sole (destra).

2.

sono scandite da 16 lesene su piedistallo, coronate da capitelli ionici che sorreggono una trabeazione continua con dentelli. Su questa si imposta una volta. Tra le coppie di lesene, si alternano nicchie sovrapposte cilindriche e ovoidali, con sculture nelle prime e busti marmorei nelle seconde.

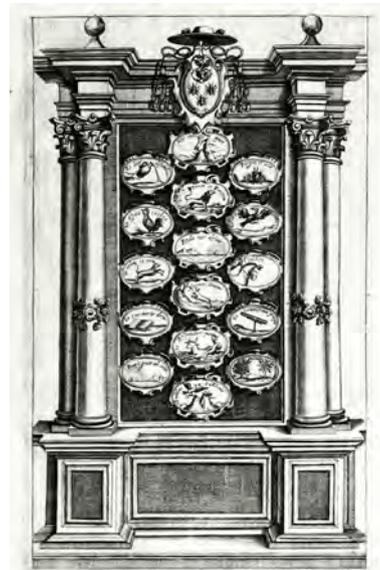
Il tracciamento di ovali/ellissi all'interno delle architetture diviene sempre più frequente in questo periodo, probabilmente anche grazie alla diffusione del *Libro I* del trattato di Sebastiano Serlio (Serlio 1545), che propone diversi metodi pratici per il tracciamento di queste curve⁵. Tuttavia, la Sala rappresenta un *unicum*, poiché per la prima volta una forma ovata trova applicazione all'interno di un'architettura civile. Inoltre, la scelta di orientare la Sala trasversalmente e collocarla lungo l'asse longitudinale del palazzo, le conferisce un ruolo centrale nell'impianto generale della fabbrica.

Secondo la letteratura (Magnanini 1983; Magnanini 1984), questo spazio si arricchisce inoltre di significati astronomici e cosmologici. La volta bianca, illuminata dalla luce diffusa proveniente dalle grandi aperture verso il giardino, è associata ad una rappresentazione simbolica della volta celeste. Analogamente, il candore delle superfici (evocativo dell'illuminazione divina) e la disposizione delle quattro nicchie lungo le pareti, collocate in rapporto proporzionale, alluderebbe al sistema tetralogico su cui si fonda l'universo. Queste motivazioni sembrerebbero aver spinto il Papa a utilizzare questa sala per riunire il proprio circolo culturale in esercitazioni letterarie (Colonnese 2014), come ricordato da Gerolamo Teti nella sua opera, dato che "...*litterariis exercitationibus nempe accomoda, quam et olim ego ad ipso Principe ad hunc usum commendatam nemini...*"⁶.

Urbano VIII e l'astronomia

Nel dicembre del 2004, proprio presso la sede museale, si è svolto un importante convegno intitolato *I Barberini e la cultura del Seicento* che ha riunito molti ricercatori e stimolato il confronto su diverse tematiche. Tra gli interventi, si ricorda il saggio di John Beldon Scott che analizza l'interesse del pontefice verso l'astronomia (Beldon Scott 2004). L'autore evidenzia il rapporto con Galileo Galilei riportando che, oltre a condividere un patrimonio culturale⁷, dal 1611 al 1623 tra i due ci fu un rapporto epistolare, per commentare e revisionare i rispettivi scritti.

Un altro esempio emblematico è rappresentato dal frontespizio della prima parte del *Teatro d'Imprese* (1623), scritto da Giovanni Ferro per il cardinale



3.

Maffeo Barberini. Nel frontespizio [fig. 3a], che illustra le dodici imprese del cardinale, si distingue in basso a sinistra uno stemma raffigurante il Sole che sorge sull'oceano accanto a un castello, accompagnato dal motto inciso "preaesignat ad ortu". Sul lato destro, poco sopra, si trova un altro stemma raffigurante un telescopio, sormontato dalla dicitura "et remotissima prope". A pagina 650 dello stesso trattato [fig. 3b] appare una rappresentazione simile: uno stemma al centro della pagina che raffigura il Sole mentre sorge sull'oceano, accompagnato dal motto "aliusq(ue) et idem", tratto dal *Carmen Saeculare* (v. 10) di Orazio. Un altro aspetto rilevante è l'interesse di Urbano VIII per il filosofo Tommaso Campanella (1568-1639), che portò ad accoglierlo nella propria cerchia culturale. Il filosofo, nel 1629, dopo l'avvio della costruzione della nuova residenza papale, pubblicò gli *Astrologicorum Libri* (Fagiolo 2023). Quest'opera, suddivisa in sei libri, si concentra sull'astrologia, sul movimento dei corpi celesti ed i loro effetti sulla vita umana.

Tutti questi elementi, qui sintetizzati, fanno parte di un quadro più ampio e complesso che mette in evidenza il particolare interesse di Papa Urbano VIII per l'astronomia e per le nascenti discipline scientifiche dell'epoca. Alla luce di ciò, alcuni autori (Colonnese 2014, Velo 2021) hanno proposto un primo collegamento geometrico tra le teorie kepleriane e l'architettura berniniana. Si cercherà di approfondire tale relazione nei paragrafi successivi, con particolare attenzione a Palazzo Barberini e alla Sala oggetto di studio di questo contributo.

Kepler e l'ellisse

Fino agli inizi del 1600, la struttura geometrica dell'universo era fondata sulla circonferenza e sul movimento circolare (Valerio 2006). Già Copernico nel secolo precedente, mentre metteva in discussione il modello geocentrico tolemaico affermava che "soltanto il cerchio può riportare un corpo nella sua posizione di partenza" (Dreyer 1977, p. 293). Questa concezione presto mutò, grazie a Johannes Kepler (1571-1630), astronomo, matematico e filosofo tedesco, autore di diversi trattati e saggi legati all'astronomia. Tra questi si ricordano il *Mysterium Cosmographicum* (1596), l'*Astronomia Nova* (1609) e l'*Harmonices Mundi* (1619). Nel primo si osserva una fusione tra le teorie platoniche sull'ordine dei pianeti e le nuove teorie scientifiche di Niccolò Copernico, con il suo rivoluzionario sistema eliocentrico. Nel secondo trattato, Kepler espone la teoria delle orbite ellittiche, contrapposte a quelle circolari. Nel terzo invece vengono enunciate le tre leggi sul moto dei pianeti.

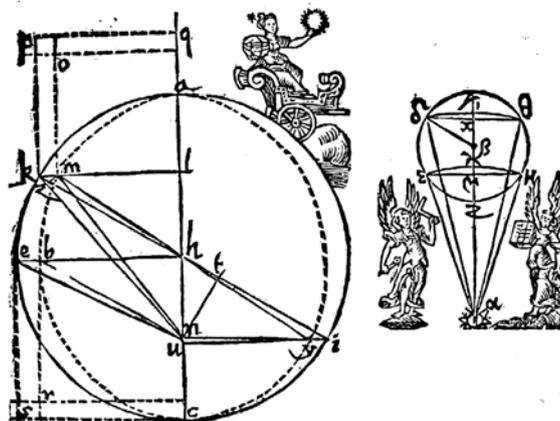
All'interno dell'*Astronomia Nova* ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ seu physica coelestis, tradita commentariis de motibus

stellae Martis ex observationibus G.V. Tychoonis Brahe pubblicata a Praga, Kepler prosegue nella rivoluzione cosmologica già avviata da Copernico nel 1543, con la pubblicazione dei *De revolutionibus orbium coelestium libri sex*. Infatti, per definire le orbite planetarie, l'astronomo studiò il moto compiuto da Marte e scrisse che "l'orbita di Marte non è un cerchio, ma passa all'interno del cerchio ai lati, aumentando di nuovo la sua grandezza rispetto a quella del cerchio al perigeo. La forma di una traiettoria di questo tipo è detta un ovale" (Hall 1976, p. 123).

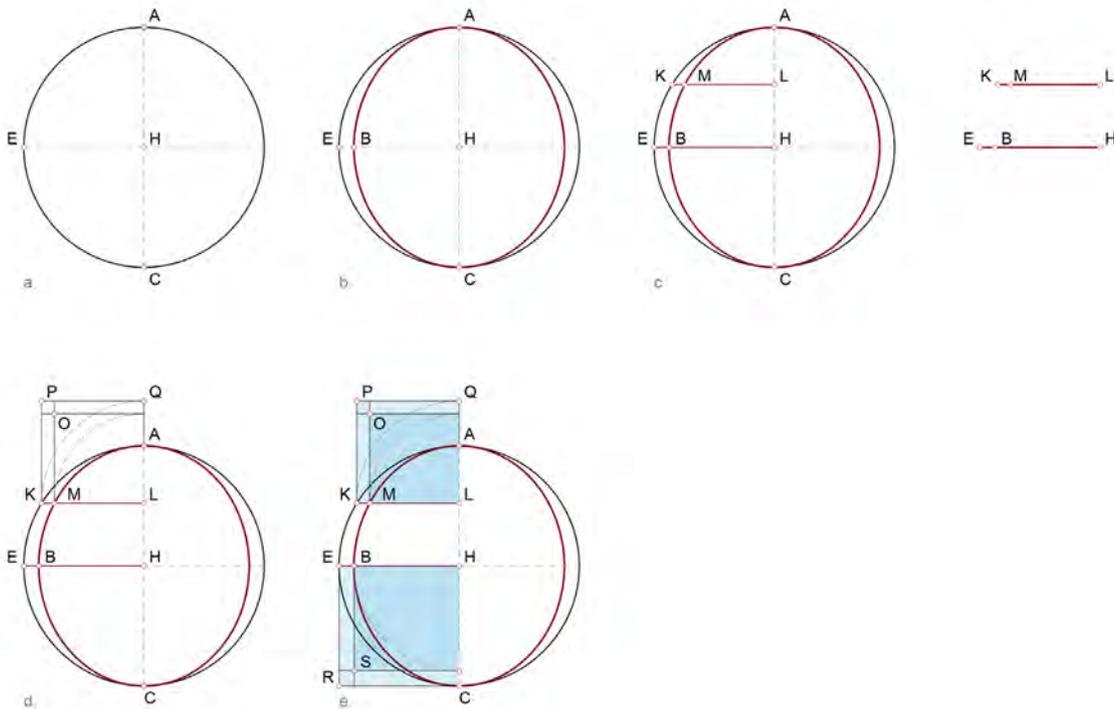
Particolare attenzione merita il Capitolo 59, intitolato *Demonstratio, quod orbita MARTIS, librati in diametro epicycli, fiat perfecta ellipsis: Et quod area circuli metiatur summam distantiarum, ellipticae circumferentiae puictorum*. All'interno di questo capitolo, Kepler rappresenta l'orbita ellittica, inscritta all'interno di una circonferenza e dimostra scientificamente che si tratta proprio di una ellisse, intesa come curva piana chiusa derivante dalla intersezione di un cono circolare con un piano inclinato genericamente rispetto all'asse del cono stesso⁸. La dimostrazione proposta dall'autore si articola in due parti. La prima comprende una serie di proposizioni preliminari, denominate *protheoremata* (che possono consistere in assiomi o concetti enunciati e spesso dimostrati sinteticamente), ed è composta da dodici punti. La seconda parte, dedicata alla dimostrazione vera e propria, è suddivisa in cinque sezioni ed esposta attraverso metodi sintetici analoghi.

L'autore pubblica, inoltre, un disegno di un'ellisse inscritta in una circonferenza [fig. 4], riproposto a intervalli di due pagine all'interno del capitolo. Questa rappresentazione vede la compresenza di più rette e aree quadrate, rendendo l'immagine meno immediata alla prima lettura, poiché accompagna più di una delle dimostrazioni esposte.

Ad esempio, nel primo *protheoremata*, si considera una circonferenza con centro in H, passante per tre punti A, E e C [fig. 5a]. Si traccia una ellisse passante per due di questi, ovvero A e C, e per un



4. Disegno presente all'interno del capitolo 59 dell'*Astronomia Nova* che l'autore usa per dimostrare la forma ellittica della traiettoria di Marte.



5. Algoritmo per il tracciamento dell'orbita ellittica di Marte, secondo Kepler, esposta nel primo *protheoremata*.

5.

terzo punto B, ottenendo così il diametro AC come asse principale [fig. 5b]. Si tracciano quindi due perpendicolari al diametro, passanti per i punti della circonferenza E e K e per i punti dell'ellisse in B e M, che si intersecano con il diametro rispettivamente nei punti H ed L [fig. 5c]. Per qualsiasi perpendicolare al diametro, come il segmento KL, è sempre verificato il rapporto $BH:HE=ML:LK$. La verifica all'interno di un software di disegno vettoriale evidenzia un errore dell'ordine del terzo decimale dopo lo zero.

I punti successivi affrontano i rapporti tra le aree, sia tra cerchio ed ellisse sia in relazione ai quadrati costruiti a partire dalle perpendicolari al diametro AC [figg. 5d, e]. Tuttavia, la trattazione non riguarda una costruzione geometrica pura: il disegno viene infatti verificato matematicamente, in termini numerici, attraverso dei calcoli e dei rapporti proporzionali che confermano le ipotesi esposte.

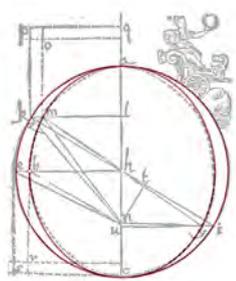
Nonostante Kepler avesse intuito come ogni corpo celeste descriva una propria traiettoria ellittica (dove ogni orbita giace su di un piano), la cui forma è condizionata dalla posizione di massima vicinanza (perielio) e massimo allontanamento (afelio) dal Sole, il presente studio si concentra sul moto di Marte. Questo perché, oltre ad una concomitanza storica tra la diffusione del trattato e l'inizio della costruzione di Palazzo Barberini, l'obiettivo della ricerca è delineare una metodologia di approccio all'analisi della possibile influenza delle teorie kepleriane al processo di progettazione della Sala Ovale. Per poter comparare le geometrie, effettuando così le prime ipotesi di lettura, come prima cosa si è

cercato di ripercorrere le modalità di tracciamento dell'ellisse kepleriana.

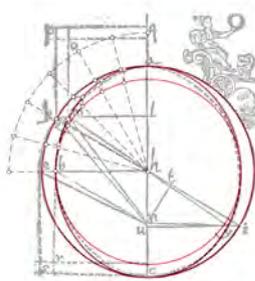
Analisi grafica dell'ellisse di Kepler

Non essendo presente una definizione precisa del tracciamento di questa figura da parte di Kepler, oltre all'assenza di segni visibili sul disegno originale utili a tale scopo, si è proceduto con una analisi grafica dell'ellisse, al fine di individuare un possibile algoritmo di costruzione della curva. Si precisa come i diversi spessori, così come il processo di stampa (che vede il passaggio del disegno all'incisore e poi il trasferimento sui torchi di stampa) possano aver introdotto un errore rispetto al disegno stesso. Per questo si è resa necessaria una approssimazione sia nel ridisegno che nell'interpretazione. Dopo aver importato l'immagine in ambiente vettoriale CAD, per prima cosa è stata tracciata la circonferenza, passante per tre punti A, C ed E.

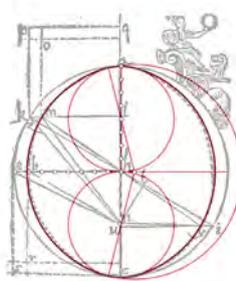
L'ellisse costruita da Kepler passa per due punti della circonferenza ed un terzo punto B che deve essere posizionato. Una volta tracciato il raggio passante per E, il segmento BE sembra essere pari ad un ottavo del segmento EH, permettendo così di determinare la posizione di B. È stata quindi costruita l'ellisse (attraverso l'operazione vincolata del software) dato il centro e la lunghezza dei due semiassi. Tuttavia, la figura ottenuta non sembra seguire in maniera ottimale il percorso previsto [fig. 6a]. Come ulteriore verifica è stata costruita l'ellisse seguendo il metodo del Serlio⁹. Anche in questo caso, il tracciamento della conica non trova, a livello macroscopico, una



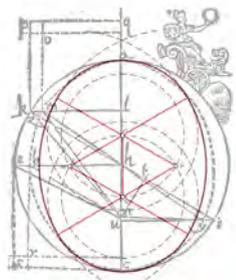
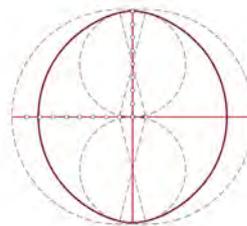
a. Ellisse dato il centro ed i diametri



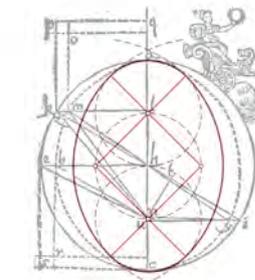
b. Ellisse del Serlio



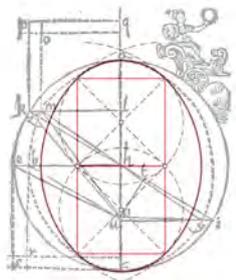
c. Quarta costruzione dell'ovale secondo Serlio



d. Prima costruzione dell'ovale secondo Serlio



e. Seconda costruzione dell'ovale secondo Serlio



f. Terza costruzione dell'ovale secondo Serlio

6. Analisi grafica dell'ellisse di Kepler presente nel trattato *Astronomia Nova*. Dimostrazione che la curva rappresentata è meglio approssimata dalla quarta costruzione dell'ovale, proposta dal Serlio.

7. Sezione trasversale della Sala Ovale con i livelli scelti per le sezioni orizzontali (elaborazione grafica dell'autore).

6.

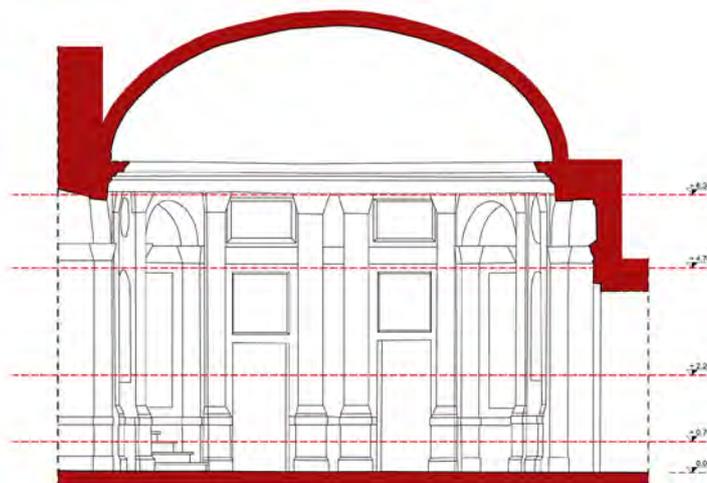
buona sovrapposizione con il disegno originale [fig. 6b]. Poiché i termini ellisse e ovale sono vocaboli che venivano comunemente utilizzati come sinonimi già nel Rinascimento (Migliari 1995), si è proceduto alla verifica del tracciamento della curva tramite la costruzione dell'ovale. La costruzione applicata si basa sulla quarta di quelle proposte da Sebastiano Serlio nel *Libro I* (Serlio 1619). Il semiasse maggiore è stato diviso in 8 parti ed è stata costruita una circonferenza con raggio pari alla metà del segmento. Il secondo centro, sul semiasse minore, già diviso in 8 parti, è stato individuato ad un ottavo dal centro della circonferenza di base. Allineando i centri e inserendo simmetricamente gli altri due punti rispettivamente sul secondo semiasse maggiore e minore, si è ottenuta una curva policentrica con archi di circonferenza in continuità di tangenza. Questa curva, sovrapposta all'immagine originale, risulta essere una buona approssimazione [fig. 6c], tenendo conto anche delle difficoltà di interpretazione dovute agli spessori non costanti del tratto nella stampa scansionata. La sovrapposizione con gli altri metodi del Serlio, al pari dell'ellisse, non sembrano essere sovrapponibili con il disegno di base [fig. 6d-f]. Il passo successivo consiste nell'analizzare l'impianto geometrico della Sala Ovale, al fine di determinare eventuali correlazioni culturali tra il lavoro di Kepler e la costruzione dell'ambiente.

Rilievo e analisi geometrica della Sala Ovale

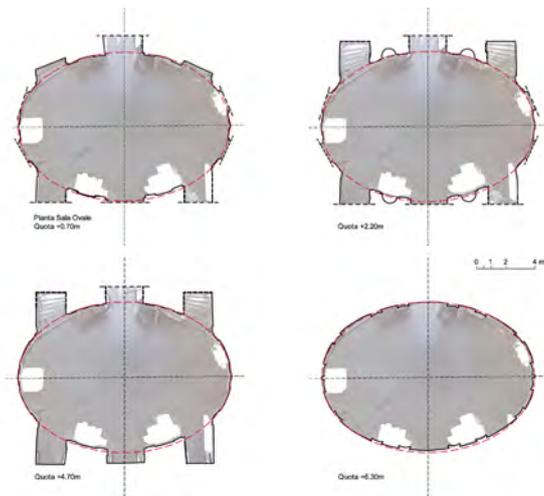
Questa sala è stata oggetto di numerosi studi nel corso degli anni. E' doveroso ricordare come, nella

pratica costruttiva, l'adozione di un profilo ovale consenta di ottenere una curva che più si avvicini all'ellisse, oltre al fatto che, il tracciamento di una parallela ad una ellisse non restituisca una nuova ellisse, a differenza della parallela ad un ovale che mantiene tratti di circolo posti in continuità di tangenza. Questa particolare proprietà si riflette inevitabilmente nella fase di cantierizzazione sia di pareti con un certo spessore realizzate, come in questo caso, in laterizio, oppure nelle costruzioni stereotomiche (Migliari 1995).

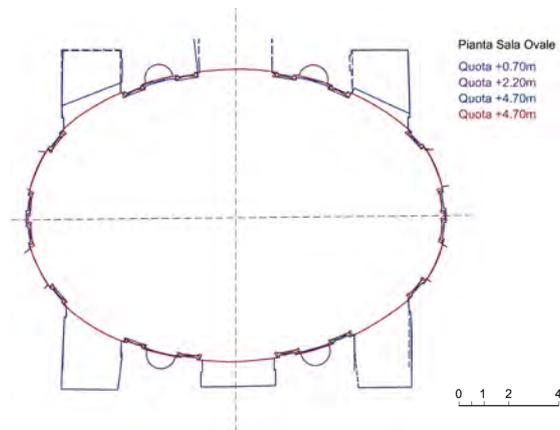
A partire dal rilievo condotto, si sono verificate le principali proposte di tracciamento e proporzionamento della pianta, procedendo poi con un'analisi



7.



8.



9.

basata sulle ipotesi emerse dal confronto con Kepler e, infine, una verifica tramite le costruzioni descritte da Sebastiano Serlio.

L'ambiente è stato rilevato con tecnologia laser scanner¹⁰, con un totale di quattro scansioni collocate opportunamente per poter acquisire la superficie cilindrica perimetrale della stanza.

A causa della presenza di lesene con basamenti, aggetti, nicchie e specchiature con modanature, sono stati definiti quattro piani di sezione orizzontale [fig. 7], utili a valutare eventuali deformazioni delle pareti verticali e leggere con chiarezza il profilo della parete di fondo. Assunto come punto di riferimento (0.00 m) il centro della stanza sul pavimento, i livelli sono stati posizionati alle seguenti quote: + 0.70 m; + 2.20 m (al di sopra delle scale verso il giardino); + 4.70 m (sopra le modanature delle quattro nicchie con statue); + 6.30 m (tra le nicchie ovoidali contenenti i busti e l'architrave continuo sorretto dalle lesene). La lettura di ogni singola sezione orizzontale consente di notare come l'impianto non rispetti la simmetria

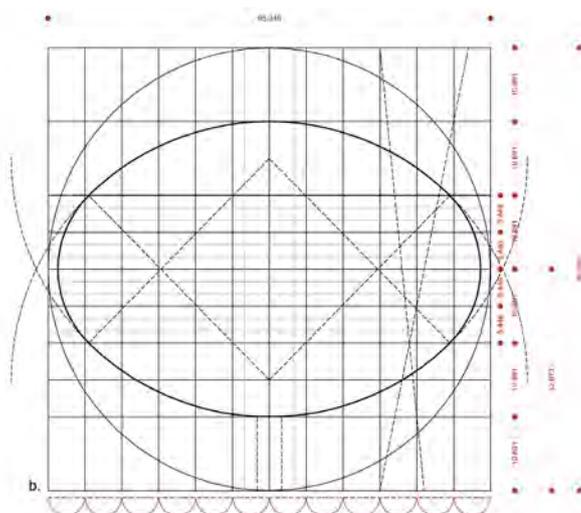
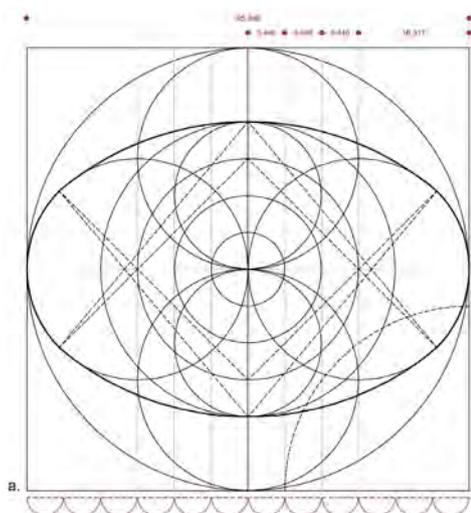
rispetto agli assi tracciati [fig. 8]; si registra però un discostamento che arriva fino a un palmo romano, nel quadrante in basso a destra. Sebbene sia difficile pensare che il profilo sia stato progettato in modo asimmetrico, è plausibile ipotizzare una variazione dovuta a vincoli di cantiere imposti dalla preesistenza oppure a irregolarità in fase esecutiva. Inoltre, dalla sovrapposizione delle sezioni è visibile infatti come non vi siano particolari disallineamenti tra i livelli [fig. 9].

Dato che non si rileva una sensibile rotazione delle pareti verticali è stato scelto di studiare, tra tutte le sezioni, quella impostata alla quota di +6.30m, dato che risulta essere l'unica in grado di restituire un profilo continuo, privo di interruzioni causate da bucatore o nicchie. Sarebbe stato più congruo analizzare il profilo impostato ad una quota prossima al piano di calpestio, per ripercorrere il processo di tracciamento dei centri e del profilo di curvatura; tuttavia, le interruzioni ed il basamento puntuale sotto le singole lesene avrebbero richiesto

8. Sezione trasversale della Sala Ovale con i livelli scelti per le sezioni orizzontali (elaborazione grafica dell'autore).

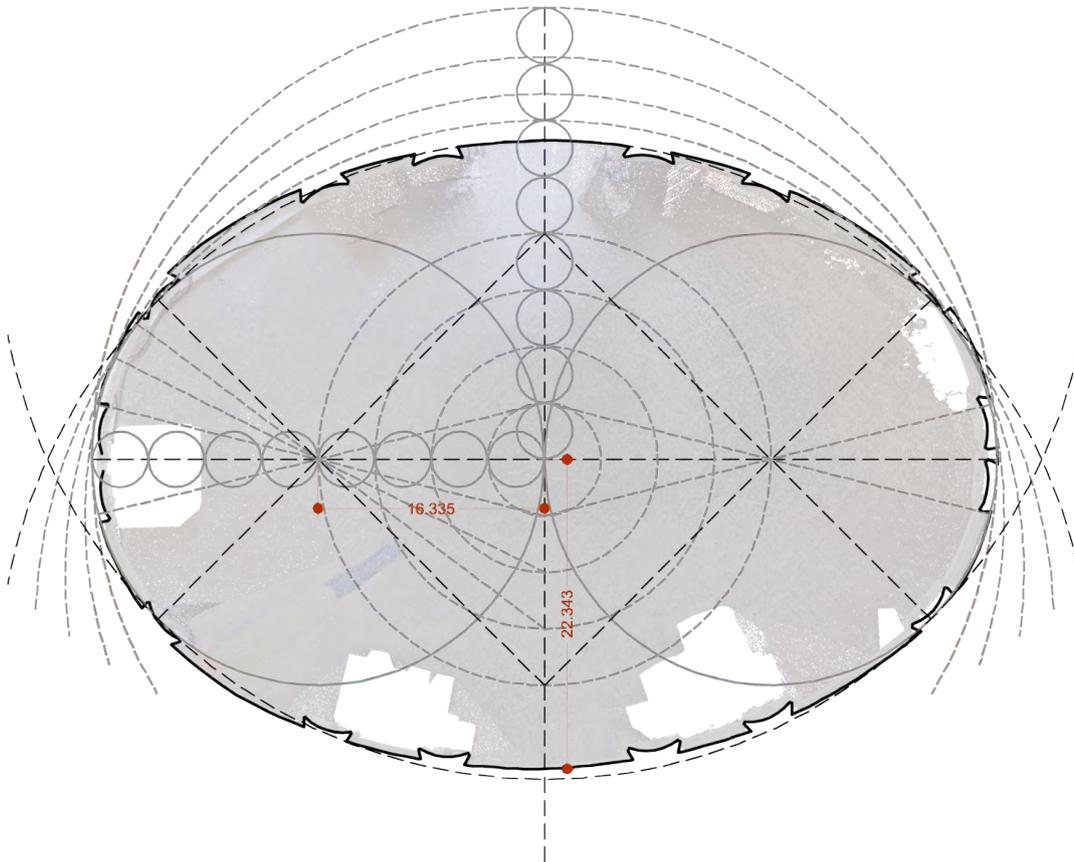
9. Confronto tra i profili sezionati a quota diversa.

10. Ridisegno critico dei primi proporzionamenti geometrici della Sala. La rappresentazione attraverso software di disegno automatico assistito ha messo in evidenza le criticità esposte. In (a) i centri non sono allineati (linee tratteggiate), mentre in (b), utilizzando i centri presenti nel disegno originale, la curva policentrica ottenuta non passa per gli estremi di partenza lungo l'asse maggiore. I disegni sono stati scalati prendendo come riferimento la lunghezza della Sala e quotati in palmi romani (disegni dell'autore).



10.

11.
Sovrapposizione
tra la sezione
restituita dalla
nuvola di punti
(linea continua)
e la costruzione
proveniente
dalle riflessioni
sull'ellisse di
Kepler.



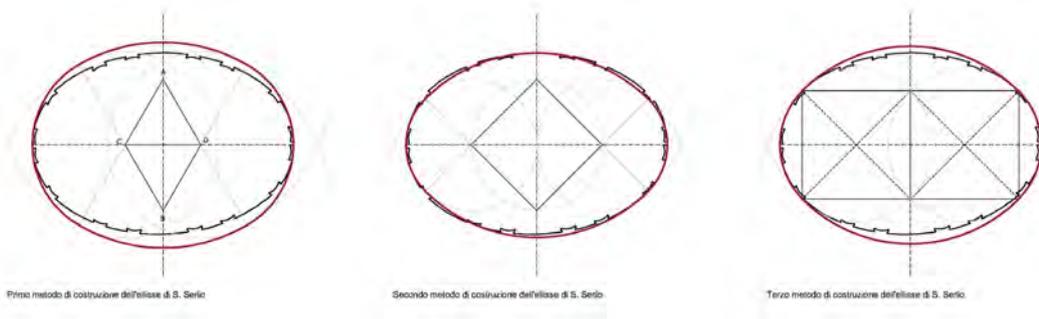
11.

una approssimazione eccessiva, compromettendo la validità dei risultati del lavoro.

I primi studi condotti (Magnanini 1983) hanno cercato di individuare uno schema proporzionale a partire dalla costruzione di un cerchio, inscritto in un quadrato, il cui diametro corrisponde all'asse maggiore della Sala. Tuttavia, le sequenze di tracciamento che conducono a queste costruzioni non sono chiaramente descritte nei documenti di riferimento, ma si presentano sotto forma di disegni senza una spiegazione esplicita, il cui significato è stato oggetto di interpretazione e i cui risultati sono qui di seguito esposti. Nel primo schema proporzionale, i centri lungo l'asse maggiore sono posizionati nel punto medio dei semiassi, analogamente all'ellisse kepleriana. Nel modello proposto [fig. 10a], i lati del quadrato sembrano essere stati suddivisi in dodici parti e intersecati dalle rette orizzontali e verticali come in figura; su queste sono state tracciate prima le due circonferenze con diametro pari al semiasse maggiore, imponendo così i loro centri come centri della policentrica. Successivamente sono state costruite le circonferenze concentriche tangenti alle rette verticali. La circonferenza più esterna individuerebbe gli estremi dell'asse minore, ma non sarebbe possibile costruire una curva policentrica in

continuità di tangenza, poiché i centri individuati (posti a metà dei semiassi maggiori e a $4/6$ di essi rispetto al centro) non sarebbero allineati. Anche lo studio dei rapporti geometrici, effettuato dagli architetti P. Macoratti ed F. Palazzesi, sembrerebbe presentare delle criticità analoghe [fig. 10b]. In questo caso, un quadrato verrebbe scomposto in una griglia 12×6 ; tuttavia, i centri individuati (posizionati circa a metà dei semiassi) restituiscono una curva policentrica che non sembra rispettare la condizione di vincolo iniziale, ovvero la coincidenza tra il lato del quadrato (e diametro della circonferenza) e l'asse maggiore della Sala.

Scartate le ipotesi precedentemente formulate si è passati al confronto con la geometria kepleriana. Dal profilo della Sala, è stata nuovamente costruita la circonferenza, il cui diametro corrisponde all'asse maggiore, pari a $65 \text{ ed } 1/3$ palmi romani, scelta sempre come dimensione di riferimento. Nei punti medi dei semiassi maggiori sono stati posizionati i primi centri, mentre il terzo centro è stato collocato a un ottavo del raggio rispetto al centro della circonferenza di base. Tuttavia, la curva tracciata non si avvicina alla costruzione kepleriana, risultando molto più snella. Il centro è stato quindi progressivamente spostato lungo il semiasse minore di un ottavo



12. Sovrapposizione tra la sezione restituita dalla nuvola di punti (linea continua) e la costruzione proveniente dalle riflessioni sull'ellisse di Kepler. La seconda costruzione si avvicina maggiormente al profilo planimetrico della Sala Ovale.

12.

alla volta, tracciando gli archi e verificandone la sovrapposizione con il profilo della pianta [fig. 11]. La miglior corrispondenza si è ottenuta con l'arco il cui centro si trova nel punto medio del raggio della circonferenza originaria. Anche in questo caso, come già accennato, l'asimmetria dello spazio costruito (di circa un palmo romano) emerge nuovamente, in particolare nel quadrante in basso a destra.

Questo modello non sembra riferirsi direttamente all'ellisse rappresentata da Keplero, ma appare più affine a Serlio; così come lo stesso disegno kepleriano presenta connessioni con Serlio. Risulta quindi doveroso confrontare l'impianto con le altre costruzioni presenti all'interno del *Libro I* di Sebastiano Serlio. La sua opera ha sicuramente influenzato molte architetture tra Rinascimento e Barocco, data la diffusione della stampa e la semplicità nella consultazione di questo documento da parte di architetti e costruttori dell'epoca. Anche per le altre costruzioni dell'ovale, è stata presa come misura di riferimento la lunghezza dell'asse maggiore della Sala. Visivamente, in tutti e tre i casi tuttavia non sembra esserci una costruzione preferibile ad altra visto che nessuna riesce a individuare una curva policentrica che ben approssimi il profilo della Sala [fig. 12].

Inoltre, nel ragionamento è importante considerare le evidenti problematiche di cantierizzazione e la necessità di adattare la sala a questo spazio specifico, dovute al dislivello retrostante, risolto con la rampa, e all'esigenza di allinearsi allo schema strutturale della pianta, vincolato alle preesistenze.

Conclusioni

Questa ricerca si è concentrata sull'analisi del rapporto tra architettura e i collegamenti cosmologici e astronomici dell'*Exedra ovata*, uno degli ambienti più rappresentativi di Palazzo Barberini. Dopo aver ricostruito il contesto culturale promosso da Urbano VIII durante il suo pontificato, in relazione alle nuove teorie astronomiche, è stata condotta una lettura critica dell'impianto geometrico della Sala Ovale. Nonostante lo spazio sia stato oggetto di numerosi studi, è emersa la necessità di un

nuovo approfondimento, avvalendosi di tecnologie avanzate oggi comunemente applicate allo studio del patrimonio architettonico. È plausibile pensare che sussistano connessioni e influenze tra le ricerche di Keplero e l'architettura berniniana, le quali, data l'attenzione del committente per la cosmologia contemporanea, in questo edificio assumono una rilevanza particolare. Tuttavia, allo stato attuale delle indagini, non emergono evidenze dirette di una applicazione esplicita della geometria kepleriana descritta nell'*Astronomia Nova*.

Oltre a valutare le geometrie delle diverse orbite individuate da Keplero, sarebbe auspicabile un approfondimento attraverso l'analisi di eventuali documenti di cantiere o di versioni progettuali alternative, che nella presente fase di ricerca non sono stati reperiti. L'esame delle fasi di progettazione potrebbe fornire nuove chiavi di lettura sul tema dell'asimmetria e aprire a ulteriori riflessioni sulla geometria dell'impianto, suggerendo l'eventuale esistenza di sistemi di tracciamento finora non indagati. Risulterebbe inoltre utile analizzare la geometria ovata di questi spazi non solo in pianta, ma anche in alzato, mediante lo studio delle sezioni lungo gli assi principali, seguendo approcci già adottati, ad esempio, per il Tempio Ovale all'interno del *Libro V* di Sebastiano Serlio (Zerlenga-Cirillo 2016; Zerlenga-Cirillo 2018) o per la celebre scala ovata di Ottaviano Mascarino a Roma (Paris et al. 2016). Il confronto con queste metodologie di ricerca potrà contribuire allo sviluppo della conoscenza sul tema oggetto del presente contributo.

Ringraziamenti

Per l'esecuzione della campagna di rilevamento si ringrazia la prof.ssa Marika Griffò per la disponibilità nell'utilizzo della strumentazione. Si ringrazia inoltre l'arch. Dario Aureli per la gentile disponibilità all'autorizzazione delle operazioni di misura. Si ringraziano inoltre i due referee del contributo che, grazie alle loro puntuali e preziose osservazioni, hanno contribuito a perfezionare e arricchire il lavoro.

Note

1. Maffeo Vincenzo Barberini viene eletto papa nel 1623. Dopo due anni, iniziò i lavori per la sua Reggia del Sole.
2. Il giorno del solstizio estivo, con un angolo di azimut di 65° e un'altezza di $7-8^\circ$ (poco dopo la levata del sole), la statua potrebbe essere illuminata dalle spalle, proiettando luce sulla rampa. La pendenza di questa (pari a 5° circa) consentirebbe alla luce di entrare nel portico, potendo così giustificare la presenza della statua di Apollo alla fine del percorso. Tale effetto oggi non risulta possibile a causa della palazzina retrostante la statua. Questa riflessione, che verrà approfondita in futuro con l'avanzare della ricerca, è stata elaborata in collaborazione con M. Incerti.
3. La scultura è posizionata a ridosso del prospetto principale di Villa Savorgnan di Brazzà, ed è conosciuta come Fontana di Apollo, o Fontana dell'Orfeo.
4. Si sottolinea ad esempio la presenza del Sole sulla me-topa centrale del fregio dorico al primo livello della facciata esterna (sempre lungo l'asse longitudinale del palazzo), sui camini laterali all'interno del Salone d'Onore e al centro dell'affresco della Divina Provvidenza.
5. Nel *Libro I*, Sebastiano Serlio rappresenta quattro metodi per tracciare curve policentriche chiuse, basati sull'individuazione dei quattro centri: il primo si fonda sulla costruzione di due triangoli equilateri aventi un lato in comune; il secondo prevede l'uso di tre circonferenze di uguale raggio disposte lungo l'asse maggiore, in modo che quella centrale passi per i centri delle due laterali; il terzo si basa sulla costruzione di due quadrati affiancati aventi un lato in comune, tracciandone poi le diagonali; il quarto consiste nella costruzione di due circoli di uguale raggio, posizionati in modo che uno passi per il centro dell'altro.
6. Gerolamo Teti nel 1642 pubblica l'*Aedes Barberinae ad Quirinalem*. In quest'opera vengono descritti il palazzo e gli ambienti di cui è composto, come la Sala Ovale. La narrazione non riguarda solo gli aspetti architettonici ma anche la funzione degli spazi. In particolare, per questa Sala, si parla proprio di gare letterarie svolte all'interno di questo ambiente in concomitanza con le riunioni indette dal Pontefice del suo circolo culturale.
7. L'autore mette in evidenza come siano entrambi accomunati da una stessa provenienza geografica, una origine nobile e da uno stesso temperamento. Evidenzia inoltre come presentino interessi comuni per l'arte e lo studio scientifico.
8. Kepler parla delle sezioni coniche citando, in diversi passi del trattato, il *De conoidibus et sphaeroidibus* di Archimede (III sec. a. C) e le *Coniche* di Apollonio (II sec. a. C.; la prima pubblicazione a stampa è a Bologna nel 1566). La rappresentazione delle sezioni coniche è un tema complesso e articolato nel tempo. A tal proposito, si veda ad esempio (Incerti 2025; Migliari 2008; Migliari 2024; Raynaud 2007).
9. Sempre nel *Libro I*, il Serlio propone un metodo di tracciamento dell'ellisse a partire dalla costruzione di due circonferenze con centro comune e raggio pari rispettivamente al semidiametro maggiore e minore.
10. La campagna di rilevamento, effettuata da M. Griffo e S. Costantini, è stata condotta il 25 novembre 2024 utilizzando lo scanner laser Z+F Imager 5016. Le operazioni, completate nell'arco di una sola mattinata, hanno garantito l'acquisizione completa dei dati necessari.

Bibliografia

- Beldon Scott J. (2004). Galileo and Urban VIII: Science and Allegory at Palazzo Barberini. In Mochi Onori L., Schütze S., Solinas F. (a cura di). *I Barberini e la cultura del Seicento*. Atti del convegno Internazionale, Palazzo Barberini, Roma, 7-11 dicembre 2004. Roma: De Luca editori d'arte, pp. 127-136.
- Colonnese F. (2014). Kepler, Galileo, Bernini e Gaspari. Note sulla controversa associazione tra Ellisse e Barocco. In *Society and Culture in the Baroque Period*. Proceedings of European Network for Baroque Cultural Heritage (ENBACH) General Conference. Roma, 27-29 marzo 2014. Parigi: OpenEdition.
- De Carlo L. (2019). Le linee curve tra geometria e analisi nel Rinascimento matematico. In De Carlo L., Paris L. (a cura di). *Le linee curve per l'architettura e il design*. Milano: FrancoAngeli open access. <<https://series.francoangeli.it/index.php/oa/catalog/view/409/209/1939>>.
- Docci M., Migliari R. (1991). Architettura e geometria nel Colosseo di Roma. In *Matematica e Architettura - Metodi analitici, metodi geometrici e Rappresentazione in Architettura*. Firenze: Alinea editrice, pp. 13-28.
- Dreyer J. L. E. (1977). *Storia dell'astronomia da Talete a Keplero*. Milano: Feltrinelli.
- Fagiolo M. (2023). Palazzo Barberini come "Reggia del Sole". In Camerota F. (a cura di). *La città del sole. Arte barocca e pensiero scientifico*. Livorno: Sillabe editore, pp. 155-163.
- Ferri G. (1623). *Teatro d'impresa*. Venezia: Giacomo Sarzina.
- Hall R. (1976). *La rivoluzione scientifica 1500-1800. La formazione dell'atteggiamento scientifico moderno*. Milano: Feltrinelli.
- Incerti M. (2025). *Cieli Paleocristiani. Dalla misura alla sua rappresentazione*. Padova: Libreriauniversitaria.
- Keplero J. (1609). *Astronomia Nova*. Praga: Heidelberg G. V. Heidelberg.
- Magnanimiti G. (1983). *Palazzo Barberini*. Roma: Editalia.
- Magnanimiti G. (1984). Interventi berniniani a Palazzo Barberini. In Spagnesi G., Fagiolo M. (a cura di). *Gian Lorenzo Bernini architetto e l'architettura europea del Sei-Settecento*, vol. 1, pp. 179-184. Roma: Istituto della enciclopedia italiana.
- Migliari R. (1995). Ellissi e ovali. Epilogo di un conflitto. In *PALLADIO*, n. 16, p. 93-102.
- Migliari R. (2008). Il problema di Apollonio e la Geometria descrittiva. In *Disegnare, Idee, Immagini*, 36, pp. 22-38.
- Migliari R. (2009). *Geometria descrittiva*, vol. 1. Novara: CittàStudi De Agostini.

- Migliari R. (2024). Apollonio Pergeo e la rappresentazione 3D. In *Disegno*, 14, pp. 173-182.
- Paris L., Ricci M., Roca De Amicis A. (2016). *Con più difficoltà. La scala ovale di Ottaviano Mascarino nel palazzo del Quirinale*. Roma: Campisano Editore.
- Raynaud D. (2007). Le tracé continu des sections coniques à la Renaissance. Applications optico-perspectives, héritage de la tradition mathématique arabe. In *Arabic Sciences and Philosophy*. Cambridge University press, 17, 299-345.
- Serlio S. (1545). *I Sette libri dell'architettura*. Edizione consultata del 1619. Libro I Venezia: Giacomo de' Franceschi. <https://archive.org/details/ldpd_12898270_000> (ultima consultazione 5 settembre 2024).
- Serlio S. (1547). *Libro V d'Architettura*. Dei Tempji Sacri. Parigi: avec privilege du Roy.
- Sinopoli A., Valenti G. M., Bruno M., Conti C., Romor J., Martines G. (2018). Primato romano delle volte: il Tempio di Diana a Baia. In D'Agostino S., D'Ambrosio Alfano F. R. (a cura di). *History of Engineering - Storia dell'Ingegneria, 3rd International Conference on History of Engineering*. Atti del 7° Convegno di Storia dell'Ingegneria, Napoli, 23-24 aprile 2018. Napoli: Cuzzolin, pp. 57-71.
- Teti G. (1642). *Aedes Barberinae ad Quirinalem. A comite Hieronymo Tetio Perusino descriptae*. Roma: Excudebat Mascardus.
- Valerio V. (2006). La forma dell'ellisse. In Ambrisi E., Basile L., D'Apuzzo L., Pellegrini A. (a cura di). *Arte e Matematica. Un sorprendente binomio*. Atti del Convegno dell'Istituto Italiano per gli Studi Filosofici, Vasto, 10-12 aprile 2003. Napoli: Arte Tipografica Editrice, pp. 240-262.
- Velo U. (2021). The harmony of Johannes Kepler: elliptical form in geometry and music. In Draxler S., Lippitsch M. E., Wolfschmit G. (a cura di). *Harmony and symmetry. Celestial regularities shaping human culture*. Proceedings of the SEAC 2018 conference in Graz, vol 1. Hamburg: Tredition.
- Zerlenga O., Cirillo V. (2016). Architettura ovata e tracciamento geometrico. In Felip Miralles F., Gual Ortí J, Cabeza González M., García-García C. (a cura di). *DI-BUJAR, CONSTRUIR, SONAR. Investigaciones en torno a la expresión gráfica aplicada a la edificación*. Valencia: Tiran Lo Blanch, pp. 819-833.
- Zerlenga O., Cirillo V. (2018). Curves and surfaces in the churches with ovate plant in Naples. Geometric analogies and differences. In Cocchiarella L. (a cura di). *ICCGI 2018*. Atti del 18th International Conference on Geometry and Graphics. Milano, 3-7 agosto 2018. Berlino: Springer, pp. 1-12.



Cappella del Tau, (Pistoia): Lo spazio interno, con gli affreschi di Niccolò di Tommaso, ospita le sculture dell'artista Marino Marini.

Orologi solari medievali in due affreschi del Trecento toscano; scoperte e spunti per nuovi studi

Abstract

Due affreschi toscani della fine del XIV secolo inaugurano un nuovo metodo d'indagine nella storia della gnomonica. I due dipinti attestano la presenza di orologi solari pubblicamente visibili nelle città toscane, ci mostrano i modelli più comuni e il sistema orario medievale prevalente, rivelando soluzioni costruttive che fino a ora erano state solo ipotizzate. In questo contributo, l'autore si sofferma singolarmente su ognuno di questi tre aspetti e li analizza, aprendo nuove strade di ricerca e confermando studi precedenti.

Two Tuscan frescoes from the late 14th century pave the way for a new method of investigation in the history of gnomonic. The two paintings attest to the presence of publicly visible sundials in Tuscan towns, show us the most common models, the prevailing medieval time system, and reveal constructive solutions hitherto considered only as viable hypotheses. In this contribution, the author dwells on each of these three aspects individually and analyses them, opening up new paths of research and confirming previous studies.

Parole chiave

Medioevo
Misura del tempo
Orologi solari
Ore canoniche
Affreschi

Mario Arnaldi
→ marnaldi@libero.it

Introduzione

Dal passato ci sono giunte numerose rappresentazioni pittoriche, musive e scultoree di orologi solari e strumenti di misurazione del tempo, ambientati in scene di vita quotidiana. Molte appartengono al periodo greco-romano (Jones 2016, pp. 171, pp. 182-212, p. 214) e bizantino (Olszewski 2009), alcune al periodo medievale e numerose dal XVI secolo in poi. Finora, quindi, sembrava che il Medioevo non avesse prodotto rappresentazioni di orologi solari fissi perché l'attenzione degli storici della gnomonica si era concentrata esclusivamente sulle immagini riprodotte nei manoscritti miniati, dove il repertorio consisteva principalmente in diagrammi e strumenti portatili (astrolabi, quadranti orari, il cilindro altrimenti noto come *horologium viatorum*, sfere armillari e tubi ottici). Rappresentazioni grafiche più precise cominciano a essere viste solo nei manoscritti della seconda metà del XV secolo. Tuttavia, l'attenzione principale dei miniatori di quel periodo è rivolta all'orologeria meccanica, la vera novità di quel secolo, essendo la gnomonica rappresentata principalmente da dispositivi portatili. Solo dopo il Rinascimento iniziarono ad apparire, seppur molto lentamente, più riproduzioni di orologi nei dipinti, ma la prevalenza era ancora riservata all'orologeria meccanica. Gli orologi solari oggetto di questo studio, d'altra parte, sono inaspettatamente veri orologi solari fissi inseriti nell'architettura urbana che fa da sfondo alle scene raffigurate in due cicli pittorici toscani del XIV secolo. Entrambi sono stati identificati da Giosuè Fabiano, storico dell'arte presso il Courtauld Institute di Londra, che ha voluto condividere le immagini con me.

La scoperta di due orologi solari nei cicli di affreschi che saranno qui esposti è certamente rilevante. Va oltre la semplice aggiunta di nuove immagini alla collezione d'illustrazioni gnomoniche: offre preziose intuizioni sulla misurazione del tempo durante il lungo periodo storico noto come Medio Evo.

Nelle antiche rappresentazioni greco-romane e bizantine, gli orologi solari sono spesso molto stilizzati o addirittura di fantasia. Al contrario, i dipinti gotici mostrano dettagli meticolosi, riproducendo con buona accuratezza anche gli elementi più piccoli. L'arte gotica italiana, in particolare, è degna di nota per il suo maggiore naturalismo e realismo, fungendo da precursore del Rinascimento. Pertanto i nostri due orologi solari non possono essere liquidati come semplici oggetti di scena. Entrambi testimoniano l'esistenza di tipologie che sono ancora evidenti oggi e aiutano a confermare o anticipare la cronologia della loro presenza nel tessuto urbano.

L'orologio solare dipinto nella chiesa del Tau a Pistoia

La chiesa di Sant'Antonio abate o del Tau, a Pistoia, fu fondata alla fine del 1360 per volontà del pistoiese



1.

1. Chiesa di Sant'Antonio Abate, Cappella del Tau (Pistoia): scena finale del terzo ordine di affreschi, dove s'illustrano le attività taumaturgiche dei monaci antoniani. Su concessione del Ministero della Cultura – Direzione regionale Musei Nazionali Toscana – Firenze. (fotografia di Mauro Agnesoni).



2.

2. Chiesa di Sant'Antonio Abate, Cappella del Tau (Pistoia): l'orologio solare è posto in alto sulla falda del tetto dell'edificio conventuale. Su concessione del Ministero della Cultura – Direzione regionale Musei Nazionali Toscana – Firenze. (fotografia di Mauro Agnesoni).

fra Giovanni Guidotti, appartenente all'ordine dei Canonici regolari di Sant'Antonio¹.

Guidotti fu molto attivo in quegli anni nella costruzione e ristrutturazione di altre dipendenze abbaziali antoniane in Italia (Pisa, San Miniato al Tedesco, Firenze e Napoli) e fu lui a chiamare, nel 1372, il pittore fiorentino Niccolò di Tommaso (documentato tra il 1346 e il 1376) ad affrescare il grande ciclo pittorico all'interno della cappella del Tau, probabilmente avvalendosi dell'aiuto di diverse maestranze e forse anche della collaborazione del pittore pistoiese Antonio Vite (Gai 1970)².

Fino agli anni Sessanta del Novecento, le pitture non erano visibili perché coperte da altre pitture applicate alla fine del Settecento quando, in seguito allo scioglimento degli ordini monastici, la chiesa fu sconsacrata e venduta a privati che la trasformarono

in appartamenti civili. Lo Stato italiano avviò le procedure per l'acquisto della proprietà solo dopo la Seconda guerra mondiale e gli affreschi, pur gravemente danneggiati e lacerati dai precedenti interventi edilizi, tornarono visibili dopo il restauro del 1962.

Le pareti e le volte della piccola chiesa rivelavano il grandioso ciclo pittorico disposto su tre ordini. Nel primo, il più alto, nelle lunette sotto le volte, sono raffigurate scene dell'Antico Testamento; nel secondo, immediatamente sotto, sono raffigurate scene del Nuovo Testamento; e nel terzo, dove sono illustrate vicende della vita di Sant'Antonio, è la scena che ci interessa: quella che illustra l'opera dei monaci antoniani come guaritori contro l'ergotismo, il cosiddetto "fuoco di Sant'Antonio" [fig. 1]. Sulla sinistra, un gruppo di monaci è intento ad applicare l'unguento miracoloso ricavato dal grasso di maiale sul petto di un giovane malato, mentre sulla destra, presso un'edicola dedicata al loro santo, altri monaci mostrano a un uomo in tunica rossa una cassa piena di mani e piedi (forse *ex voto* per la guarigione riuscita o addirittura amputazioni causate dalla malattia).

L'orologio solare [fig. 2], dipinto in una porzione di circa 25 cm di larghezza, è leggermente concavo nel semicerchio orario, è posto sulla falda del tetto di un edificio in fondo alla scena e si distingue per una particolare silhouette *a calice* che è comune a molti altri orologi solari tardo-medievali tuttora esistenti (Arnaldi 2020, pp. 175-178). Si tratta di manufatti

scolpiti nella pietra, installati in posizione eretta sul colmo del tetto del convento o presso il suo lembo. Sono sempre costituiti da un piedistallo variamente sagomato che sorregge una porzione semicircolare, talvolta scavata e leggermente concava, nella quale sono incise le linee orarie che dividono lo spazio sempre in sei parti uguali.

Milutin Tadić identificò per la prima volta questo modello nel 1988. Osservò orologi solari simili in diversi monasteri francescani della Dalmazia, un tempo parte dell'antica provincia di Dubrovnik (Tadić 1988), tra cui Slano, Badija, Rožat e Orebić [fig. 3]. L'orologio solare di Slano è particolarmente degno di nota per la sua incisione dell'anno 1586, che riflette la longevità di questo modello anche con l'introduzione del nuovo sistema orario *ab occasu*³.

Tutti gli orologi solari *a calice* finora censiti in Italia si trovano in Umbria [fig. 4] e solo un vecchio disegno ne testimonia la presenza alla Verna, in provincia di Arezzo (Arnaldi 2020, p. 176). Anche questi sono databili fra i secoli XV e XVII ma ora, grazie all'affresco di Pistoia, sappiamo con certezza che quel modello esisteva già almeno dalla seconda metà del Trecento, in Toscana⁴. Benché i conventi francescani in Dalmazia fossero tutti edificati fra il XIV e XV secolo, gli orologi solari censiti da Tadić sembrano essere tutti databili fra i secoli XV e XVI⁵; quelli in Umbria possono essere datati fra i secoli XV e XVII⁶.

3. Orologi solari dalmati. Da sinistra a destra: Slano, Badija, Rožat, e Orebić (Dalmazia). (elaborazione grafica dell'autore).

4. Orologi solari in Umbria. Da sinistra a destra: Todi, Monteluco e Massa Martana (Italia). (elaborazione grafica dell'autore).



3.



4.

L'orologio solare dipinto nella chiesa di San Donato in Polverosa a Novoli

La chiesa monastica di San Donato in Polverosa vanta una storia più antica di quella della Cappella del Tau a Pistoia, ma non meno travagliata. La chiesa, all'inizio retta dai Canonici Agostiniani Portuensi, fu consacrata il 2 febbraio 1187 con il titolo di "Oratorio", ma intorno al 1239 fu ceduta agli Umiliati. Circa vent'anni dopo, il monastero passò alle monache agostiniane di Santa Cristina, che in seguito divennero cistercensi. Nel 1322 le monache del monastero di Santa Maria Maddalena delle Convertite, a Borgo Pinti, si trasferirono a San Donato e nel 1383 fecero affrescare le pareti della chiesa. Nel 1814, cinque anni dopo la soppressione degli Ordini religiosi, il monastero fu acquistato dal principe Nicola Demidoff che lo trasformò nella sua lussuosa villa. La chiesa non fu toccata dai lavori fino al 1877, quando il nipote Paolo la trasformò in dependance e biblioteca. Per realizzare il progetto, furono apportate modifiche architettoniche che rovinarono non poco gli affreschi trecenteschi, ormai da qualche tempo nascosti sotto uno strato di scialbo. Durante i lavori di decorazione, il pittore e restauratore Gaetano Bianchi (Firenze, 1819-1892) scoprì gli affreschi medievali e, come si usava all'epoca, li integrò con molta libertà. I dipinti furono restaurati nuovamente nel 1965, staccati dal muro e trasferiti su pannelli per essere affissi alle pareti della chiesa, dove si trovano ancora oggi. Di recente, altri restauri, curati dalla Soprintendenza, hanno riportato i dipinti allo stato originale e, per una fortunata coincidenza, l'orologio solare, raffigurato vicino ai bordi della lacerazione che lo include, non è stato distrutto da precedenti interventi murari (Brunori 2020).

L'autore degli affreschi fu Cenni di Francesco di Ser Cenni, pittore e valente miniatore fiorentino documentato fra il 1369, anno in cui si iscrisse alla corporazione dei medici speziali, e il 1415 circa. Lo stile dei suoi primi dipinti dimostra l'influenza della scuola dell'Orcagna, ma con uno sguardo più rivolto ad altri due maestri orcasneschi, Giovanni del Biondo e Don Silvestro dei Gherarducci.

La maestria di Francesco di Ser Cenni eccelleva soprattutto nei lavori di miniatura, ma era altresì molto richiesto per dipingere pale d'altare e grandi cicli pittorici in affresco, proprio come quello eseguito nella chiesa di San Donato in Polverosa nel 1383⁷.

La scena che contiene l'orologio solare di nostro interesse è quella che rappresenta la nascita del Battista [fig. 5]. L'orologio solare, dipinto in un'area di circa 15 cm di larghezza, si trova in alto a destra e si erge sulla cima di una parete merlata sopra una lunga colonna tortile; il suo aspetto ricorda inequivocabilmente l'orologio solare che ancora oggi è presente presso il Ponte Vecchio di Firenze [fig. 6].

A quel tempo la città aveva molti orologi solari pub-



5.

blicamente esposti, proprio come sembra testimoniare l'affresco di San Donato in Polverosa; quello del Ponte Vecchio fu issato nel 1345, dopo la ricostruzione del ponte crollato durante la devastante piena dell'Arno del 1333; un altro si trovava sul duecentesco ponte a Santa Trinità e finì in Arno con tutto il ponte durante la piena del 1557⁸. Nel giugno del 1552, invece, fu un violento uragano a far crollare l'orologio solare posto sul ponte alla Carraia, frantumandolo in tanti pezzi. Anche questo era posto sopra una colonna, ma non direttamente a contatto con questa, la "mezza ruota" delle ore era sorretta dal braccio destro di un putto genuflesso, con un ginocchio a terra e la mano sinistra appoggiata al ginocchio alzato (Morpurgo 1912, p. 6). L'usanza di collocare un orologio solare sulla sommità di una colonna di modeste dimensioni non nasce nel Medio Evo e neppure si può dire che sia di origine fiorentina, era già un'abitudine romana che troviamo rappresentata in numerosi mosaici e altorilievi di molti sarcofagi (Olszewski 2015). Iconografia che troviamo anche in vari mosaici bizantini e in seguito anche in una vetrata originale dei primi anni del Duecento, nella cattedrale di Canterbury [fig. 7]. Certamente orologi di questo tipo continuarono a essere costruiti almeno fino al secolo XV, come testimonia un passaggio del compendio sulle gesta degli Abati dell'abbazia di Vauchelles scritto da Gaspard de Soif⁹.

Analisi gnomonica

Oltre alle due tipologie costruttive, concernenti la loro forma e ubicazione, di cui è già stato scritto più

5. Firenze, chiesa di San Donato in Polverosa a Novoli: Pannello con la scena della nascita di san Giovanni. (fotografia di Mauro Agnesoni; cortesia di padre Giuliano Riccadonna, parroco di San Donato in Polverosa).

sopra, entrambi gli esempi evidenziano due aspetti tecnici in comune:

1. la stessa suddivisione dello spazio orario (sei settori uguali anziché quattro o dodici)¹⁰;
2. lo stilo inclinato.

Il primo punto non è una novità, perché è stato materia di studio e ricerca già da molti anni¹¹. Il secondo invece gratifica, anche se non abbiamo ancora nessuna evidente testimonianza manoscritta, perché conferma le ipotesi che Herbert Rau e Karlheinz Schaldach, nel 1994 e Manuel Maria Valdès, nel 1996, avevano proposto per risolvere alcuni problemi di



6.



7.

lettura delle ore in un'epoca di passaggio dal vecchio al nuovo sistema orario nel tardo Medio Evo¹². Lo stesso procedimento è stato usato con buon successo per decifrare alcune anomale linee orarie in molti orologi solari tardomedievali (Arnaldi 2015). Tralasciamo dunque il primo punto perché è già noto e iniziamo a commentare il secondo.

Lo stilo inclinato

Per quanto abbiamo scritto finora e con il loro realismo, gli affreschi di San Donato in Polverosa e della cappella del Tau a Pistoia, si possono considerare al pari di una foto d'epoca. Convinti di ciò possiamo passare ora a descrivere l'ultima sorprendente rivelazione che le immagini ci restituiscono: lo gnomone inclinato.

In entrambi [figg. 8, 9] lo stilo ferreo appare molto lungo, come si può vedere anche negli orologi solari simili ancora *in situ*, e - cosa che di regola non avviene negli orologi solari medievali d'epoca precedente o con altri tracciati orari - è inclinato verso il basso. Quest'evidenza ci obbliga a rivedere tutto il nostro modo di pensare la lettura e la costruzione di un orologio solare medievale, almeno per quanto riguarda i periodi che vanno fra la seconda metà del secolo XIII e la prima metà del XV.

Nel nostro caso, non possiamo ancora parlare di 'stilo polare', cioè esattamente parallelo all'asse terrestre, ma di una semplice inclinazione verso il basso di una determinata quantità di gradi sufficiente a ottenere un'accettabile lettura delle ore temporali vere su un tracciato radiale¹³. Il primo a costruire un orologio solare con lo stilo polare, fu l'astronomo siriano Ibn al-Shātir a Damasco, nel 1371-72, ma in Europa dovette passare ancora molto tempo prima di acquisirne i principi e l'uso. La perfetta consapevolezza del funzionamento di uno stilo polare avvenne in Europa solo nella seconda metà del secolo XV, trovando applicazione soltanto in quelle regioni dove si misurava il tempo con le ore uguali astronomiche: i più antichi orologi solari con stilo polare, infatti, sono tutti d'oltralpe e datati alla seconda metà del secolo XV¹⁴.

A tale consapevolezza si giunse, forse, per tentativi, piegando lo gnomone a occhio, mentre oggi l'angolo di piegatura si ricava dalla semplice formula proposta da Herbert Rau e Karlheinz Schaldach (Rau & Schaldach 1994) [fig. 10]:

$$PSW = (180^\circ - \varphi) / 2$$

dove φ è uguale al valore della latitudine e PSW è l'angolo di inclinazione dello stilo.

La stessa formula avrebbe permesso di leggere anche le vere ore temporali su un orologio solare medievale ma, in entrambi i casi, la lettura poteva coincidere perfettamente solo nei due periodi equinoziali dell'anno. Manuel Maria Valdès (Valdès 1996, pp. 31-33, pp.

6. Firenze, Ponte Vecchio: L'orologio solare. (fotografia dell'Autore).

7. Canterbury, Cattedrale: Pannello inserito nella vetrata I dell'area absidale detta Corona, con la scena del miracolo sull'orologio di Ahaz (per gentile concessione del Capitolo di Canterbury, CCSG-Corona I, 42).



8.



9.

45-46) propose un metodo per leggere correttamente le ore temporali vere su un orologio solare medievale tutto l'anno, ma la sua proposta, anche se semplice dal punto di vista matematico e geometrico, era piuttosto scomoda, perché ogni mese zodiacale occorreva modificare l'inclinazione dello stilo.

La nascita delle regole

A questo punto nasce una domanda: per molta parte del Medio Evo si era fatto affidamento sul tracciato a raggiera di semplici orologi solari incisi sui muri delle chiese, con la convinzione che questi mostrassero le ore temporali e tutto andava bene così, perché mai a un certo punto della storia ci si accorse che quel tracciato non era in grado di misurarle correttamente?

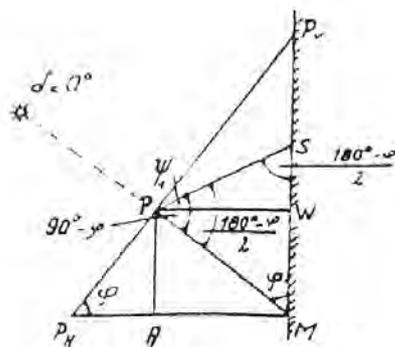
Probabilmente ci si rese conto del problema viaggiando, perché sul ventaglio delle linee orarie – qualunque fosse il loro numero – l'ombra di uno gnomone perpendicolare non combaciava con la medesima lettura fatta su un uguale orologio solare posto a una diversa latitudine; più si andava verso Nord e più la differenza diventava evidente e rilevante. L'invenzione degli orologi meccanici, avvenuta in Italia nella metà del secolo XIV, e l'adozione di un nuovo sistema orario rendevano ancora più chiara la differenza fra quanto si leggeva sull'orologio solare e i rintocchi della campana. In questo periodo di transizione gli gnomonisti non erano ancora in grado di tracciare in modo corretto orologi solari con il nuovo computo orario, perciò si cercavano soluzioni pratiche che

mettessero d'accordo i rintocchi dell'orologio della torre cittadina con l'ombra dello gnomone sulle linee orarie di un orologio solare. In Italia con il sistema delle ore *ab occasu* tutto era molto più difficile; nei Paesi che adottarono le ore astronomiche, in principio si pensò semplicemente di cambiare la numerazione delle ore giornaliere, sostituendo la vecchia sequenza 1-2-3-4-5-6-7...11-12 con la nuova 6-7-8-9-10-11-12-1-2...5-6¹⁵, ma questa soluzione non garantiva ancora la perfetta concordanza con il nuovo sistema orario. Occorreva dunque piegare lo stilo verso il basso finché l'ombra arrivasse a essere coincidente con l'orologio della torre.

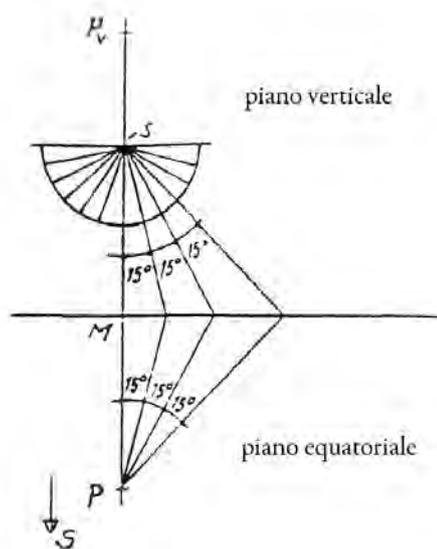
Il primo manoscritto latino che insegnava a costruire un corretto orologio solare a ore temporali secondo gli antichi parametri fu trascritto nel monastero di Klosterneuburg poco prima del 1431 (Schaldach 2020; Schaldach 2023), anche se Robert Stikford, priore a St. Albans alla fine del secolo XIII, aveva già scritto un'opera – *De umbris versis et extensis* – dove assieme alla costruzione di orologi solari a ore uguali si insegnava anche a tracciarne uno a ore diseguali¹⁶. E però questi scritti erano praticamente sconosciuti, diffusi solo fra una ristretta cerchia di persone. Fu con l'avvento della stampa che queste opere si resero accessibili a un più vasto pubblico. Probabilmente la strumentazione astronomica, formata principalmente da quadranti e astrolabi, che iniziava a essere più diffusa e accessibile, fece prendere coscienza che qualcosa non andava nel vecchio tracciato medievale¹⁷.

8.
Firenze, chiesa di San Donato in Polverosa a Novoli: L'orologio solare raffigurato nella scena della nascita di san Giovanni. (fotografia di Mauro Agnesoni; cortesia di padre Giuliano Riccadonna, parroco di San Donato in Polverosa).

9.
Pistoia, Cappella del Tau: l'orologio solare. Su concessione del Ministero della Cultura – Direzione regionale Musei Nazionali Toscana – Firenze. (fotografia di Mauro Agnesoni).



- P_HMP_V = Triangolo gnomonico nel piano meridiano
- MP = Proiezione del piano equatoriale
- MP_H = Piano orizzontale
- MP_V = Proiezione del piano verticale
- P_V = Centro dell'orologio a ore uguali
- S = Centro dell'orologio medievale.
- PP_V = Stilo polare
- PS = Stilo inclinato dell'orologio solare medievale



10.
Dimostrazione geometrica dello stilo inclinato. Da (Rau & Schaldach 1994).

10.

Fra i molti tentativi empirici per trovare il modo di far concordare le ore medievali con le ore temporali vere, si impose finalmente nel XIV secolo una 'regola' sufficientemente strutturata, ideata probabilmente a Parigi da Johannes Danck di Sassonia ma oggi denominata "regola di Erfurt", dall'omonima città tedesca, dove fu trascritta per la prima volta nel 1364 (Schaldach 2002; Schaldach 2023, pp. 124-132). In realtà, a causa di diverse lacune fondamentali, questa regola aveva molti difetti. Proponeva i valori delle aperture angolari fra le diverse linee orarie senza informare su come fossero state trovate o calcolate e neppure come ricalcolarle per adattare il tracciato ad altre latitudini (questo ha fatto credere che si trattasse di una regola universale, mentre il tracciato proposto aveva un valore solo alla latitudine di 48 gradi), non si forniva alcuna informazione sullo stilo (si dava per scontato che, secondo tradizione, dovesse avere un assetto perpendicolare al piano). La regola non nacque per correggere la lettura sul tracciato di un orologio solare preesistente ma, lasciando inalterate la forma semicircolare e la perpendicolarità dello stilo, imponeva la totale modifica del tracciato orario che comunque avrebbe funzionato correttamente solo agli equinozi. La regola di Erfurt fu comunque la base che condusse all'ideazione di altre regole. Fondamentale fu l'inversione dei valori angolari della regola primitiva, che permise di utilizzare il disegno delle linee orarie per la lettura delle ore uguali a declinazioni vicine a 48 gradi e per tutto l'anno, ovviamente a patto che lo stilo fosse finalmente polare (Arnaldi 2009). L'intuizione di piegare lo stilo verso il basso quel tanto che basta per avere una migliore lettura delle ore

temporali vere nacque sicuramente prima dell'avvento di quei metodi codificati come 'regola'; in realtà erano poco più di un espediente per adeguarsi senza troppi problemi ai cambiamenti culturali e ai nuovi modi di misurare il tempo. Perché un metodo qualsiasi possa essere considerato una 'regola' bisogna che il suo impianto sia fondato su una solida struttura matematica e che la sua applicazione sia semplice e alla portata di chiunque, anche senza capacità matematiche elevate; meglio allora che sia anche di facile memorizzazione. Una regola simile, applicata a ogni latitudine senza comprometterne l'efficacia e senza modificare l'impianto equiangolare dell'orologio solare, poteva essere quella che è stata individuata e poi sviluppata analiticamente alcuni anni fa (Arnaldi & Savian 2021b), perché consiste nel piegare lo stilo verso il basso con un incremento costante di 5 gradi ogni 10 di latitudine. In pratica si ottiene un rapporto di uno a due fra la piegatura dello stilo e la latitudine del luogo. Per esempio, inclinando 21 gradi verso il basso lo gnomone di un orologio solare medievale a Roma (lat. 42°), allo scadere di ogni ora temporale vera l'ombra si allungherà esattamente sulla linea oraria medievale a essa preposta e lo stesso accadrà piegando di soli 25 gradi quello di un orologio solare medievale collocato a una latitudine di 50° N o poco più. Quest'approccio - empirico all'epoca - dissimula, però, una precisa costruzione gnomonica. Il concetto di base è lo stesso individuato nell'esposizione di Rau e Schaldach: l'angolo di piegatura si stabilisce con la stessa formula, ma la sua qualità principale — cioè quella che lo rende una 'regola' a tutti gli effetti — è che il rapporto della variazione angolare rispetto alla

latitudine è costante e dunque facilmente memorizzabile. Così operando l'ombra si avvicina o addirittura eguaglia l'ora temporale mostrata dalla linea oraria, ma anche in questo caso la corrispondenza esatta si ha soltanto agli equinozi. Tuttavia, con la regola dello gnomone inclinato la lettura mantiene un'approssimazione accettabile anche nei due mesi precedenti e successivi. Poi, sebbene ridotto, l'errore torna a rendersi vieppiù evidente a mano a mano che la declinazione solare raggiunge il suo massimo, ai solstizi. A questo punto non resta che verificare l'esito della lettura oraria su un orologio solare esapartito, con stilo perpendicolare e piegato per la latitudine di Firenze (lat. 43°) per trarre le conclusioni.

Secondo la divisione oraria classica le linee di un orologio solare medievale suddiviso in sei parti uguali corrispondono, in senso antiorario, alla fine della seconda ora, della quarta, della sesta, dell'ottava, della decima e della dodicesima, ma se le accettiamo così, stiamo parlando di ore temporali medievali che non corrispondono esattamente alle ore temporali vere. Agli equinozi, infatti, allo scadere della seconda ora temporale vera l'ombra di uno gnomone perpendicolare al piano, anticipa di mezzora le linee della seconda e della quarta ora, mentre per simmetria oltrepassa di mezzora le linee dell'ottava e della decima ora. Al solstizio d'inverno, invece, la mezzora di abbondanza diventa un'ora intera, così l'ombra raggiunge le linee della seconda e della quarta ora un'ora dopo, mentre nel pomeriggio raggiungerà le linee dell'ottava e decima ora, un'ora prima. Al solstizio estivo le linee della seconda e della decima ora non sono adombrate [fig. 11a-c].

Se incliniamo lo stilo di 21 gradi e mezzo - necessari per la latitudine di Firenze, secondo l'ultima regola - abbiamo una perfetta corrispondenza con le ore preposte alle linee orarie dell'orologio solare durante gli equinozi, un errore più contenuto al solstizio d'inverno e assai modesto al solstizio estivo [fig. 12a-c]¹⁸.

Conclusione

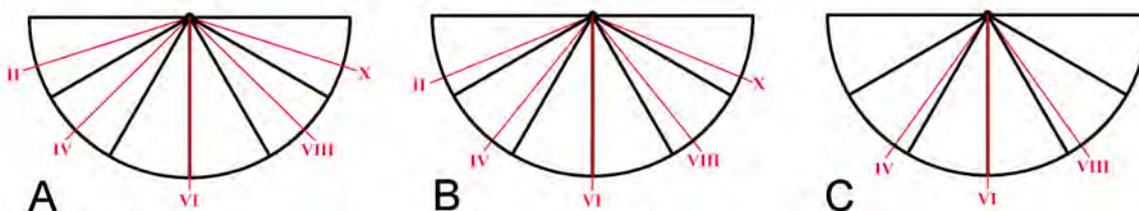
I dipinti di Pistoia e di Novoli sono stati una singolare scoperta che nutre in me la speranza di sviluppi davvero importanti per lo studio della gnomonica medievale. Essi sembrano restituirci la visione di una Firenze trecentesca con molti orologi solari a uso pubblico e religioso, così come si evince anche dalle testimonianze che ne ricordano la presenza sui ponti fiorentini. Alla fine di questa lunga e attenta analisi, quanto oggi si può affermare sugli orologi solari medievali suddivisi in sei settori equispaziati si può riassumere in tre punti:

1. gli orologi solari esapartiti non servivano a mostrare le ore del giorno, ma a regolare la liturgia degli Uffici divini;
2. la forma a *calice* degli orologi solari era già usata nella seconda metà del XIV secolo;
3. è evidente, dagli affreschi, che i due artisti hanno ritratto esattamente gli orologi solari che vedevano ogni giorno, e che l'idea di inclinare lo stilo per leggere più correttamente le ore temporali era già stata presa in considerazione probabilmente agli inizi del XIV secolo, tanto da diventare una consuetudine rappresentarlo anche nei dipinti.

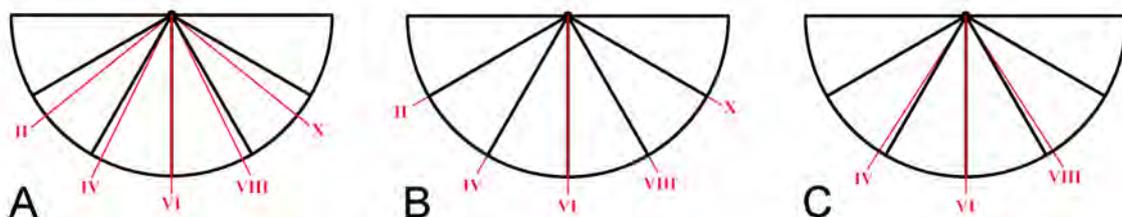
Al momento, conosciamo solo i due affreschi che sono stati l'oggetto di questo intervento e forse non si possono ancora considerare una testimonianza sufficiente per giungere a conclusioni inconfutabili. Vero è, però, che lo stilo inclinato presente in entrambi i dipinti conferma ciò che fino a ieri era solo una mera ipotesi e ci offre un nuovo spunto di ricerca nella corretta lettura oraria su un orologio solare di quel tempo. È difficile prevedere con quanto materiale questo nuovo filone di ricerca potrà arricchire lo studio degli orologi solari medievali; la speranza è ovviamente positiva e confido che nel prossimo futuro si possano individuare altri dipinti in grado di darci nuove certezze o ulteriori spunti di studio.

11.
Allo scadere delle ore temporali vere, l'ombra (in rosso) dello stilo ortogonale al piano di un orologio solare medievale a Firenze, non giace mai sulle linee orarie preposte: A, solstizio invernale; B, equinozi; C, solstizio estivo. (elaborazione grafica dell'autore).

12.
In periodo equinoziale, allo scadere delle ore temporali vere, l'ombra (in rosso) dello stilo inclinato 21.5° sul piano di un orologio solare medievale a Firenze giace perfettamente sulle linee orarie preposte. L'errore di lettura al solstizio invernale si riduce e quasi scompare al solstizio d'estate: A, solstizio invernale; B, equinozi; C, solstizio estivo. (elaborazione grafica dell'autore).



11.



12.

Ringraziamenti

Devo innanzitutto ringraziare il Dott. Giosuè Fabiano per aver voluto condividere con me la scoperta dei due orologi solari dipinti negli affreschi che sono stati oggetto di questo mio intervento e Mauro Agnesoni per le fotografie molto accurate che mi hanno permesso di leggere meglio i due orologi solari rappresentati negli affreschi. Ringrazio inoltre, il Ministero della Cultura – Direzione regionale Musei Nazionali

Note

1. In origine nato come 'Ordine ospedaliero laico' a Saint Antoine Abbaye in Francia alla fine del secolo XI, si diffuse rapidamente in molti Paesi europei e fino all'Etiopia. Diventò un Ordine monastico solo alla fine del secolo XIII, quando il Papa gli concesse un priorato. Fu allora che, adottando la regola agostiniana, cambiò il suo nome in *Ordine dei canonici regolari di Sant'Antonio di Vienne*.
2. Niccolò di Tommaso era stato allievo di Nardo di Cione fratello di Andrea di Cione Arcagnuolo, importante pittore, scultore e architetto del Trecento italiano, nato a Firenze intorno al 1308 e più conosciuto con il soprannome di Orcagna. Assieme ai fratelli Nardo (pittore e architetto), Matteo (scultore) e Jacopo (pittore), è stato il protagonista principale della scuola fiorentina dell'arte gotica. La sua carriera è stata influenzata dai movimenti artistici dell'epoca, come il gotico internazionale, che ha saputo combinare con una visione unica e personale.
3. Tadić ha divulgato la presenza di questi particolari orologi solari più volte dopo quel primo opuscolo fino al 2002 ma vd. In particolare Tadić (2011).
4. Ciò che rende questo modello una "famiglia", un gruppo è evidente: 1) hanno tutti un elemento scultorio che funge da piedestallo, 2) sono tutti divisi in sei settori uguali, 3) sono tutti collocati sul colmo o sul lembo dei tetti dei conventi (francescani in particolare). La sola differenza fra quelli dalmati e quelli italiani esistenti, sta nel fatto che i primi sono tutti concavi, chi più chi meno (fig. 3), mentre i secondi (fig. 4) sono piani. Anche i due orologi di questo studio dimostrano d'essere entrambi leggermente concavi, ma questo è un fattore minimale, perché negli orologi solari medievali non è la punta dell'ombra che mostra le ore sulle linee ma la sua intera lunghezza e questo rende ininfluente l'andamento del piano sottostante.
5. Il convento di Rožat fu eretto alla fine del XIV secolo, demolito nel 1582, poi ricostruito e ultimato nel 1585; anche quello di Slano fu costruito alla fine del XIV secolo, il convento di Badija fu costruito fra i secoli XIV e XV e quello di Orebić nel XV.
6. Il convento di Montesanto a Todi fu edificato nella metà del secolo XIII ma abbandonato già nel 1373 a causa della peste e delle guerre. Tornò a essere convento per i frati minori nel 1418, anno cui è possibile datare l'orologio solare del chiostro. Il piccolo convento di Montelucio, presso Spoleto, fu fondato dallo stesso Francesco nel 1212, ma l'orologio solare presente nel chiostro ha subito una manomissione, probabilmente durante la soppressione degli ordini religiosi, quando sono state tracciate su

Toscana - Firenze per avermi concesso il permesso di fotografare la scena affrescata nella Cappella del Tau a Pistoia, il Capitolo di Cantherbury per avermi concesso la pubblicazione della vetrata "Corona I" e Padre Giuliano Riccadonna, parroco della chiesa di San Donato in Polverosa, per avermi concesso di fotografare all'interno della sua chiesa. Si precisa che la riproduzione, anche parziale, delle immagini 1, 2, 5, 7, 8, 9 al di fuori di questo contributo è vietata.

- di esso le linee orarie alla francese che si sovrapposero allo schema originale espartito. L'orologio solare può essere datato al 1514 (Arnaldi 2020, pp. 175-178). Un terzo orologio solare della stessa tipologia si trova a Massa Martana nel chiostro del convento francescano di San Pietro sopra le acque (oggi un *resort*) ricostruito nel 1614. I frati ne presero possesso nel 1618 ed è fra queste due date che possiamo collocare l'orologio solare.
7. Sull'attività pittorica di Cenni di Francesco vd. (Kanter 1994, pp. 177-186), (Baldini 2004, pp. 17-20).
8. Le fonti dell'epoca citate da Morpurgo (Morpurgo 1912, p. 4) chiamano l'orologio solare semplicemente "gnomone di pietra, il quale mediante l'ombra dimostra l'ora". Troppo vago per comprenderne la forma.
9. "*Erat horologium in medio claustris sub divo positum; trabes videlicet lignea in altum porrecta, habens in summitate sui speram ligneam, habentem inferius xii diei horarum: non solum autem horae, sed etiam puncti ante vel post horas, qui in regula sancti Benedicti leguntur, hoc est hora pene iv, hora quasi vi, plena tertia, decima plena, et illud quod dicitur medietate octava hora, subtiliter in praefata spera habebantur designati: in medio quoque eiusdem sperae virgula ferrea erat posita, per quam umbra solis in lineas punctosque descendens, horas singulas designabat*"; Cfr. (Du Cange 1885, IV, s. v. «*horologium*», p. 234).
10. La suddivisione del semicerchio orario in sei parti fu solo una delle tante varianti orarie del medioevo; fu probabilmente l'ultima a sopravvivere anche dopo l'introduzione dei nuovi sistemi orari alla fine del Trecento. La partizione più comune, oltre a quella in dodici parti era quella in quattro, seguita da quella in otto, senza dimenticare altre meno frequenti, in dieci, undici, tredici e più parti. Si deve ricordare che – come ci insegna Philippe de Thaon nel suo *Comput* (Short 1994) – le ore misurate dividendo l'arco diurno in sei porzioni uguali erano un metodo semplice e pratico per ricordarle meglio, anche se, chiunque avesse voluto contarle correttamente, ne doveva considerare sempre dodici ("*Ço est pur le cunter / e pur tost remembrer. / Mais ki dreit volt numbrer, / duze en i pot truver;*"). Questo fu fatto notare, in seguito, anche da alcuni costruttori di orologi solari medievali. Sulla chiesa di Melslunggen, in Germania, per esempio, il lapicida ha scolpito (il disegno non è inciso ma in rilievo) corte linee appoggiate al semicerchio esterno, nel centro esatto di ognuno dei sei spazi orari dell'orologio solare. Le corte linee aggiunte servivano per rendere più facile la lettura del tempo, ma le linee intere erano sempre quelle di maggiore interesse perché indicavano il

- tempo canonico della liturgia. Allo stesso modo si deve leggere l'orologio solare dipinto nel ciclo pittorico di Pistoia, che si mostra esapartito ma con l'aggiunta di un punto intermedio per ogni sezione della partitura [fig. 9].
11. A questo proposito si veda (Arnaldi 1998; Arnaldi 2000a; Arnaldi 2013).
 12. Le prime intuizioni che ipotizzavano l'uso di uno stilo inclinato, anche se ancora non era polare, risalgono alla metà del XIX secolo (Way 1858, p. 217) seguite negli anni 20 e 30 del XX da (Green 1926, Cole 1935, Cole 1938).
 13. Notiamo che nella figura 8 lo stilo dell'orologio si innesta più in alto del punto S visibile nel grafico in figura 10 (cioè il punto da cui si dipartono tutte le linee orarie). Gnomonicamente è un errore anche quando parliamo di Medio Evo. Ma qui stiamo leggendo dei dipinti non un trattato di gnomonica che richiede molta più precisione. Nei dipinti anche così ben definiti (i nostri due orologi solari hanno piccole dimensioni: Pistoia circa 25 cm di larghezza, Novoli circa 15), l'unico interesse dell'artista qui è quello di creare una convincente e credibile ambientazione per la scena da rappresentare in primo piano.
 14. Weissenfels (Germania), 1446; Klosterneuburg (Austria), 1447; Hall (Austria), 1452; Waldhausen (Austria), 1454; Duderstadt (Germania), 1457; Utrecht (Olanda), 1463. (Maes 2003).
 15. In Italia questo non avvenne a causa del differente sistema orario (*ab occasu*) che non aveva un tracciato radiale delle linee orarie. L'unico orologio solare medievale che mostra un certo adattamento al nuovo metodo è quello inciso su un muro della cattedrale di Altamura (Arnaldi 2003).
 16. L'opera originale di Robert Stikford è probabilmente

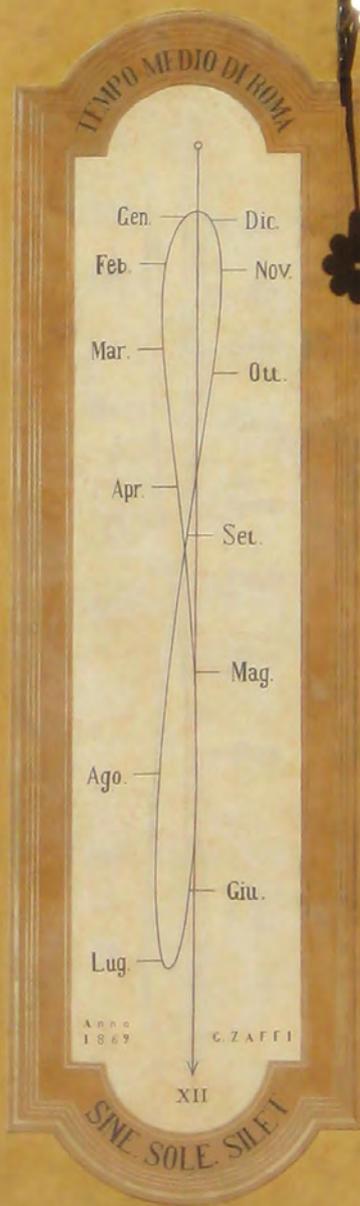
scomparsa ma una copia di questa è stata scoperta nel 2005 in un manoscritto (MS Ambr. & 221 bis. Sup.) stilato probabilmente verso la metà del secolo XV e custodito in unica copia presso la Biblioteca Ambrosiana di Milano (Bellettini 2007; Davis 2011).

17. Dalla metà del secolo XIV a Firenze era presente una copia dei *Libros del saber de astronomia* fatti compilare in castigliano da Alfonso X nel 1276-77. Tale codice – oggi custodito nella Biblioteca vaticana – fu commissionato a Siviglia nel 1341 da Guericco Federighi, che la volle tradotta nella sua lingua, il volgare fiorentino.
18. I valori delle latitudini di Roma e Firenze possono sembrare qui grossolanamente arrotondati ma, lavorando su gnomonica medievale, ho preferito muovermi senza i vincoli matematici della moderna gnomonica. perciò ho rilevato i dati dalla *Tabula di paesi* (Tavola delle latitudini delle principali città) contenuta nel *Kalendarium* del Regiomontano, pubblicato a Venezia nel 1476. Siamo nel medioevo e la piegatura dello stilo avveniva a occhio (grado più, grado meno, non faceva una grande differenza; si ragionava per Climi. Così, sempre nel *Kalendarium*, possiamo vedere che la medesima latitudine data a Firenze (43°) è la stessa assegnata sia Genova, sia Torino – ma quest'ultimo dato deve essere un errore di stampa perché già nelle mappe della *Geografia* di Tolomeo, tradotta in latino per la prima volta 1406 e stampata nel 1475, corrisponde alla fascia dei 44°. Ho voluto lasciare i gradi di piegatura dello stilo quanto più fedeli alla formula di calcolo espressa dalla regola della piegatura, anche se – per Firenze – mezzo grado in più non avrebbe visibilmente alterato il cammino dell'ombra mostrato nella figura 12.

Bibliografia

- Jones A. R. (a cura di) (2016). *Time and Cosmos in Greco-Roman Antiquity, 18 ottobre 2016 – 23 aprile 2017* (exhibition catalog). Princeton: Princeton University Press.
- Arnaldi M. (1998). Da Buti, Dante and the Measure of Time. In *Bulletin of the British Sundial Society*, 98(2), pp. 14-16.
- Arnaldi M. (2000a). Francesco di Bartolo da Buti e la misura del tempo. In *Gnomonica*, n. 6, pp. 12-15.
- Arnaldi M. (2000b). Medieval monastic sundials with six sectors: an investigation into their origin and meaning. In *Bulletin of the British Sundial Society*, vol. 12(3), pp. 109-115.
- Arnaldi M. (2003). Orologi solari medievali in provincia di Bari. In *Gnomonica Italiana. Rivista di Storia, Arte, Cultura e tecniche degli orologi solari*, n. 4, pp. 41-46.
- Arnaldi M. (2009). La regola di Erfurt in un codice appartenuto a fra' Giocondo da Verona. In *Gnomonica Italiana. Rivista di Storia, Arte, Cultura e tecniche degli orologi solari*, n. 19, pp. 2-9.
- Arnaldi M. (2013). L'orologio solare di Santa Maria della Strada a Taurisano: nuovi studi. In Ciurlia A. (a cura di). *Nuovi studi sulla chiesa di Santa Maria della Strada di Taurisano*. Atti dei convegni di studi, Taurisano, 7 settembre 2000, 10 settembre 2001, 11 settembre 2004. Taurisano: edizioni Odigitria, pp. 171-199.
- Arnaldi M. (2015). *Tempus et Regula. Orologi solari medievali italiani: La Sardegna*, vol. 2. Lecce: Youcanprint editore.
- Arnaldi M. (2020). *Tempus et Regula. Orologi solari medievali italiani: Le Marche e L'Umbria*. Lecce: Youcanprint editore.
- Arnaldi M., Savian, F. (2021). La sostenibile leggerezza della 'Regola di Ravenna'. In *Orologi Solari*, n. 26, dicembre 2021, pp. 27-37. <<https://www.orelogisolari.eu/rivista.htm>> (consultato il 19 novembre 2024).
- Baldini C. (2004). *Il Maestro di Sant'Ivo. Ritratto di un pittore fiorentino a cavallo tra XIV e XV secolo*. Roma: Armando editore.
- Baragli S. (1999). La costruzione dell'arca di Noè e della torre di Babele nella cappella del Tau di Pistoia. Considerazioni sui cantieri edili nel medioevo. In *Bullettino Storico Pistoiese*, vol. 34, pp. 87-102.
- Bellettini A. (2007). St Albans, John Whethamstede e il trattato di gnomonica di Robert Stikford (Ambr. & 201 bis sup.). In M. Ferrari, M. Navoni (a cura di). *Nuove ricerche sui codici in Scrittura Latina dell'Ambrosiana*. Atti del convegno, Milano 6-7 ottobre 2005. Milano: V&P, pp. 217-228.
- Brunori L. (2020). Il recupero degli affreschi di Gaetano Bianchi nella chiesa di San Donato in Polverosa e il restauro del ciclo pittorico trecentesco. In Arbeid B., Pessina A., Tarantini M. (a cura di). *Tutela & Restauro*

- 2016.2019. *Notiziario della Soprintendenza archeologia, belle arti e paesaggio per la città metropolitana di Firenze e le provincie di Pistoia e Prato*. Sesto Fiorentino: All'insegna del Giglio, pp. 285-288.
- Carli E. (1977). *Gli Affreschi del Tau a Pistoia*. Firenze: edizioni EDAM.
- Cole T. W. (1935). Behaviour of Mediaeval Sundials. In *The Horological Journal*, novembre 1935, pp. 3-4.
- Cole T. W. (1938). *Scratch-dials and medieval church sundials – History and relation to scientific sundials*. North Carolina: Hill Press.
- Alighieri D. (1304). *Convivio*. Edizione a cura di Pietro Cudini (1990). Milano: Garzanti editore.
- Davis J. (2011). Robert Stikford's 'De umbris versis et extensis'. In *Bulletin of the British Sundial Society*, vol. 23(4), pp. 24-28
- Du Fresne C. (1885). *Glossarium mediae et infimae latinitatis, conditum a Carolo Du Fresne*. Niort: L. Favre.
- Ferrali S. (1972). L'Ordine Ospitaliero di S. Antonio Abate o del Tau e la sua Casa a Pistoia. In *Il Gotico a Pistoia nei suoi Rapporti con l'Arte Gotica Italiana*. Atti del 2° Convegno internazionale di studi. Pistoia, 24-30 aprile 1966, pp. 181-245.
- Gai L. (1970). Nuove proposte e nuovi documenti sui maestri che hanno affrescato la cappella del Tau a Pistoia. In *Bullettino Storico Pistoiese*, vol. 72, pp. 75-94.
- Green A. R. (1926). *Sundials, Incised Dials or Mass Clock*. London: SPCK and Macmillan.
- Gurrieri F. (1970). La chiesa di S. Antonio Abate o del Tau. In *Bullettino Storico Pistoiese*, vol. 5 (3), pp. 3-20.
- Kanter L. B. (a cura di). (1994). *Painting and Illumination in Early Renaissance Florence, 1300-1450* (exhibition catalog). New York: Metropolitan Museum of Art.
- Maes F. W. (2003). Een speurtocht naar de oorsprong van de poolstijlzonnewijzer. In *Zonnewijzerkring Vlaanderen*, 29(1).
- Michael M. A. (2019). *Stained Glass of Canterbury Cathedral, Scala Arts & Heritage*. London: Publishers Ltd.
- Morpurgo S. (1912). Antiche meridiane sui ponti di Firenze. In *Rivista d'arte*, a. VIII, n. 3-6. Firenze: L. S. Olschki, pp. 107-114.
- Olszewski M. T. (2009). Cadrans solaires sur trois mosaïques byzantines au Proche-Orient et quelques autres identifications hypothétiques des gnomons géants. In *Archeologia LX*, pp. 69-79.
- Olszewski M. T. (2015). Les cadrans solaires dans les mosaïques romaines et byzantines (I^{er} siècle ap. J.-C. – IX^e et siècle ap. J.-C.). In A. Tomas (a cura di). *Ad fines imperii Romani. Studia Thaddaeo Sarnowski Septuagenario Ab Amicis, Collegis Discipulisque Dedicata*. Varsavia: Archeobooks, pp. 449-468.
- Rau H., Schaldach K. (1994). Vertikalsonnenuhren des 6-14 Jahrhunderts. In von Gotstedter A. (a cura di). *AD RADICES*. Stoccarda: Franz Steiner, pp. 283-286.
- Schaldach K. (2002). Di due manoscritti di Rostock e la regola di Erfurt. In *Gnomonica Italiana*, n. 2, pp. 28-31.
- Schaldach K. (2020). Ein mittelalterlichen Klosterneuburger Text über die Horizontalsonnenuhr. In *Rundscheiben. Bollettino della Österreichischer Astronomischer Verein*, n. 60, pp. 17-24.
- Schaldach K. (2023). *Sonnenuhren des Mittelalters und der Frühen Neuzeit*. Schlüchtern: Karlheinz Schaldach.
- Short I (a cura di). (1984). *Philippe de Thaon Comput*. London: Anglo-Norman Text Society.
- Tadić M. (1988). *Katalog Antičkih i srednjovekovnih sunčanika u Jugoslaviji*. Sarajevo: Geografski društvo BiH i Astronomska opservatorija UAD.
- Tadić M. (1997). Dalmatinische halbe Holkalotten-Sonnenuhren (ungenauere Nachbildungen nach Berossos). In *Rundscheiben. Bollettino della Österreichischer Astronomischer Verein*, n. 14, pp. 6-7.
- Tadić M. (1998). Old Sundials in Serbian Lands. In *Publ. Astron. Obs. Belgrade*, n. 60, pp. 218-225.
- Tadić M. (1999). Old Sundials on the Territory of Former Socialist Federal Republic of Yugoslavia. In *Bulletin of the British Sundial Society*, vol. 2(3), pp. 139-142.
- Tadić M. (2002). *Sunčani časovnici*. Beograd: Zavod za udžbenike i nastavna sredstva.
- Tadić M. (2011). Medieval sundials in former SPR yougoslavia (SFRJ). In M. Arnaldi (a cura di). *Tempus et Regula – Orologi solari medievali italiani*, vol. 1(3), cap. 8. Ravenna: AMArte.
- Valdes M. M. (1996). *Relojes de sol primitivos. Relojes canónicos o de misa*. Burgos: Editorial Maxtor.
- Way A. (1858). Ancient Sun-Dials. In *The Archaeological Journal*, vol. XV, London.



La meridiana verticale a Tempo Medio di Roma presente nella piazza Municipale di Ferrara dopo l'intervento di restauro funzionale.

Il restauro funzionale della meridiana verticale della piazza Municipale di Ferrara

Abstract

Il contributo presenta le attività progettuali ed esecutive effettuate nel 2012 per il ripristino della funzione oraria originale della meridiana presente nella piazza Municipale di Ferrara, in un dialogo - considerata la sua natura composita - tra le componenti scientifica, storica, architettonica.

The present contribution describes the planning and executive activities carried out in 2012 for the restoration of the original operation time of the sundial in the Municipal Square of Ferrara, in a dialogue - given its composite nature - between the scientific, historical and architectural components.

Parole chiave

Mezzogiorno
Restauro
Verifiche
Calcolo
Esattezza

Clara Coppini
→ clara.coppini@gmail.com

Introduzione

Tra due degli otto finestroni trilobati del prospetto nord di piazza Municipale è presente una meridiana verticale a *Tempo Medio di Roma*, come tra l'altro indicato in alto sulla cornice del quadrante; il motto *Sine sole silet* impresso nella parte bassa, invece, ci ricorda che ovviamente le meridiane funzionano soltanto quando c'è il sole. Le sue significative dimensioni (1,40x4,70 m ca.) la rendono visibilmente riconoscibile nell'impaginato delle aperture del lungo fronte della piazza che guarda a mezzogiorno.

Eseguita dallo gnomonista ravennate Giovanni Zaffi nel 1869 (Barbi & Arnaldi 2007), per una serie di errori di interpretazione dovuti a successivi interventi¹, non assolveva più alla sua funzione oraria originale: segnare il mezzogiorno medio riferito al Meridiano di Roma nell'istante in cui il punto luce proiettato dal foro gnomonico interseca il tratto della curva ad otto - lemniscata - in corrispondenza del mese interessato e, inoltre, di segnare le ore 12 vere locali quando il punto luce interseca la linea verticale².

Preme ricordare che all'epoca della sua costruzione, il Regio Decreto n. 3224 del 22 settembre 1866 stabiliva che: "...il servizio dei convogli nelle ferrovie, quello dei telegrafi, delle poste, delle messaggerie e dei piroscafi postali nelle Province continentali del Regno, verrà regolato col tempo medio di Roma e quello nelle isole di Sicilia e Sardegna a un meridiano preso nelle città di Palermo e Cagliari".

Questi tre tempi cessarono quando nel 1870 Roma divenne la capitale del Regno ed il tempo medio del meridiano passante prima per la chiesa di S. Ignazio (specola del Collegio Romano dei Gesuiti), poi per il vertice di Monte Mario, divenne il riferimento di tutta la nazione.

È in questa fase del cammino storico verso la moderna organizzazione della misura del tempo che Giovanni Zaffi realizzò la meridiana a Tempo Medio di Roma (mezzogiorno medio).

Il ripristino funzionale di questa meridiana è nato proprio dalla consapevole importanza di restituire a Ferrara, ma anche all'Italia, una rara opera gnomonica; la preziosa testimonianza storica di uno strumento solare che nel XIX secolo ha scandito i ritmi della vita cittadina (Lolli 2013; Rasconi 2013).

Considerata la natura composita, il manufatto ha necessitato di contributi scientifici, storici e architettonici, e di un coordinamento tra le varie competenze specialistiche; ma un orologio solare è principalmente uno strumento astronomico e quindi per recuperare la sua funzionalità sono state necessarie conoscenze gnomoniche (Anselmi 2019).

L'intervento di ripristino della funzione oraria originale è stato eseguito nel 2012 a cura del Servizio Beni Monumentali del Comune di Ferrara, con progetto e direzione lavori dell'architetto Clara Coppini (Coppini 2012), sulla base di calcoli e grafici elaborati dallo gnomonista Renzo Righi di Correggio (RE) (Righi 2011) e delle ricerche documentali e archivistiche eseguite dal Dott. Francesco Scafuri (Scafuri 1999; Scafuri 2008).

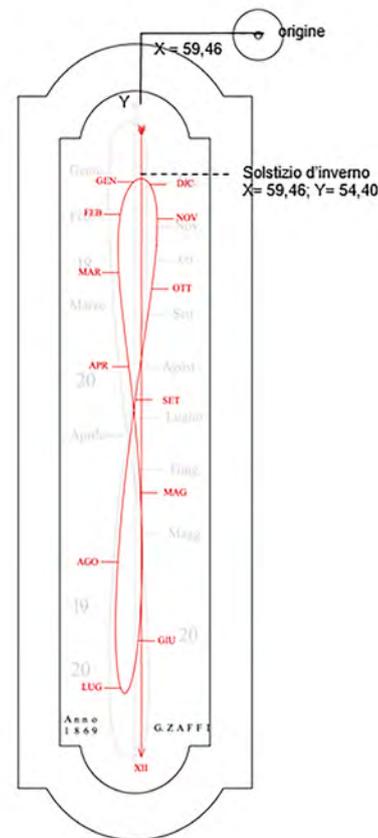
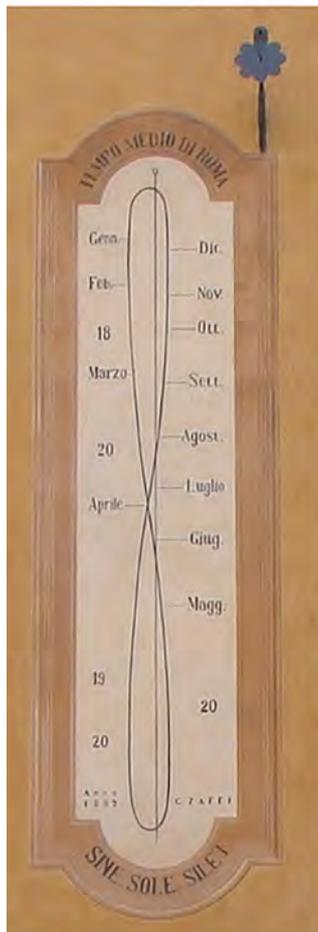
Le lavorazioni preliminari sulla superficie della meridiana ed il disegno del nuovo grafico delle linee orarie sono state effettuate dalla ditta C.R.C. Restauri s.r.l. di Molinella (BO) - direttore tecnico Fabio Bevilacqua - affidataria dei lavori di restauro.

L'intero processo progettuale-realizzativo si è svolto sotto l'alta sorveglianza della Soprintendenza per i Beni Architettonici e il Paesaggio competente per territorio [fig. 1].

Metodologia di intervento

Dopo avere allestito il ponteggio necessario all'esecuzione delle lavorazioni, la prima attività di cantiere è stata quella di procedere alla misurazione strumentale per il calcolo esatto del grafico del quadrante ed al conseguente tracciamento di punti significativi in base ai quali è stato effettuato il reale controllo del passaggio del sole. Tali operazioni sono state eseguite dallo gnomonista Righi il 18 settembre 2012 [fig. 2].

1. La meridiana prima dell'intervento di ripristino funzionale (sinistra). Il disegno dell'esatto grafico: con abbassata tonalità di colore il disegno pervenuto della meridiana che non assolve alla funzione oraria originaria; evidenziato in rosso l'esatto grafico disegnato in color terra d'ombra sul quadrante (destra).



1.



2.

Operazioni tecniche effettuate per rilievi, verifiche e disegno

Scrive Renzo Righi nella *Relazione Tecnico-Scientifica Consuntiva* del febbraio 2013 quanto di seguito riportato.

"Attraverso un foro (foro gnomonico) praticato su uno schermo metallico sostenuto da una apposita struttura, i raggi solari che si proiettano sul quadro generano un punto luce che, come in uno spazio eliodromo, giorno dopo giorno nell'arco di un anno percorre le due linee orarie (mezzogiorno di Roma, curva a lemniscata e mezzogiorno vero di Ferrara, linea verticale) dal solstizio invernale a quello estivo e viceversa. Dallo stato quindi di stabilità e usura delle parti metalliche dipende la durata e la costante precisione dello strumento nel tempo; a tal uopo si è provveduto a vista e con le dovute cautele alle verifiche e agli interventi di protezione necessari. Si è passati poi ai rilievi della distanza del foro dal muro ed a stabilirne il punto di proiezione sulla parete stessa; due dati fondamentali per il calcolo e la tracciatura, essendo rispettivamente la distanza o ortostilo il fattore di scala (vincola le dimensioni) e il centro del foro proiettato l'origine delle coordinate cartesiane per la costruzione delle linee orarie.

Le operazioni sono state effettuate incrociando più misure prese sia con strumenti tradizionali come l'uso del filo a piombo, di squadra, riga, compasso e livelle ad acqua, sia con misure rilevate con l'uso

di strumenti tecnologicamente avanzati come livella a lettura digitale e puntatore a raggio laser; individuando così senza ambiguità l'intorno entro il quale cade il punto origine del sistema cartesiano.

Si sono così calcolati e tracciati sul quadro alcuni punti per una prova diretta nelle ore del passaggio del Sole sui riferimenti con l'uso della tabella *Equazione del Tempo locale* [fig. 3]. Quel giorno il transito del Sole al meridiano di Ferrara - linea verticale - è avvenuto alle ore legali estive 13:07:3.

La corretta sovrapposizione, negli istanti previsti, della macchia di luce con i punti calcolati ha confermato la bontà dei rilievi [fig. 4]; così di seguito, con l'uso di un programma software dedicato, si è passati al calcolo completo. Infine con l'ausilio di un programma CAD si è provveduto a disegnare il tracciato" (Coppini 2013).

Preparazione dello spolvero

Il file con il grafico fornito dallo gnomonista Renzo Righi ha consentito la stampa dello stesso in scala 1:1 su carta lucida ai fini della predisposizione dello spolvero. Questo è stato ottenuto perforando fittamente con una punta i contorni del disegno rappresentato al vero sul supporto preparatorio.

Interventi preliminari sulla superficie muraria del quadrante

Seppure recentemente restaurata (nel 2010) nell'ambito dell'intervento eseguito sulle coperture ed i prospetti del corpo di fabbrica che definisce il lato nord di piazza Municipale, la superficie muraria interessata dal decoro della meridiana presentava in alcune parti la pellicola pittorica sollevata e qualche punto in cui il colore spolverava. I problemi di tenuta sono da imputare al clima non favorevole di Ferrara, ma

2. Allestimento del ponteggio necessario per l'esecuzione di tutte le operazioni tecniche di rilievo e delle successive fasi lavorative di restauro funzionale.

3. Equazione del Tempo locale. La tabella fa riferimento solo a Ferrara ed in particolare per trasformare il Mezzogiorno vero di Ferrara (locale) - nel tracciato della meridiana corrispondente alla linea verticale - in odierna ora civile (quella dell'orologio da polso, TMEC). Riferendosi all'anno bisestile è evidenziato il 29 febbraio.

Correzione da apportare al Mezzogiorno Vero di Ferrara per avere le ore 12 Civili: + Merid. ritarda - Merid. anticipa

Equazione locale del Tempo; media degli anni 2008 - 2057 alle ore 12 TMEC - scarto massimo in secondi: +/-14

Data	Gennaio		Febbraio		Marzo		Aprile		Maggio		Giugno		Luglio		Agosto		Settembre		Ottobre		Novembre		Dicembre		Data	
	min. sec.																									
1	17	1	27	3	25	48	17	21	10	37	11	28	17	29	19	54	13	50	3	8	2	26	2	35	1	
2	17	29	27	11	25	30	17	3	10	31	11	35	17	40	19	49	13	10	2	49	2	55	2	58	2	
3	17	57	27	17	25	23	16	45	10	24	11	45	17	51	19	44	12	51	2	30	2	55	3	21	3	
4	18	25	27	23	25	10	16	28	10	19	11	55	18	2	19	39	12	31	2	12	2	55	3	46	4	
5	18	51	27	28	24	57	16	11	10	14	12	6	18	12	19	33	12	11	1	54	2	53	4	10	5	
6	19	18	27	33	24	43	15	54	10	9	12	17	18	22	19	20	11	51	1	36	2	51	4	35	6	
7	19	44	27	38	24	29	15	37	10	5	12	28	18	32	19	19	11	30	1	18	2	48	5	1	7	
8	20	10	27	39	24	14	15	20	10	2	12	39	18	41	19	11	11	10	1	2	2	44	5	27	8	
9	20	35	27	41	23	59	15	4	9	59	12	51	18	50	19	3	10	49	0	45	2	39	5	54	9	
10	20	59	27	42	23	44	14	48	9	57	13	3	18	59	18	54	10	28	0	29	2	33	6	21	10	
11	21	23	27	43	23	28	14	32	8	55	13	15	19	7	18	44	10	7	0	13	2	27	6	49	11	
12	21	46	27	42	23	12	14	16	7	54	13	28	19	14	18	34	9	45	0	2	2	19	7	16	12	
13	22	9	27	41	22	56	14	1	6	54	13	40	19	22	18	24	9	24	0	16	2	11	7	45	13	
14	22	31	27	39	22	40	13	46	5	54	13	53	19	28	18	12	9	3	0	30	2	2	18	13	14	
15	22	53	27	37	22	23	13	32	4	54	14	6	19	34	18	1	8	41	0	44	1	52	8	42	15	
16	23	13	27	35	22	5	13	18	3	56	14	19	19	40	17	48	8	20	0	57	1	42	9	11	16	
17	23	33	27	29	21	49	13	4	9	57	14	32	19	45	17	35	7	1	0	1	9	1	30	9	40	17
18	23	53	27	25	21	31	12	50	9	60	14	45	19	50	17	22	7	37	0	1	21	1	18	10	18	
19	24	11	27	19	21	14	12	37	10	2	14	58	19	54	17	8	7	59	0	1	32	1	4	10	39	19
20	24	29	27	13	20	56	12	25	10	6	15	11	19	57	16	54	6	54	1	43	0	50	11	9	20	
21	24	46	27	6	20	39	12	13	10	10	15	24	19	60	16	39	6	33	1	53	0	35	11	38	21	
22	25	3	26	59	20	21	12	1	10	14	15	37	20	3	16	24	6	12	2	2	0	20	12	9	22	
23	25	16	26	51	20	3	11	50	10	19	15	50	20	4	16	8	5	51	2	10	0	3	12	38	23	
24	25	33	26	43	19	45	11	39	10	25	16	3	20	6	15	52	6	30	2	18	0	14	13	8	24	
25	25	47	26	33	19	26	11	26	10	31	16	16	20	6	15	36	5	9	2	25	0	32	13	38	25	
26	25	60	26	23	19	8	11	19	10	37	16	28	20	6	15	19	4	48	2	32	0	51	14	8	26	
27	26	13	26	13	18	50	11	9	10	44	16	41	20	6	15	2	4	28	2	37	1	10	14	37	27	
28	26	25	26	2	18	32	11	1	10	52	16	53	20	4	14	44	4	7	2	42	1	30	16	6	28	
29	26	35	26	58	18	14	10	52	10	59	17	5	20	3	14	26	3	47	2	46	1	51	16	38	29	
30	26	45	17	56	10	45	11	8	17	17	19	60	14	7	13	28	2	50	2	50	2	13	16	5	30	
31	26	55	17	38	11	16	19	57	13	49	19	57	13	49	19	57	13	49	19	57	13	49	19	57	13	49

3.



4.
Riscontro
della corretta
sovrapposizione
della macchia
di luce con i
punti calcolati
al passaggio del
Sole al meridiano
di Ferrara - linea
verticale - il 18
settembre 2012
alle ore 13:07:37
(legali estive).

4.

anche alla collocazione su una parete nord dove le escursioni termiche sono elevate. Pertanto è stata eseguita una ricognizione sistematica per individuare le zone decorse, controllandone lo stato di adesione delle malte, sono stati asportati i depositi superficiali

di sporco con spugne *wishab*, e sono state eseguite alcune iniezioni consolidanti con resine acriliche in emulsione acquosa in due aree dove parte dello strato dipinto presentava sollevamento; quest'ultimo trattamento è stato esteso nelle aree dove il pigmento



5.



6.

presentava uno stato di disgregazione, applicando il prodotto a pennello a più riprese [fig. 5] e completando l'intervento con la tonalizzazione e pigmenti addizionati alla calce [fig. 6].

Dopo aver così reso uniforme le superfici e consolidato e fissato le coloriture, le tonalità di colore delle tracce del disegno curvilineo e le scritte non più funzionali sono state abbassate con un trattamento a latte di calce per conservarne la testimonianza [fig. 7].

Disegno del nuovo grafico delle linee orarie

Posizionato lo spolvero sulla superficie da disegnare, è stato trasferito sul quadrante il nuovo tracciato tamponando le parti perforate con carboncino e, tolto il supporto preparatorio, congiungendo a matita i vari punti per completare le linee del grafico.

Per quanto riguarda le scritte, si è proceduto allo stesso modo, ricalcando quelle esistenti, preparando i relativi spolveri, e trasferendo i contorni dei caratteri sulla superficie muraria nella corretta posizione in relazione al nuovo grafico [figg. 8, 9].

Verifica dell'esattezza dell'orologio solare

Prima di disegnare definitivamente a pennello il nuovo tracciato, il 3 ottobre 2012 è stato nuovamen-

te effettuato il reale controllo del passaggio del sole. Quel giorno il transito del Sole al meridiano di Ferrara - linea verticale - è avvenuto alle ore legali estive 13:02:30 [fig. 3]. L'esattezza dell'orologio solare è stata confermata dalla sovrapposizione, negli istanti previsti, della macchia di luce con la linea verticale del Mezzogiorno vero di Ferrara [fig. 10].

Esecuzione a pennello del nuovo grafico

Sia le linee che le scritte sono state realizzate con pennello fine utilizzando colori acrilici nella tonalità della terra d'ombra. In particolare, lo spessore delle linee (curva e verticale), dello spessore di circa 10 millimetri, è stato ottenuto mantenendo come asse i segni dello spolvero, ossia eseguendo metà spessore a destra e metà a sinistra dei suddetti segni.

Inoltre sono state eseguite le riprese di tutte quelle scritte del quadrante della Meridiana rimaste invariate. Infine, le superfici sono state nuovamente tutte fissate con un trattamento al 5% di alcol polivinilico [figg. 11, 12].

Lo "gnomone"

Per l'elemento metallico dello gnomone prima si è operato risarcendo alcune fratture e piccoli buchi con uno stucco epossidico bicomponente poi è stata applicata una nuova coloritura sia sul braccio di supporto che sullo schermo metallico con il foro gnomonico. Quest'ultimo, dopo un trattamento fissativo, è stato rivestito da una doratura realizzata a lamina (ottonella in fogli) e protetta da una vernice acrilica [fig. 13].

Nel giorno "più lungo" dell'anno

L'Amministrazione Comunale di Ferrara ha scelto di presentare pubblicamente alla cittadinanza l'intervento di ripristino funzionale della meridiana verticale di piazza Municipale venerdì 21 giugno 2013



7.

5. Fissaggio dei pigmenti.

6. Tonalizzazioni.

7. Velature con calce del tracciato e delle scritte non più funzionali.



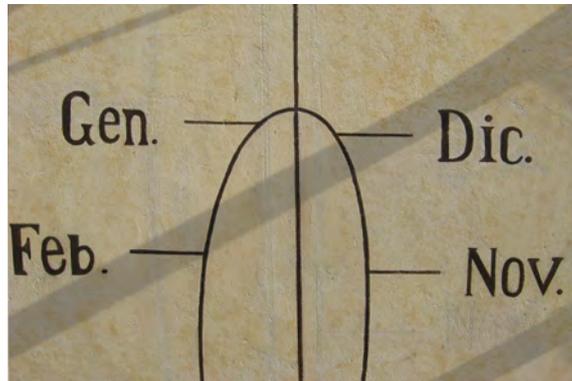
8.



9.



10.



11.



12.



13.

8. Spolvero del nuovo tracciato.

9. Spolvero del nuovo tracciato.

10. Verifica dell'esattezza dell'orologio solare eseguita il 3 ottobre 2012: transito del Sole al meridiano di Ferrara - linea verticale - alle ore 13:02:30 (legali estive).

11. Disegno a pennello di linee e scritte.

12. Disegno a pennello di linee e scritte.

13. Doratura dello gnomone.

(Celeghini 2013), nel giorno del Solstizio d'Estate, con ritrovo alle ore 13:00 davanti all'orologio solare per assistere al passaggio del *mezzogiorno solare ferrarese* che è avvenuto quando gli orologi segnavano

le 13:15 (in considerazione dell'ora legale estiva). È stata questa l'occasione per illustrare l'intervento realizzato e fornire indicazioni a chi interessato di sapere come leggere questo storico strumento di misurazione

del tempo. Una piccola targa apposta sul muro in corrispondenza della meridiana sintetizza le indicazioni di seguito espresse in modo maggiormente esaustivo.

Come leggere la meridiana verticale a Tempo Medio di Roma di piazza Municipale

Quando il punto luce interseca il tratto della curva a otto in corrispondenza del mese interessato, è il mezzogiorno medio riferito al meridiano di Roma. Per “raccordare” l’ora media di Roma con l’ora civile nazionale letta sull’orologio convenzionale (che fa riferimento non più al meridiano di Roma ma al meridiano posto 15° est da Greenwich, che passa per il cratere dell’Etna-Catania)³, dobbiamo sempre aggiungere la costante locale (differenza in longitudine ovest espressa in tempo) tra Roma e Catania pari a 10m11s in quanto il Sole, nel suo moto ap-

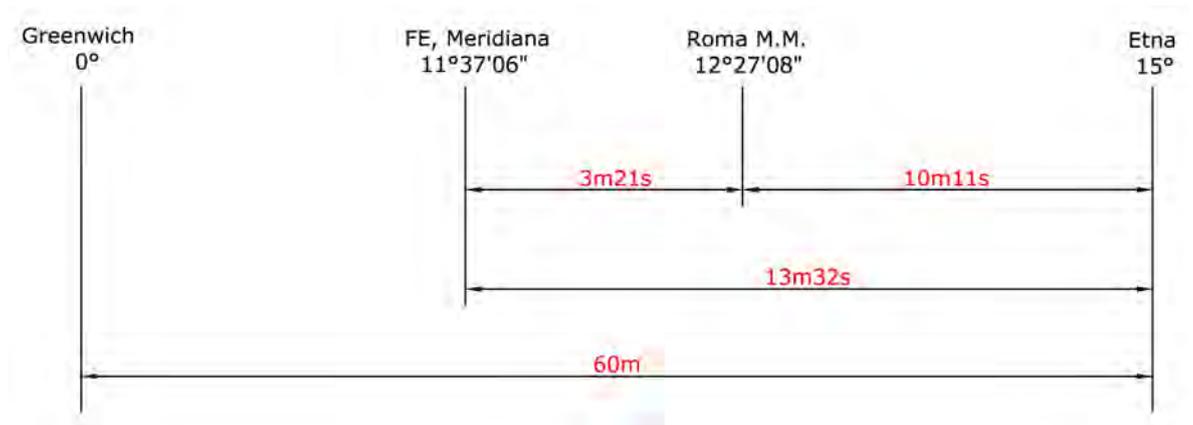
parente, transita su Catania 10m circa prima che a Roma. Pertanto quando la macchia di luce attraverserà la curva, ovvero quando segnerà il mezzogiorno medio di Roma, gli orologi convenzionali di tutta Italia segneranno 12h10m11s. (quando è in vigore l’ora legale estiva si deve aggiungere 1h) [fig. 14].

Il punto luce interseca la linea verticale alle ore 12 vere locali, (transito del Sole al meridiano di Ferrara); ma qui si ricorda che per questioni astronomiche e scelte convenzionali l’ora vera solare subisce scarti ciclici giornalieri rispetto all’odierna ora civile.

Quindi, per sincronizzare il mezzogiorno vero di Ferrara al meridiano dell’Etna, si devono aggiungere alle ore 12 delle quantità in minuti riportate nella tabella seguente ed espresse in valori medi arrotondati per ogni decade del mese (quando vige l’ora legale estiva, occorrerà aggiungere 1h) [figg. 15, 16].

14. Longitudini da Greenwich in gradi sessagesimali e costanti locali espresse in tempo.

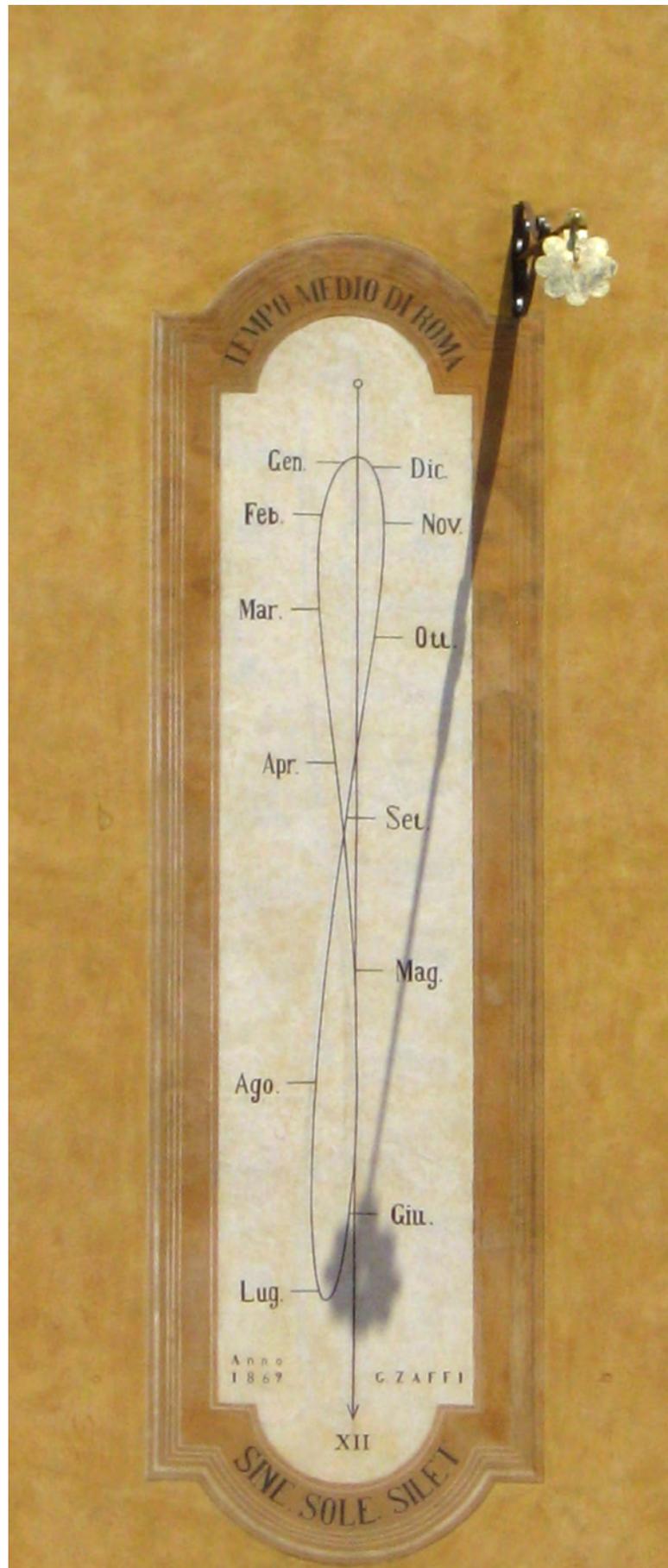
15. Tabella per la lettura della meridiana verticale a Tempo Medio di Roma di piazza Municipale di Ferrara: per sincronizzare il mezzogiorno vero di Ferrara al meridiano dell’Etna si devono aggiungere alle ore 12 delle quantità in minuti riportate nella tabella ed espresse in valori medi arrotondati per ogni decade del mese. (quando vige l’ora legale estiva, occorrerà aggiungere 1h).



14.

gior./ mesi	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
1	17	27	26	17	11	12	17	20	14	3	-3	3
10	21	28	24	15	10	13	19	19	11	0	-2	6
20	24	27	21	12	10	15	20	17	7	-2	-1	11

15.



16.
La meridiana verticale a Tempo Medio di Roma presente nella piazza Municipale di Ferrara dopo l'intervento di restauro funzionale. La fotografia è stata scattata il 21 giugno 2013, alle ore 13:15, ovvero il mezzogiorno solare ferrarese.

Note

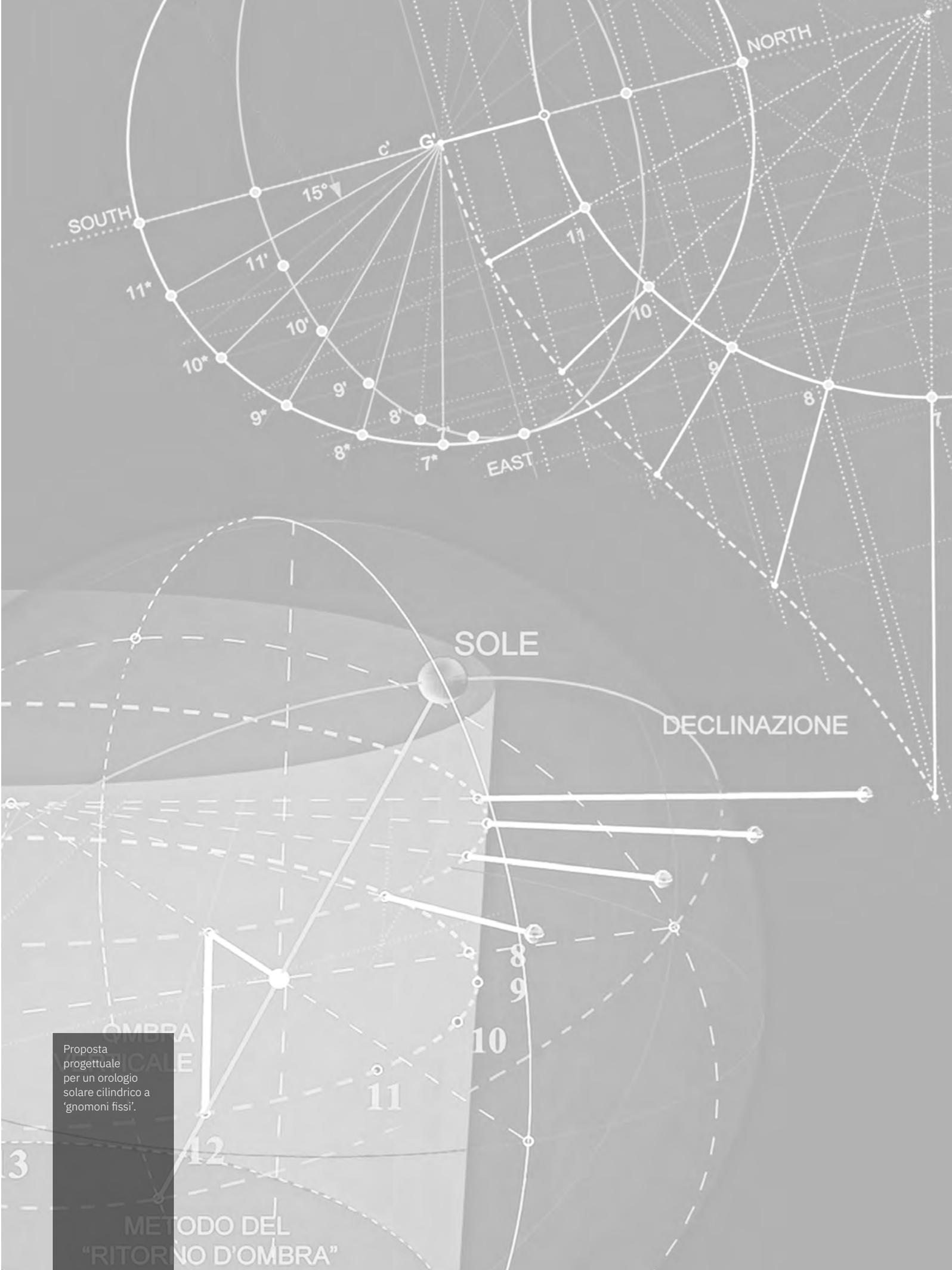
1. Come riportano i documenti di archivio, l'opera disegnata con precisione dallo Zaffi viene realizzata con tinte ad olio dal pittore Ermete Marini su uno strato cementizio (5x2 m) che supporta una stesura di calce idraulica molto "magra"; ed è probabilmente da questo errore di costruzione iniziale che si succedono nel tempo problemi di tenuta, considerando prima di tutto il clima, che a Ferrara non è sicuramente favorevole, ma anche la collocazione su una parete nord dove le escursioni termiche sono elevate. Fin da subito le decorazioni e le scritte in gran parte si cancellarono a causa di piogge abbondanti, tanto da rendere la meridiana illeggibile e da necessitare di un intervento di restauro che Zaffi fece eseguire a sue spese; nel 1888 si rese necessario un ulteriore restauro, che venne seguito dallo stesso gnomonista ormai settantenne. La successiva serie di interventi e modifiche hanno portato inevitabilmente a compromettere anche la funzionalità stessa della meridiana verticale, probabilmente interpretandone il tracciato gnomonico quasi fosse un qualsiasi elemento decorativo. Forse a causa della sua quasi ormai illeggibilità furono compiuti diversi errori nel corso dell'intervento eseguito nel 1954, come si apprende dalla stampa locale dell'epoca. L'ulteriore intervento eseguito dalla ditta Pielia di Ferrara nel 1989 si è invece limitato a conservare la condizione esistente senza apportare nessuna modifica; così come il restauro conservativo effettuato nel 2010 dalla ditta Ottorino Nonfarmale di San Lazzaro di Savena

(BO) nell'ambito dell'intervento sulle coperture ed i prospetti del corpo di fabbrica che definisce il lato nord di piazza Municipale.

2. La differenza fra il tempo medio e quello vero in funzione della declinazione del Sole e del giorno dell'anno corrisponde all'Equazione del Tempo (EqT), che nell'antica accezione di termine correttivo indica l'addizione o la sottrazione che bisogna apportare al tempo indicato da una meridiana per ottenere quello indicato da un orologio convenzionale, o viceversa. L'anamorfose dell'EqT è nota con il termine di lemniscata (analemma), una curva a forma di otto che permette di leggere direttamente su un orologio solare il Tempo Medio (nel caso della meridiana verticale di Ferrara la linea oraria del mezzogiorno medio di Roma divenuto ora di riferimento in tutta la nazione), generalmente tracciata (avvolta) sulla linea oraria delle ore 12. Lo spettro solare rappresentato dallo gnomone, segnando nel suo quotidiano passaggio sempre il mezzogiorno medio, percorre ogni anno la linea curva dall'alto (solstizio d'inverno) al basso (solstizio d'estate) e viceversa. Per sapere quale ramo della curva va considerato vengono riportati i mesi dell'anno; il mezzogiorno medio coincide con il tempo vero quattro volte all'anno, quando cioè la linea verticale viene tagliata dalla lemniscata.
3. Il meridiano 15° est è il meridiano centrale regolatore dell'ora del 1° fuso est dove è in vigore il Tempo Medio dell'Europa Centrale (TMEC), tempo appunto in uso per la vita civile italiana.

Bibliografia

- Barbi G., Arnaldi M. (2007). La Meridiana un tempo presente sulla facciata del palazzo municipale di Finale Emilia. In *Gnomonica Italiana*, Anno III, n. 13 settembre 2007, pp.59-64. <https://www.academia.edu/2021260/La_meridiana_un_tempo_presente_sulla_facciata_del_palazzo_municipale_di_Finale_Emia> (consultato il 2 dicembre 2024).
- Anselmi R., Casalegno G., Caviglia F., Ghia L. M., Nicelli A. (2019). Il restauro funzionale della Meridiana di Ferrara. In *Orologi Solari*, n. 19, pp. 26-28. <<https://www.oroologi-solari.eu/issue19.htm>> (consultato il 2 dicembre 2024).
- Celeghini M. (21 giugno 2013). La meridiana del XIX secolo collaudata in occasione del solstizio d'estate. Lo gnomone torna ad indicare il mezzogiorno. <<https://www.estense.com/2013/310550/lo-gnomone-torna-ad-indicare-il-mezzogiorno/>> (consultato il 2 dicembre 2024).
- Coppini C. (Febbraio 2012). *Palazzo Municipale, Restauro funzionale della meridiana verticale presente sul lato nord di piazza Municipale*. Relazione tecnica: Comune di Ferrara, Settore Opere Pubbliche e Mobilità, Servizio Beni Monumentali.
- Coppini, C. (Febbraio 2013). *Palazzo Municipale – Ferrara restauro funzionale della meridiana verticale presente sul lato nord di piazza Municipale*. Relazione Tecnico-Scientifica Consuntiva: Comune di Ferrara, Settore Opere Pubbliche e Mobilità, Servizio Beni Monumentali.
- Lolli S. (22 giugno 2013). Da via Cortevicchia alla storica meridiana. Il Comune accelera il restyling del centro. *Il Resto del Carlino Ferrara*, p. 3.
- Rasconi G. (22 giugno 2013). L'ora solare. La meridiana del Municipio adesso è di nuovo leggibile. *La Nuova Ferrara*, p. 15.
- Righi R. (17 ottobre 2011). *Relazione Introduttiva per il recupero della Meridiana in Piazza del Municipio a Ferrara*. Relazione Tecnica: Comune di Ferrara, Settore Opere Pubbliche e Mobilità, Servizio Beni Monumentali.
- Scafuri F. (1999). Note sulla meridiana di piazza del Municipio a Ferrara. In *La Mongolfiera*, pp. 16-19.
- Scafuri F. (Marzo 2008). *Il corpo di fabbrica ex Bazzi, i suoi prospetti e le trasformazioni del Palazzo di Corte*. Relazione storica, cap. 7, pp.17-21: Comune di Ferrara, Settore Opere Pubbliche e Mobilità, Servizio Beni Monumentali.
- 'Collaudo' ufficiale della meridiana verticale di piazza Municipio (21 giugno 2013). <<https://www.cronacomune.it/notizie/21485/la-meridiana-verticale-di-piazza-municipio.html>> (consultato il 2 dicembre 2024).



Proposta
progettuale
per un orologio
solare cilindrico a
'gnomoni fissi'.

METODO DEL
"RITORNO D'OMBRA"

Studio e concept di un orologio solare cilindrico a ‘gnomoni fissi’

Abstract

Il contributo descrive la specifica categoria di orologio solare a colonna cilindrica, analizzandone le tipologie principali. Nella prima parte si analizzano le proprietà che regolano il funzionamento degli strumenti, favorendo la conoscenza e la divulgazione del patrimonio gnomonico. Successivamente, con intenti didattico-divulgativi, viene proposta una variante progettuale che, applicando processi grafico-risolutivi di geometria proiettiva, integra elementi estetico-funzionali delle configurazioni tradizionali.

Il contributo descrive la specifica categoria di orologio solare a colonna cilindrica, analizzandone le tipologie principali. Nella prima parte si analizzano le proprietà che regolano il funzionamento degli strumenti, favorendo la conoscenza e la divulgazione del patrimonio gnomonico. Successivamente, con intenti didattico-divulgativi, viene proposta una variante progettuale che, applicando processi grafico-risolutivi di geometria proiettiva, integra elementi estetico-funzionali delle configurazioni tradizionali.

Parole chiave

Orologi solari
Colonna gnomonica
Modello parametrico
Gnomone fisso
Divulgazione

Francesco Di Paola

Università degli Studi di Palermo
→ francesco.dipaola@unipa.it

Manuel Pizarro

Instituto Pirenaico de Ecología. Consejo Superior de Investigaciones Científicas
→ m.pizarro@csic.es

Introduzione

L'analisi delle traiettorie del moto apparente del Sole e la restituzione grafica delle ombre su diverse superfici tramite specifici dispositivi richiedono un approfondimento della geometria proiettiva, della determinazione delle sezioni e intersezioni delle superfici e della teoria delle ombre, secondo i principi della Scienza della Rappresentazione.

Fin dall'antichità, gli orologi solari, concepiti per rappresentare graficamente, per controllare e per misurare i fenomeni luminosi regolari, sia diurni che annuali, testimoniano il desiderio costante di comprendere e descrivere con buona precisione il complesso sistema celeste reale. L'origine degli orologi solari risale alle antiche civiltà dell'Egitto e della Mesopotamia nel II millennio a.C., dove erano già utilizzati per misurare lo scorrere del tempo attraverso l'ombra proiettata da uno gnomone su una superficie (Savoie 2021). Questo particolare strumento, specificatamente definito orologio solare, è stato per millenni fondamentale, unendo astronomia, geometria e design funzionale (Turner 1989). Considerato uno dei primi strumenti astronomici, fu utilizzato anche per determinare la posizione del sole e per stabilire eventi chiave come i solstizi e gli equinozi (Evans 1998); nel III secolo a.C., Eratostene lo utilizzò per misurare la circonferenza della Terra, stabilendo il suo ruolo come strumento scientifico. In epoca romana, gli orologi solari venivano disegnati direttamente su un blocco di pietra emisferica o conica, debitamente preparato a cui veniva aggiunto solo un pezzo di metallo o gnomone, con la cui ombra si ricavava l'ora, dopo essere stata opportunamente posizionata. Nel I secolo, l'architetto

e ingegnere Marco Vitruvio Pollione nella sua opera *De Architectura*, fa una descrizione completa dei tredici tipi di orologi solari esistenti all'epoca, riferendosi tra l'altro al 'semicerchio scavato in un quadrato con inclinazione all'equatore', che fu un'invenzione di Beroso Caldeo e del quadrante concavo emisferico attribuito ad Aristarco. Questi due furono i sistemi di misura dell'ora più utilizzati in epoca romana (Pagliano 2021), anche se sono stati ritrovati orologi solari portatili e altri rari esemplari utilizzati a latitudine fissa (Talbert 2017). Tra questi, l'orologio solare estense scoperto nel 1884 (conservato nel Museo Nazionale Atestino), datato alla fine del I secolo d.C. e tracciato per la latitudine di 45 gradi su un cilindro con due gnomoni. L'altro antico esemplare dello stesso disegno è apparso nel 2006 durante gli scavi di un'area sepolcrale alla periferia della romana Samarobriva (l'attuale Amiens, Francia) ed è stato datato alla prima metà del III secolo d.C. (ora nel Museo della Piccardia ad Amiens). In un primo censimento degli orologi solari di origine greco-latina furono inventariati 263 esemplari (Gibbs 1973), anche se ad oggi il numero dei pezzi contati si aggira intorno ai 600, come si legge nel *Catalogue archéologique* dell'Osservatorio di Parigi (Bonin 2015).

Lo studio approfondisce la tipologia che ha come quadrante una superficie cilindrica. Gli orologi solari cilindrici utilizzano la proiezione dell'ombra di uno gnomone su una superficie curva, di solito un cilindro o un semicilindro, per indicare l'ora solare. Il disegno del quadrante solare lungo la superficie di un cilindro si presenta come un problema di intersezione tra superfici quadriche reali e luminose. A differenza di un più tradizionale orologio solare

1.
A sinistra, orologio solare romano (I secolo a.C.-V secolo d.C.), in bronzo, Domjulien (Vosgi, Francia) (Foto: © Musée départemental d'Art Ancien et Contemporain - Epinal, Inv. Num. L.IV.D.5); a destra, orologio solare romano (I secolo d.C.) in osso, Tomba del Medico (Este, Italia) (Foto: © Istituto per lo Studio del Mondo Antico/Guido Petruccioli-Museo Nazionale Atestino di Este, Inv. Num. IG MNA 15397).



1.



2.
A sinistra, orologio solare cilindrico cinquecentesco, con due gnomoni pieghevoli di diversa lunghezza (Foto: © Museo Galileo-Ist. e Museo di Storia della Scienza, Firenze, Inv. n. 2457); al centro, orologio solare portatile su colonna d'avorio, indicazione ore italiane (lat. 43°), opera di F.F. Stephanus, 1587 (Foto: Creative Commons Zero (CC0) - Science Museum Group Collection Online. Inv. Num, 1937-832); a sinistra, orologio solare a cappello in legno con gnomone mobile (Foto: © Oberösterreichische Landesmuseen – Dip. di Storia della Tecnologia, Inv. Num. PH35).

2.

piano, le linee orarie sono archi di ellissi, diversi in funzione dell'inclinazione che il piano luminoso determina con le generatrici del quadrante cilindrico. Il suo funzionamento si basa sulla posizione del sole nel cielo, che varia durante il giorno in base all'azimut (direzione) e all'altitudine solare. Lo gnomone, situato sulla parte superiore o laterale del cilindro, proietta un'ombra che si muove in base al movimento apparente del sole, intersecando le linee orarie tracciate sulla superficie del cilindro per indicare l'ora solare. Per alcuni orologi solari, la lettura accurata dell'ora richiede anche che il dispositivo sia impostato sulla latitudine del luogo, poiché l'altitudine del sole varia con la latitudine geografica.

Orologi solari a colonna cilindrica. Storia e classificazione

Ricerche recenti stabiliscono diverse classificazioni per gli orologi solari cilindrici (Higgins 1953; Archinard 2007), ma fondamentalmente si differenziano in quelle proiettate su superfici concave o convesse. Uno degli strumenti più noti, risalente all'epoca romana e giunto fino ai giorni nostri, è l'orologio solare cilindrico (Sonderegger 2009), o erroneamente chiamata 'orologio del pastore' dei Pirenei a causa di un'attribuzione errata (Savoie 2021), che utilizza la variazione dell'altezza del sole come principio di funzionamento per determinare l'ora [figg. 1, 2].

Il quadrante a colonna, storicamente utilizzata viaggiatori, di solito è costituito da un cilindro di legno, sul quale sono tracciate le curve di lettura ed è sormontato da un coperchio al quale è fissato uno gnomone orizzontale mobile e retrattile che viene regolato in base alla data (mese o segno zodiacale). Deve essere orientato verso il sole e la fine dell'ombra verticale dello gnomone indica l'ora (Savoie 2001).

Questo dispositivo portatile ha la scala oraria segnata sulla superficie del cilindro verticale a direttrice circolare. La principale differenza con gli altri orologi solari consiste nel modo in cui viene effettuata la lettura del tempo. Per leggere l'ora è necessario ruotare il cilindro intorno al proprio asse mantenendolo verticale, insieme allo gnomone che resta orizzontale e solidale all'orologio. Per individuare il punto ombra di una determinata ora è necessario ruotare il cilindro finché non si verifica la complanarità tra l'asse gnomonico e il punto sulla sfera celeste in cui si trova il Sole. Lo stilo deve essere sempre orientato verso il Sole. Questo allineamento fa sì che, in fase di lettura, l'ombra risulti perfettamente verticale. La necessaria rotazione dello gnomone e la determinazione della posizione corretta potrebbero determinare errori, rendendo scomodo il metodo di lettura. L'*horologium viatorum* fu il prototipo dell'orologio solare portatile per astronomi e costruttori di strumenti scientifici durante il Medioevo e il Rinascimento, e nessun altro fu descritto così frequentemente. Molte immagini sono conservate nei manoscritti medievali, xilografie nei primi libri a stampa sugli orologi solari e anche due dipinti di Hans Holbein il Giovane: *Nicholas Kratzer* datato 1528, conservato al Louvre e *Gli Ambasciatori* del 1533, conservato alla National Gallery di Londra.

Hermannus Contractus (1013-54) di Reichenau è stato considerato l'inventore dello strumento con la prima descrizione completa dell'orologio solare cilindrico o *chilinder* (Kren 1977), come venne poi conosciuto. Nel mondo islamico, al-Marrakushi nel suo *opus magnum* compilato nel 1282, descrisse variazioni degli orologi solari su cilindri e coni, evidenziandone la capacità di misurare il tempo e le ore azimutali mediante gnomoni mobili (Savoie

2021). Anche se sembrano esserci prove più antiche di questa tipologia di orologio solare nei trattati di Baghdad del IX secolo (Arnaldi & Schaldach 1997). Queste innovazioni influenzarono direttamente la costruzione di orologi a colonna fissi, come si vede nei monasteri europei nei secoli successivi. Infatti, gli orologi solari a colonna cilindrica sono legati a contesti sia architettonici che monumentali, spesso collocate in spazi pubblici come piazze o giardini. Esse riflettono un'evoluzione dell'ingegnosità tecnica e scientifica, combinata con un approccio decorativo che le rendeva simboli di prestigio e conoscenza. Il Rinascimento segnò una rinascita degli orologi solari con disegni geometrici più raffinati. Athanasius Kircher documenta nell'*Ars Magna Lucis et Umbrae* (1646) orologi solari come lo *chapeau filtrant*, che incorporava un 'cappello' perforato o più stili che proiettavano ombre curve su cilindri o colonne (Anselmi 2013). Due esempi di questa tipologia di orologi solari si trovano nelle città di Saverne e Lorquin e dovrebbero essere conservati per il loro valore storico, essendo stati costruiti nel XVII e XVIII secolo (Rohr 1973; Pizarro 2022).

Un altro degli orologi solari più importanti di questo periodo è l'orologio solare di Pingré, installata sulla colonna dei Medici a Parigi nel XVIII secolo [fig. 3]. Si componeva di 15 stili orizzontali che proiettavano le loro ombre sulla rete di linee orarie e archi zodiacali disegnati sulla colonna (Savoie 2021). Le

estremità degli stili erano unite da una lastra di rame ricurva con incise le cifre orarie, ma solo uno degli stili indicava l'ora esatta. Sebbene il suo design fosse tecnicamente avanzato e rappresentasse una variante estrema di orologio solare a cappello, era difficile da leggere e fu sostituita nel 1888 a causa dell'insoddisfazione del pubblico (Savoie 1998).

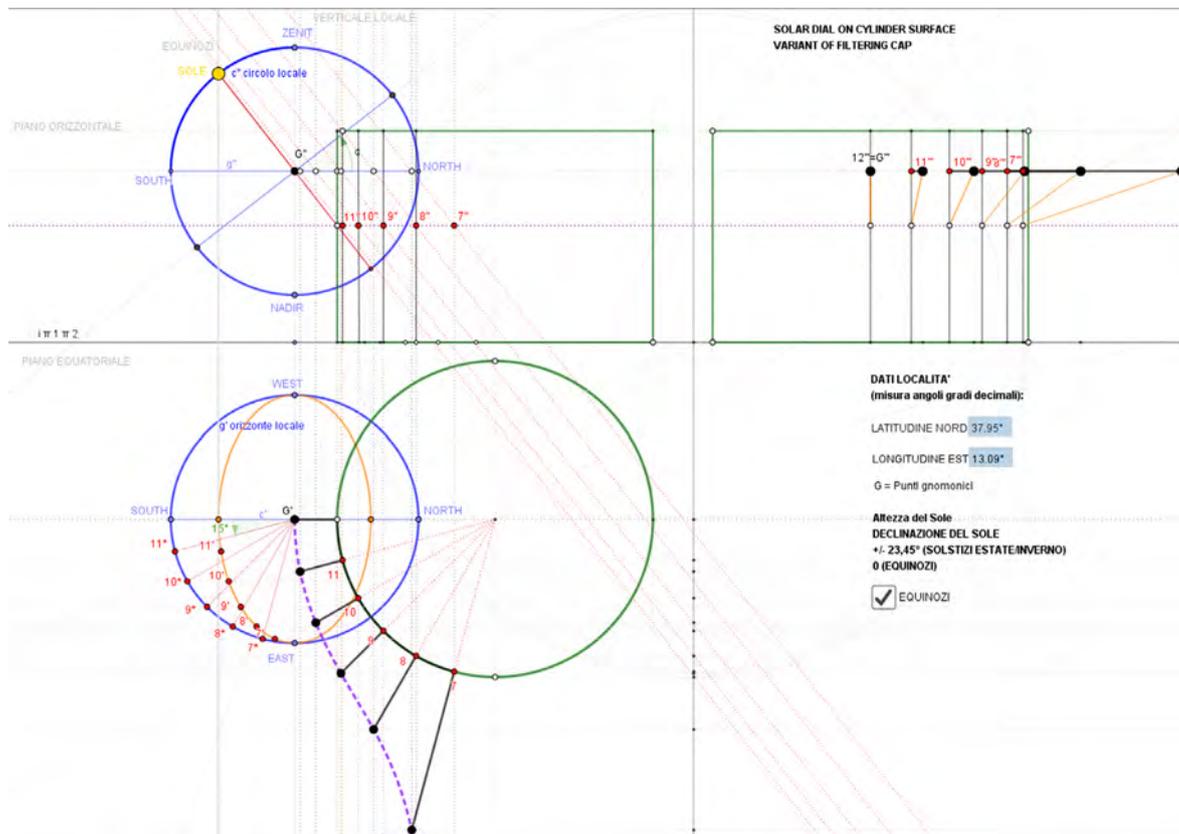
Notevole e originale è anche l'orologio solare a cappello "La Baumette", costruita nel 1884 nell'ex Convento di Angers dal meteorologo Albert Cheux (Pizarro 2010). Questo insieme gnomonico combina due orologi solari a cappello multistilo su una colonna e due orologi solari meridionali verticali su un piedistallo [fig. 3], progettate per proiettare ombre precise per ogni stagione dell'anno (inverno-primavera per il quadrante superiore ed estate-autunno per il quadrante inferiore). La capacità di segnare le ore sia in tempo solare vero che in tempo universale per il meridiano di Parigi, con lemniscate per ogni linea oraria, la rende unica (Pizarro 2011; Di Paola & Pizarro 2023).

Negli ultimi anni sono stati costruiti anche orologi solari monumentali, come la Diga di Castillon (inaugurata nel 2009), che ha rappresentato un'innovazione significativa nella progettazione di orologi solari cilindrici, poiché utilizza una cornice curva per proiettare ombre tangenti su un quadrante di 13.000 m² (Savoie 2014). La storia degli orologi solari a colonna riflette secoli di progressi nella comprensione del tempo e della geometria solare.

3.
A sinistra, Bourse de commerce - Tour de Médicis (colonne de Catherine de Médicis dite colonne de l'Horoscope), Paris (Foto: © Ministère de la Culture (France) - Médiathèque de l'architecture et du patrimoine); a destra, insieme gnomonico dell'ex convento de "La Baumette" con le sue due orologi solari con cappello multistile, prima del restauro della base della sua colonna nel 2013 (Francia) (Foto: Manuel Pizarro).



3.



4. Rappresentazione in proiezioni ortogonali multiple della variante progettuale dell'orologio solare cilindrico. Declinazione solare al solstizio d'estate. Costruzione geometrica dinamica in *Geogebra* (disegno degli autori).

4.

Nell'ultimo censimento dell'Atlante degli Orologi solari (<https://sundialatlas.net>), dei circa 59.000 orologi solari contati in tutto il mondo, solo 200 sono considerati strumenti costruiti su superfici cilindriche, e di questi la maggior parte sono orologi solari portatili ad alta quota appartenenti a collezioni museali.

Variante progettuale dell'orologio solare cilindrico

Dopo aver esaminato le caratteristiche, le proprietà, i vantaggi e gli svantaggi nella lettura dell'ora esatta locale dell'orologio solare cilindrico, lo studio propone una soluzione inedita alternativa di uno strumento atto a leggere l'ora solare che presenta aspetti funzionali ed estetici della tradizionale colonna cilindrica. Le costruzioni geometriche sono state elaborate con *GeoGebra*, noto software *open source* di geometria dinamica interattiva. I modelli tridimensionali, le definizioni algoritmiche e le simulazioni sono stati elaborati all'interno del *plug-in Grasshopper* del noto software di modellazione *NURBS Rhinoceros*, permettendo di gestire il flusso procedurale e di determinare e controllare diverse configurazioni spaziali in relazione alla struttura del quadrante cilindrico e ai parametri fissati.

Di seguito, si descrive il prototipo. Il dispositivo proposto ha una struttura cilindrica con direttrice circolare di altezza fissata. Per garantire una lettura più chiara,

la colonna è costituita da tre blocchi, in relazione alle tre declinazioni solari particolari durante il moto apparente annuale: solstizio d'estate, equinozi di primavera e di autunno e solstizio invernale.

All'estremità di ogni blocco, sono disposti 12 gnomoni fissi (36 in totale) con una variazione angolare di 15° ciascuno, per un range orario che va dalle 7:00 alle 16:00. A ogni ora gli stili corrispondenti sono costruiti in modo da essere orientati verso il Sole. Questo allineamento fa sì che, in fase di lettura, l'ombra risulti perfettamente verticale, mentre tutte le altre ombre portate dagli altri stili sul quadrante risultano comunque inclinate.

La lunghezza degli stili/gnomoni è variabile in relazione al periodo dell'anno e all'ora di osservazione [figg. 4, 5]. Per la determinazione della lunghezza da assegnare a ogni stilo si è utilizzato il metodo geometrico del 'ritorno d'ombra' (Migliari 1984). In altre parole, in fase di progettazione del modello, per le tre declinazioni solari, si è imposto che tutti i punti d'ombra delle estremità degli stili portati dal raggio solare sul quadrante (nel modello le estremità sono materializzate da sferette) fossero appartenenti a una circonferenza orizzontale posta a una quota assegnata dalla circonferenza dalla quale si dipartono gli stili.

Le quote delle tre circonferenze sono determinate dalla lunghezza del segmento verticale, ombra dello stilo alle ore 12:00 alla declinazione solare corrispon-

dente [fig. 6]. Il modello di colonna a ‘gnomoni fissi’, realizzato con tecnologie di stampa 3D, ha permesso di validare le impostazioni grafico-teoriche.

Inoltre, la collaborazione scientifica tra il Dipartimento di Architettura e il Parco astronomico Gal Hassin di Isnello (PA), ha attivato un progetto di divulgazione e un’attività didattica che mostra gli esiti dello studio.

Conclusioni

L’orologio solare a colonna cilindrica rimane un oggetto di studio affascinante, capace di coniugare scienza, arte e tradizione. Le sue peculiarità la rendono una tipologia unica, che merita attenzione sia per le impli-

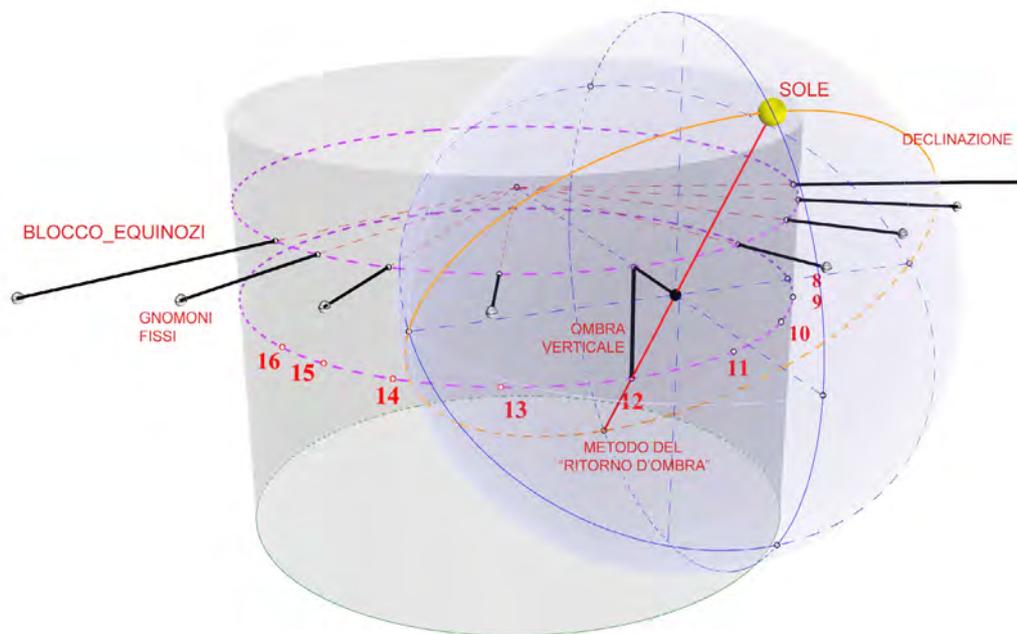
cazioni storiche che per le potenzialità progettuali nel panorama contemporaneo.

Lo studio e la conservazione delle opere realizzate non solo arricchisce la nostra comprensione storica, ma ispira anche nuove applicazioni nella didattica astronomica contemporanea e nel design. In ambito moderno, l’orologio solare a colonna cilindrica può essere reinterpretato con un approccio innovativo, combinando tradizione e tecnologia. Ad esempio, l’uso di materiali contemporanei, come il vetro o il metallo, insieme a nuove soluzioni di design, trasforma l’orologio solare in un’opera funzionale e artistica. L’integrazione di elementi digitali o interattivi potrebbe ampliare il suo ruolo, rendendola non solo un indicatore del tempo, ma anche uno strumento educativo e culturale.

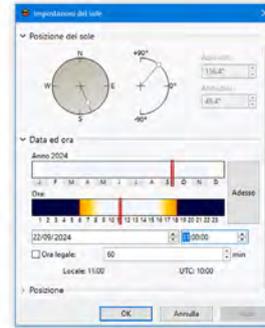
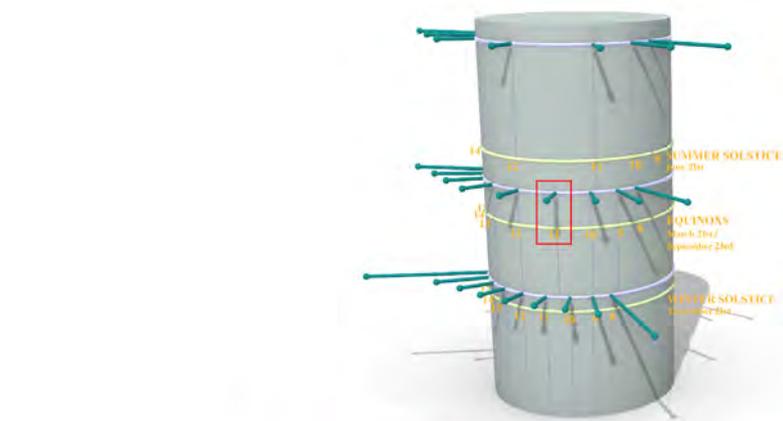
5. Modello 3D esplicitativo del funzionamento della variante progettuale dell’orologio solare cilindrico. Declinazione solare al solstizio d’estate (disegno degli autori).

Bibliografia

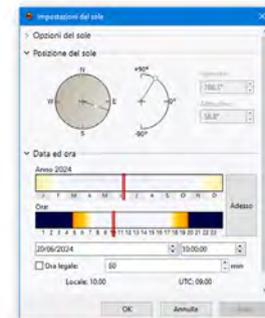
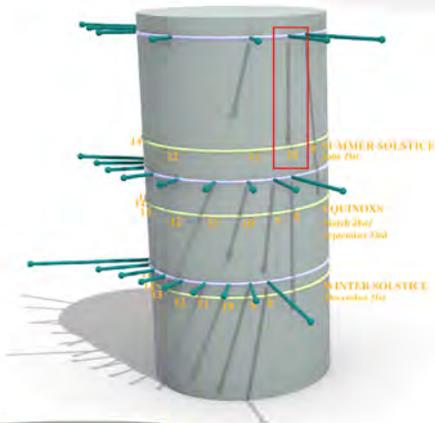
- Arnaldi M., Schaldach K. (1997). A Roman Cylinder Dial: Witness to a Forgotten Tradition. In *Journal for the History of Astronomy*, n. 28(2), pp. 107–117.
- Anselmi R. (2013). L’orologio solare a cappello filtrante appartiene alle bifilari? In *Orologi Solari*, n.3, pp. 22-31.
- Archinard M. (2007). Une classification des cadrans solaires. In *Annals of science*, n. 64(4), pp. 471-524.
- Bonnin J. (2015). *La mesure du temps dans l’Antiquité*. Parigi: Les Belles Lettres.
- Di Paola F., Pizarro M. (2023). Studio gnomonico delle meridiane. Il cappello filtrante dell’ex convento di La Baumette ad Angers. In Farroni L., Incerti M., Pagliano A. (a cura di). *Misurare il tempo: strumenti e tecniche tra storia e contemporaneità*, Atti della Seconda giornata di Studi, Napoli, 9 giugno 2023, pp. 214-225. Napoli: Libreriauniversitaria.
- Evans J. (1998). *The history and practice of ancient astronomy*. Oxford: Oxford University Press.
- Fantoni G. (1988). *Orologi Solari. Storia, teoria, pratica, costruzione, esempi*. Roma: Technimedia.
- Gibbs S. L. (1973). *Greek and Roman Sundials*. New Haven: Yale University Press, p. 464.
- Higgins K. (1953). The classification of sundials. In *Annals of science*, n. 9(4), pp. 342-358.
- Kren C. (1977). The Traveler’s Dial in the Late Middle Ages: The Chylinder. In *Technology and Culture*, n. 18(3), p. 419.
- Migliari R. (1984). Dieci lezioni di geometria descrittiva - La teoria delle ombre e del chiaroscuro - Il modello geometrico del moto apparente del sole. In Fasolo O., Migliari R. (a cura di). *Quaderni di Applicazioni della Geometria Descrittiva*, n. 3, Roma: Aracne editrice.
- Pagliano A. (2019). *Le ore del sole. Geometria e astronomia negli antichi orologi solari romani*. Napoli: Edizioni Paparo.



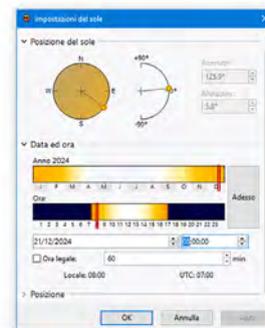
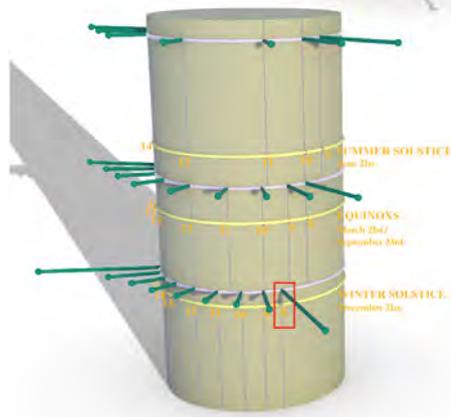
5.



22/09 11:00 am



20/06 10:00 am



21/12 08:00 am

6. Simulazione del funzionamento dell'orologio solare proposto nelle tre declinazioni solari a differenti ore del giorno. Modello tridimensionale della meridiana cilindrica (rappresentazione degli autori).

6.

Pizarro M. (2010). Cadran insolite sur colonne. In *Cadran Info*, n. 22, pp. 53-65.

Pizarro M. (2011). Un cadran solaire du XIXe siècle sur colonne dans l'ancien couvent de La Baumette à Angers. In *Archives D'Anjou*, n. 15, pp. 103-113.

Pizarro M. (2022). Un cappello per il Sole. Un tour visuale degli orologi solari a cornice d'Europa. In *Orologi Solari*, n. 27, pp. 57-66.

Rohr R.J. (1973). Les cadrans solaires à chapeau filtrant de Saverne et de Lorquin. In *Pays d'Alsace*, n. 2, pp. 9-12.

Savoie D. (1998). L'ancien cadran solaire de la colonne Catherine de Médicis à Paris. In *L'Astronomie*, n. 112, pp. 38-43.

Savoie D. (2001). *La Gnomonique*. Parigi: Les Belles Lettres.

Savoie D. (2014). *Les Cadrans solaires à corniche. Recherches sur les cadrans solaires*. Bruxelles: Brepols.

Savoie D. (2021). *Une histoire des cadrans solaires en Occident: la gnomonique du Moyen Âge au XXe siècle*. Parigi: Les Belles Lettres.

Schaldach K. (2021). *Die antiken Sonnenuhren Griechenlands. Die funde in historischer sicht*. Berlino: Universität Berlin und der Humboldt-Universität zu Berlin.

Sonderegger H. (2009). Sundials On Cylinders. In *The Compendium*, n. 16(4), pp. 7-14.

Talbert R. J. A. (2017). *Roman portable sundials. The Empire in your hands*. New York: Oxford University Press.

Turner A. J. (1989). Sundials: History and Classification. In *History of Science*, n. 27(3), pp. 303-318.



La Reggia di Portici e il giardino verso il mare (fotografia dell'autore).

Nuove installazioni gnomoniche per la Reggia di Portici

Abstract

Nel sito reale borbonico di Portici, voluto da Carlo di Borbone nella prima metà del XVIII secolo, sono stati realizzati in epoca recente tre orologi solari su progetto dell'Autore. Due orologi solari verticali declinanti sono stati tracciati nel 1980 su due facciate della Torre del Castello nel bosco della reggia, mentre nel 2015 è stato realizzato un orologio azimutale-analematico nel giardino prospiciente alla reggia stessa. È poi presentata l'ipotesi dell'esistenza in passato di un altro orologio solare sulla torre dell'orologio della reggia quale riferimento per l'orologio meccanico ivi presente.

In the Bourbon Royal Palace of Portici, commissioned by Charles of Borbone in the first half of the 18th century, three sundials have recently been built according to the Author's design. In 1980, two vertical sundials were placed on two facades of the castle tower in the Park of the royal palace, while in 2015 an azimuthal analemmatic sundial was built in the garden facing the Royal Palace. The hypothesis is presented about the existence in the past of another sundial on the clock tower of the Royal Palace, used as a reference for the mechanical clock.

Parole chiave

Orologio solare verticale declinante
Orologio analematico
Reggia di Portici
Torre dell'orologio
Castello del Parco Superiore

Edgardo Filippone

Università degli Studi di Napoli Federico II
Unione Astrofili Napoletani, Sezione Gnomonica
→ edgardo_filippone@yahoo.it

Introduzione

Il sito reale borbonico di Portici fu voluto da Carlo di Borbone ed i lavori presero il via nel 1738 (Sauro 2003, pp. 308-313). Esso è costituito dalla Reggia, con annessi altri edifici quali il Galoppatoio Reale e il Complesso Mascabruno, un ampio parco verso il mare in direzione del porto del Granatello, dove nell'area fu costruita la stazione terminale della ferrovia Napoli-Portici, un ampio parco di 38 ettari verso il Vesuvio nel quale fu costruito un piccolo Castello. Non ci sono prove storiche sulla causa che indusse Re Carlo di Borbone a far sorgere un sito reale a Portici, partendo da costruzioni già presenti. Secondo la tradizione, il sovrano in visita con la sua consorte Maria Amalia di Sassonia presso la villa del duca d'Elboeuf a Portici rimasero così favorevolmente impressionati dall'amenità del luogo, che decisero di farvi costruire, di lì a poco, un palazzo che potesse ospitarli come dimora ufficiale (Santoro 1959, p. 196).

Il progetto architettonico fu commissionato prima ad Antonio Medrano che poi fu sostituito dal 1741 dall'architetto Antonio Canevari, richiamato in Italia proprio da Carlo di Borbone per dare seguito, assieme ad altri architetti di fama dell'epoca, al suo ambizioso programma di opere pubbliche e di rappresentanza nel Regno di Napoli. Molti furono gli artisti coinvolti nella realizzazione delle molteplici opere, dagli affreschi alle statue, tra i quali il pittore Giuseppe Bonito, che decorò le sale del palazzo, e lo scultore Joseph Canart che, operando con marmi di Carrara, allestì le opere scultoree del parco reale (De Seta & Perone 2004, pp. 389-421).

Una serie di palazzi e dimore nobiliari preesistenti ed espropriati fece da base architettonica per la realizzazione della reggia; ciò comportò anche una serie di opere di scavo che permisero il ritrovamento di numerose opere d'arte di valore archeologico, tra cui un vero e proprio tempio con 24 colonne di marmo. Tali opere furono temporaneamente sistemate in un museo allestito per l'occasione, il Museo di Portici annesso alla Accademia Ercolanese, luogo di deposito dei reperti provenienti dagli scavi archeologici di Ercolano. La reggia è situata a cavallo della via per le Calabrie ed è protesa sia verso il Vesuvio sia verso il mare, legando le due alternative paesaggistiche in un unico asse prospettico, orientato con un azimut di 225°.

La facciata della reggia è sormontata da una torre che ospita un orologio meccanico col quadrante e le sfere replicati da entrambi i lati, in maniera da essere visibile sia verso monte sia verso mare.

I lavori nella reggia e nel parco circostante continuarono anche dopo il 1759, anno in cui Carlo di Borbone divenne Re di Spagna col nome di Carlo III. In particolare, all'interno del parco, il suo successore Ferdinando IV fece costruire il "Castello", una sorta

di piazza fortificata, progettato nel 1775 dall'ingegnere militare Michele Andrea sotto la direzione del generale Francesco Pignatelli con tanto di mura di cinta e fossato, che pare riproducesse in forma ridotta la fortezza di Capua. Esso era dotato anche di una piccola cappella e di una Torre con funzione di osservatorio. Nell'area del Castello il Re faceva eseguire alle truppe che vi erano installate le esercitazioni tattiche (De Seta & Perone 2004, pp. 389-421).

A seguito della caduta definitiva del Regno borbonico e con l'integrazione dei beni nel Regno di Sardegna poi Regno d'Italia, la reggia dal 1872 divenne sede della Reale Scuola Superiore di Agricoltura. Oggi la reggia con il parco annesso, di proprietà della Città Metropolitana di Napoli, ospita il Dipartimento di Agraria dell'Università degli Studi di Napoli Federico II e il Centro dei Musei di Scienze Agrarie – MuSA¹. Quest'ultimo raccoglie il patrimonio di reperti e collezioni degli ex Istituti della Facoltà di Agraria, dell'Orto Botanico e l'Orologio Azimutale-Analematico sistemato nel giardino verso il mare.

Ipotesi sulla presenza di un orologio solare sulla torre dell'orologio della Reggia

Sino alla fine del XIX secolo gli orologi meccanici necessitavano di frequenti aggiustamenti, che erano basati sul confronto dell'ora determinata con un orologio solare o una meridiana, in genere tracciata su un lato della struttura che regge la macchina dell'orologio. Il "temperatore" era l'addetto con lo specifico incarico di controllare il tempo vero mostrato dall'orologio solare e modificare in accordo l'ora mostrata dall'orologio meccanico. Ad esempio, una simile configurazione orologio meccanico-orologio solare si trova sulla torre dell'orologio dell'Istituto Convitto Vittorio Emanuele II in Piazza Dante a Napoli, costruito nella seconda metà del XVIII secolo. Inoltre, la vicina Basilica di Santa Maria della Natività e San Ciro di Portici presenta due campanili eretti nel 1767, l'uno portante un orologio meccanico e l'altro un orologio solare con gnomone polare, sempre con funzione di controllo dell'orologio meccanico ma anche di surroga in caso di malfunzionamento di quest'ultimo. Purtroppo, però, l'eventuale presenza di una meridiana o di un orologio solare sulla torre dell'orologio o adiacenze rimane un'ipotesi in assenza di almeno tracce sul probabile lato della torre esposto ad Est [fig. 1], in quanto l'intera area e la torre stessa sono state a loro volta soggette ad opere di restauro che verosimilmente hanno cancellato ogni presenza di una installazione gnomonica. Inoltre, l'accesso dall'interno alla torre è reso oggi particolarmente difficile in quanto non può essere fatto in sicurezza; pertanto, non è neanche certo che la macchina dell'orologio sia ancora presente nella torre.



1.

L'Orologio Analematico nel giardino della Reggia verso il mare

Nel 2015, in occasione dei lavori di risistemazione dei giardini prospicienti alla reggia, l'Autore propose di installare un orologio solare in corrispondenza dell'aiuola centrale nel giardino verso il mare, sul prolungamento della linea prospettica della reggia e, quindi, sull'asse dell'accesso alla reggia medesima e dell'esedra. Al fine di evitare ogni ingombro derivante dall'installazione di un gnomone necessario in un orologio solare orizzontale classico, che sarebbe stato un elemento estraneo all'architettura del luogo, la proposta fu di installare un orologio solare azimutale-analematico, che prevede un gnomone mobile. L'uso degli orologi solari analematici fu descritto per la prima volta dal matematico francese Jean Louis de Vaulezard nel 1640 e si fa risalire al XVI o XVII secolo, ma non ci sono indicazioni precise sulla loro origine e su chi per primo li ha adoperati.

Sul quadrante di un orologio azimutale-analematico sono tracciati:

- un arco di ellisse, sul quale sono riportate le ore in tempo vero locale;
- una linea delle date riportata sulla linea meridiana con l'indicazione dei mesi, sulla quale posizionare lo gnomone. Essendo lo gnomone-ortostilo mobile, la sua funzione può essere presa da una persona che deve posizionarsi dritta con i talloni sulla linea calendariale all'altezza della data. Questa soluzione dà la sensazione di "entrare" nell'orologio e sentirsi parte integrante del sistema di produzione dell'ora, dando quindi un valore di centralità dell'Uomo e, di conseguenza, al suo rapporto con la natura e ai fenomeni astronomici fondamentali, indispensabili per l'agricoltura. Il progetto gnomonico fu sviluppato per il sito di Portici (lat. $40^{\circ} 48' 37''$ N, long. $14^{\circ} 20' 30''$ E) nella primavera del 2015 da Antonio Coppola e Edgardo Filippone, Sezione

Gnomonica dell'Unione Astrofili Napoletani, con l'impiego del software *Orologi Solari*². L'asse maggiore dell'ellisse fu fissato in 4,10 m, l'asse minore a 2,74 m. Il progetto architettonico fu sviluppato dall'arch. Donatella Mazzoleni. Per le mattonelle rettangolari riportanti le ore vere locali in numeri arabi, dalle ore 5 alle 17 e per quelle più piccole per le mezze ore, per la linea calendariale, per gli indicatori dei mesi e dei riferimenti degli equinozi e dei solstizi e per il motto fu impiegata pietra lavica rivestita di ceramica dipinta a mano. Come motto riprodotto sull'orologio solare fu scelta la frase di Voltaire "*Il Sole è il grande orologio del mondo*". Infine, nelle vicinanze dell'orologio [fig. 2] fu installato un pannello esplicativo riportante le istruzioni per il suo uso, i dati di geolocalizzazione e gli estensori del progetto gnomonico e di quello architettonico [fig. 3]. L'orologio fu inaugurato il 15 settembre 2015 ed è oggi parte integrante del sistema museale del MuSA. Esso è visitato ogni anno da centinaia di turisti e da studenti di scuole di ogni ordine e grado in visita alla reggia oltre che dagli studenti del Dipartimento di Agraria.

Gli orologi verticali declinanti della torre del castello

Alla fine degli anni '70, lo stato del Castello nel Parco Superiore della Reggia di Portici versava in completo abbandono e parzialmente vandalizzato. A seguito di un finanziamento pubblico, furono eseguiti lavori di restauro e riqualificazione della struttura, iniziando dalla Torre e da locali limitrofi, al fine di ospitare il da poco costituito Centro di Ricerche per il Miglioramento Genetico degli Ortaggi del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Direttore il prof. Luigi Monti [fig. 4]. Su quattro delle cinque facciate della Torre era presente una cornice che delimitava un'area rettangolare in rilievo rispetto la struttura circostante, cosa che ha fatto presumere all'Autore che questi pannelli fossero quadranti di altrettanti orologi solari



2.



3.



4.

verticali declinanti. Benché all'epoca non fossero noti riferimenti o citazioni bibliografiche circa la presenza di orologi solari sulle facciate della Torre, i pannelli evocavano quelli sui quali erano stati tracciati gli orologi solari del Real Sito di Carditello, edificato intorno al 1787 da Re Ferdinando IV, posti su edifici che ricordavano la Torre del Castello. Gli orologi solari verticali di Carditello sono stati recentemente restaurati dalla prof.ssa Alessandra Pagliano.

Nel 1979 l'Autore, all'epoca partecipante al gruppo di ricerca di genetica delle piante del Prof. Monti, da appassionato di Astronomia e di progettazione di orologi solari si offrì di produrre i progetti gnomonici per il successivo tracciamento degli orologi solari negli spazi presenti. Accolta la richiesta, furono progettati e tracciati nel 1980 due orologi solari verticali declinanti nel sistema delle ore europee. Un sopralluogo accurato permise di riscontrare sui pannelli, quadranti degli orologi solari delle dimensioni di 230x130 cm, labili tracce riferibili a qualche linea oraria appena accennata; mancavano del tutto gli gnomoni e la loro posizione ed ogni altra indicazione sulla fattura degli orologi. Per la progettazione degli orologi, si rese necessario procedere alla determinazione della declinazione delle due pareti della Torre, cioè della loro deviazione rispetto al punto cardinale Sud, con il metodo del falso stilo al mezzogiorno vero locale, impiegando delle tavole accostate al muro. Risultò così che una parete era declinante di 36° O e l'altra di 29° E. Con tali valori, furono disegnati due modelli in scala per studiare il complesso delle linee orarie dei due orologi. Per il calcolo degli elementi gnomonici (equinoziale,

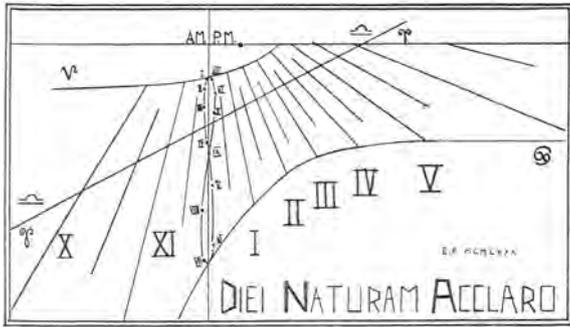
linee orarie, solstiziali, equazione del tempo alle ore 12 nel primo giorno di ogni mese) furono applicate le formule pubblicate da Gangemi (Gangemi 1869, pp. 15-18). Per il disegno, queste formule furono tradotte in un programma in linguaggio RPN per calcolatrice programmabile HP97 (Filippone 1980), col quale fu possibile determinare le posizioni degli elementi gnomonici per il tracciamento dei due orologi. Per ciascun orologio lo gnomone (ortostilo) fu ricavato da un tondino di acciaio del diametro 10 mm. Dopo il loro impianto nel muro, nella posizione risultante in base ai modelli, i due ortostili risultarono sporgenti dai quadranti, rispettivamente, di 24,7 cm e 25,1 cm. Fu poi eseguito il definitivo rilievo della declinazione dei due pannelli facendo uso degli ortostili. I nuovi valori, non lontani da quelli rilevati in precedenza, risultarono di 32,1° O e 27,4° E. Con tali valori furono disegnati gli elementi dei due orologi su carta in scala 1:1 [figg. 5, 6] in modo da consentire agli operai di tracciare tali elementi direttamente sull'intonaco messo in opera sopra i pannelli verticali. Gli elementi tracciati su ogni quadrante furono i seguenti:

- la linea verticale che indica il mezzogiorno solare locale (meridiana);
- le linee delle ore, indicate in numeri romani e delle mezz'ore;
- la linea equinoziale;
- le due curve solstiziali;
- l'analemma o lemniscata tracciato sulla linea del mezzogiorno, per indicare il tempo medio locale. Sullo stesso furono riportati, in numeri romani, i mesi dell'anno. Il disegno degli orologi fu completato con le iniziali dell'Autore del progetto e l'anno di rifacimento degli orologi in numeri romani in prossimità dei motti in latino. Una storia a sé fu la scelta dei due motti, voluti dall'Autore come elementi tipici degli orologi solari. Il Direttore del Centro di Studio del CNR pose però il vincolo che essi fossero attinenti anche ai fini delle attività di ricerca in genetica che sarebbero state svolte nel Castello. Per l'orologio solare declinante a Sud Sud-Est la scelta fu quella della frase di Lucrezio tratta dal *De rerum natura: Nihil ex nihilo*, nulla dal nulla, che ben si addice all'orologio solare oltre che alla genetica. Più laboriosa fu la scelta del motto per l'orologio che si trova sulla Torre all'ingresso del Castello. La frase risultante *Diei Naturam Acclaro*, chiarisco la natura del giorno, fu scritta dall'Autore e riportata sul quadrante in maiuscoletto al fine di far risaltare le iniziali, che danno la sigla DNA, la base biologica fondamentale della vita e degli studi di genetica, risolvendo così un caso abbastanza insolito di connubio tra scienza del Cielo e scienza della Vita.

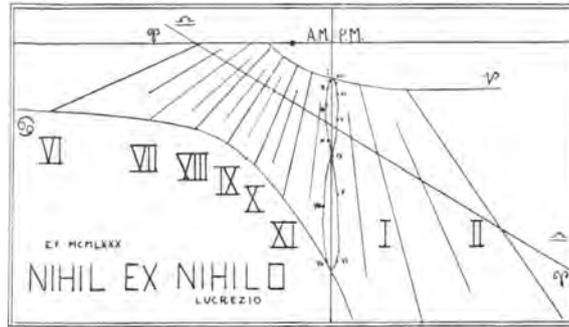
Purtroppo, a quarant'anni dal tracciamento degli orologi, le condizioni attuali mostrano un grave deterioramento dell'intonaco [fig. 7] e si rende necessario il loro recupero al più presto prima che l'intonaco si distacchi completamente. La soluzione migliore sarebbe ritracciare gli orologi su un pannello in pietra inciso con l'impiego di macchine a controllo numerico.

3. Pannello esplicativo dell'orologio azimutale-analematico (fotografia dell'autore).

4. Il Castello nel parco della Reggia di Portici. È visibile la Torre con l'osservatorio e il portone d'ingresso col ponte sul fossato (fotografia dell'autore).



5.



6.

5. Disegno dell'orologio solare verticale per un piano declinante $32,1^\circ$ O (disegno dell'autore).

6. Disegno dell'orologio solare verticale per un piano declinante $27,4^\circ$ E (disegno dell'autore).



7.

7. Stato attuale dei due orologi solari verticali declinanti (fotografia dell'autore).

Note

1. <<https://www.centromusa.it/it/>> (consultato il 10 dicembre 2024).

2. <<https://www.sundials.eu/download/download.html>> (consultato il 10 dicembre 2024).

Bibliografia

De Seta C., Perone M. (2004). La Reggia di Portici. In Fratta A. (a cura di). *Il Patrimonio architettonico dell'Ateneo Fridericiano*, 2 voll. Napoli: Arte Tipografica Editrice, II, pp. 389-421.

Filippone E. (1980). Sul metodo per la costruzione di due meridiane per il Castello del Parco Gussone di Portici – Napoli. In *Astronomia (UAI)*, n. 4, pp. 24-35.

Gangemi P. (1869). *Sulla costruzione degli orologi solari*. Napoli: Tipografia Ghio.

Santoro L. (1959) Il Palazzo Reale di Portici. In Pane R., Alisio G., Di Monda P., Santoro L., Venditti A. (a cura di). *Ville Vesuviane del Settecento*. Napoli: Edizioni Scientifiche Italiana, p. 196.

Sauro A. (2003) La Reggia di Portici. In Cantone (a cura di). *Campania Barocca*. Milano: Jaka Book, pp. 308-313.



Prospettiva
interna della
sala delle
meridiana
(nuvola di
punti di P.
Rechichi)

La misura del tempo nella Certosa di Calci: il rilievo per la conoscenza gnomonica, il restauro e la valorizzazione

Abstract

In Italia, molti orologi solari sono in condizioni critiche e alcuni rischiano di scomparire a causa del degrado di quadranti e gnomoni. Questi strumenti rappresentano preziose testimonianze culturali degli stili di vita e delle conoscenze astronomiche delle antiche popolazioni. Alla Certosa di Calci, il rilievo degli orologi solari è di fondamentale importanza per preservare queste opere e per comprendere le stratificazioni storiche utili alla loro conservazione. La presente ricerca segna dunque una prima tappa di conoscenza e intende proseguire in futuro nell'analisi di tutti gli orologi solari della Certosa, ai fini di un restauro urgente degli orologi a rischio e per verificare se nel corso dei secoli ci siano state eventuali manomissioni dello stato originale.

In Italy, many sundials are critically deteriorated and lack specific protection, with some at risk of disappearing due to damage to their dials and gnomons. These artifacts are vital records of ancient lifestyles and astronomical knowledge. Urgent restoration is needed to preserve and enhance their value, preventing the loss of gnomonic expertise. At the Certosa di Calci, surveying the sundials has been key to safeguarding them and understanding their historical layers. Findings along the meridian line suggest original decorative elements may have been displaced. This research marks a first step toward a full study of all the Certosa's sundials, aiming for urgent restoration and investigating any historical alterations, in collaboration with archaeologists and restorers.

Key-words

Meridiana
Orologi solari
Rilievo
Geometria della luce
Pisa

Alessandra Pagliano

Università di Napoli "Federico II"

→ pagliano@unina.it

Marco Giorgio Bevilacqua

Università di Pisa

→ marco.giorgio.bevilacqua@unipi.it

Piergiuseppe Rechichi

Università di Pisa

→ piergiuseppe.rechichi@phd.unipi.it

Introduzione

La Certosa di Pisa a Calci rappresenta uno dei più importanti esempi di architettura monastica della Toscana [fig. 1].

Fondata nel 1366 su iniziativa di alcune famiglie nobiliari pisane, la Certosa è stata nel tempo oggetto di importanti ampliamenti e modificazioni che restituiscono oggi un complesso sistema di fabbriche organizzate nel rispetto degli schemi tipologici propri della regola certosina, in cui gli spazi si dispongono definendo una progressiva ascesa verso il *desertum* ed il distacco dei Padri certosini dal mondo. Il grande cortile d'onore separa la correria dal cenobio e dalla chiesa che, collocata in posizione centrale, evidenzia l'asse che collega il vestibolo di ingresso al chiostro grande e alle celle dei Padri; sul lato meridionale della chiesa, gli spazi dedicati alla vita della comunità religiosa – refettorio, capitolo e cappella del colloquio – e quelli della foresteria nobile, con gli appartamenti granducali, si distribuiscono intorno alla sequenza dei chiostri minori. A questi spazi si aggiungono poi una serie di fabbriche originariamente destinate ad accogliere le attività produttive agricole che gravitavano intorno alla Certosa [fig. 2].

L'attuale assetto della Certosa si deve al priore Giuseppe Alfonso Maggi, che negli anni dal 1764 al 1797 promuove un radicale rinnovamento stilistico del monastero. Tra i lavori più significativi si annoverano: il completo riassetto delle quinte lungo il cortile d'onore, con il prospetto principale composto dalle due ali simmetriche ai lati della chiesa, la cui facciata marmorea viene allargata, innalzata e completata di statue; la costruzione del duplice loggiato sul fronte settentrionale del cortile, la realizzazione dei nuovi quartieri dei procuratori e dei fratelli conversi e la foresteria nobile nella parte meridionale del complesso; il potenziamento e il riassetto delle botteghe, degli ambienti produttivi, della farmacia e la costruzione del grandioso granaio sul lato settentrionale.

I lavori settecenteschi del priorato Maggi concludono un processo di continuo rinnovamento e ampliamento, che si registra a partire già dal primo rinascimento, evidente riflesso di una crescente ricchezza e floridezza del monastero. Nel secolo successivo, la Certosa, come altri enti religiosi, subisce due successive soppressioni, la prima del governo francese in Toscana nel 1808 e la seconda decretata dal governo italiano nel 1866. Dalla metà del secolo, gli spazi vengono gradualmente riconvertiti per diversi utilizzi. Decretata la definitiva chiusura della comunità monastica nel 1969 da parte dell'Ordine generale di Grenoble, il convento passa alla proprietà dello Stato. Dal 1972 il complesso ospita il Museo Nazionale della Certosa Monumentale di Calci e, dal 1978, il Museo di Storia Naturale dell'Università di Pisa.

Sebbene il monastero rappresenti oggi un importante polo museale, alcune delle sue aree versano in uno

stato di profondo degrado. Per far fronte a questa situazione, nel 2018 l'Università di Pisa finanzia il progetto biennale "Studi conoscitivi e ricerche per il restauro, la conservazione e la valorizzazione del Complesso della Certosa di Calci e dei suoi Poli Museali"; al progetto partecipano 22 team di ricerca, impegnati in indagini multidisciplinari tra loro coordinate e finalizzate a definire un esaustivo quadro conoscitivo del complesso, oltre a fornire linee guida per futuri interventi di restauro e valorizzazione. Già in quegli anni, si evidenziava lo stato di avanzato degrado dell'importante patrimonio degli orologi solari del complesso certosino, sebbene ritenuto secondario nel più ampio quadro di criticità rilevate. Nel solco del progetto, il presente contributo intende concentrarsi su questo importante patrimonio con l'intento di presentare i primi esiti di uno studio finalizzato alla loro documentazione, alla comprensione del loro funzionamento e alla proposta di interventi per il restauro.

A tal fine, particolarmente significativi sono stati gli esiti della ricerca storica sviluppata dal gruppo di ricerca coordinato da Ewa Karwacka – in parte pubblicati in Bandinelli et al. 2016, Bevilacqua et al. 2018, Karwacka e Stiaffini 2023 – che seppur non restituiscano specifiche informazioni sulla realizzazione degli orologi, permettono di ipotizzarne per alcuni gli anni di realizzazione. Altrettanto significativi ai fini del presente studio, la diffusa campagna di rilievo digitale eseguita dal Laboratorio ASTRO dell'Università di Pisa con tecnica integrata laser scanner terrestre e fotogrammetrica da drone, integrata ai fini del presente studio da una diffusa campagna di documentazione fotografica degli orologi solari ancora visibili e, nel caso più complesso della meridiana a camera oscura posta al secondo piano presso i quartieri dei fratelli conversi, da un rilievo fotogrammetrico tridimensionale, finalizzato a descrivere con maggior dettaglio la superficie pavimentale su cui è ancora visibile la traccia della linea meridiana¹.

Il rilievo digitale e diretto della meridiana a camera oscura

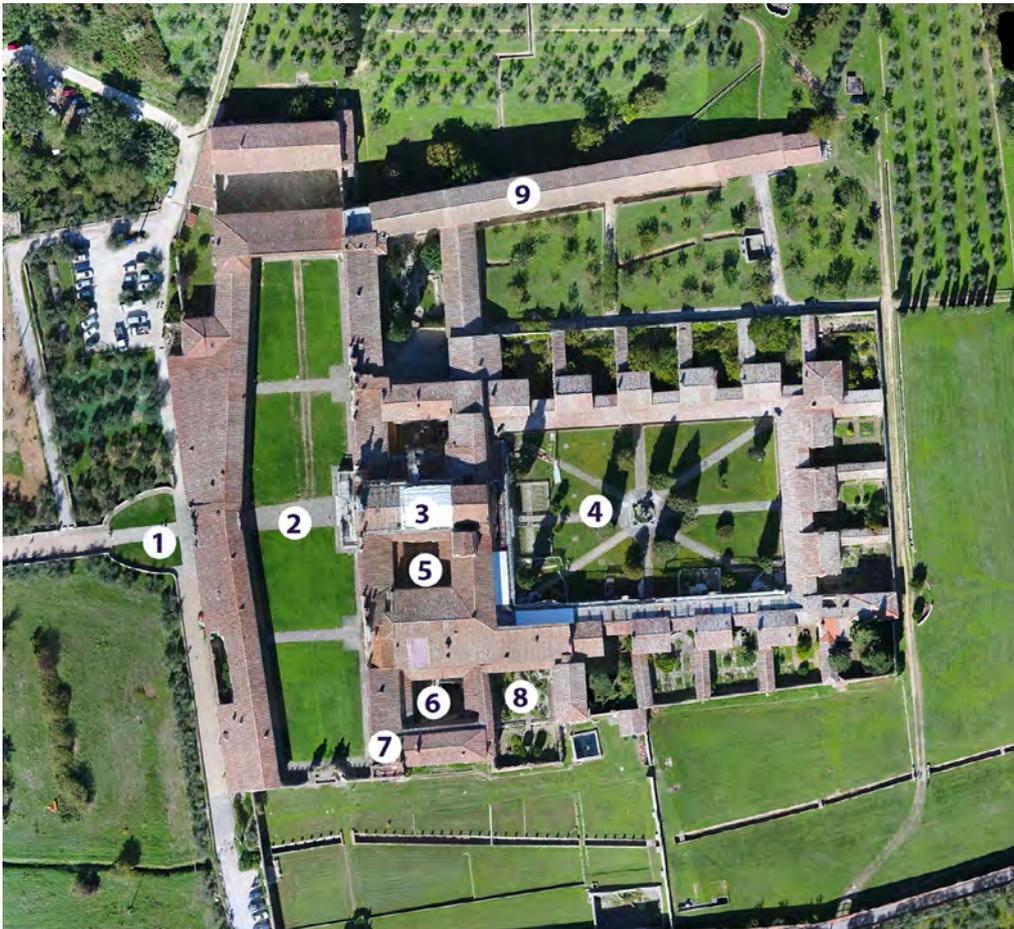
Al fine di condurre un'analisi approfondita della meridiana a camera oscura della Certosa di Calci, è stato condotto un rilievo digitale e diretto di essa, integrando i dati di rilievo digitale già esistenti. Le nuvole di punti ottenute tramite rilievo laser scanner terrestre nel contesto del già citato progetto di conoscenza e valorizzazione sono caratterizzate da una consistente decimazione dovuta alla necessità di gestire una grande mole di dati a causa delle dimensioni del complesso della Certosa di Calci e da una gestione del colore di qualità non sufficiente per una lettura di elementi di dettaglio come la linea meridiana (è stato utilizzato un Leica P20).



1.

1.
La Certosa di Pisa a Calci. Veduta della chiesa dalla corte d'onore (foto di M. G. Bevilacqua).

2.
Planimetria della Certosa. In evidenza, alcuni degli spazi:
1) vestibolo di ingresso, 2) corte d'onore, 3) chiesa, 4) chiostro dei Padri, 5) chiostro del Capitolo, 6) chiostro della foresteria nobile, 7) foresteria nobile - primo piano, quartieri dei fratelli conversi - secondo piano, 8) cella del Priore, 9) granaio (elaborazione grafica di M. G. Bevilacqua).



2.



3.

L'utilizzo della fotogrammetria è stato limitato, nello svolgimento del progetto, solo ad alcuni ambiti di maggior pregio, escludendo l'ambiente in cui è collocata la meridiana solare.

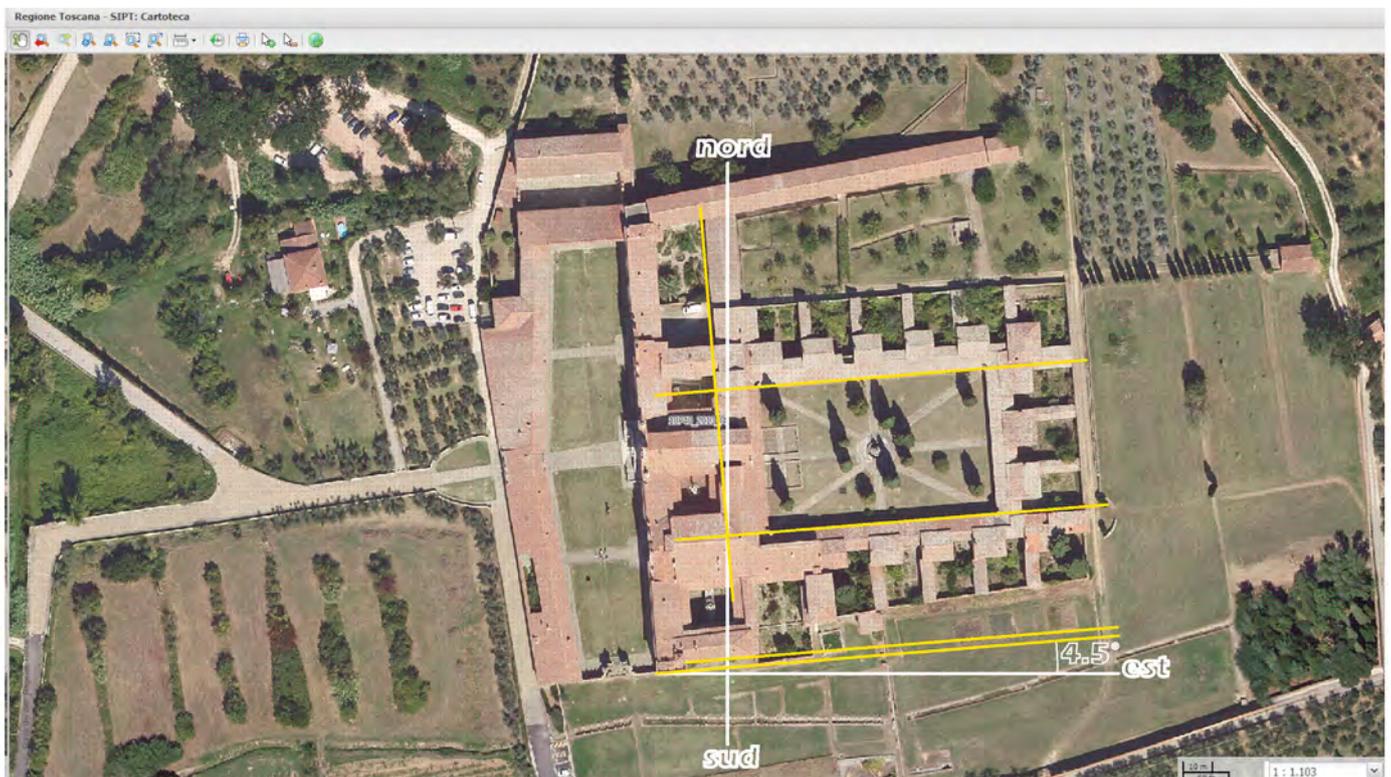
L'analisi preliminare del materiale digitale esistente ha permesso di verificare l'impossibilità di lettura della geometria della meridiana sulla pavimentazione e la difficoltà di individuare correttamente la posizione del foro gnomonico. Inoltre, solo dopo il completamento delle attività di rilievo digitale, è stata recentemente realizzata una linea in ottone che ricalca la linea meridiana. Per queste ragioni è stata operata un'integrazione fotogrammetrica da terra del rilievo digitale esistente, con lo specifico intento di realizzare un modello digitale più accurato e leggibile, che consentisse lo studio delle caratteristiche geometriche della meridiana.

Dopo aver acquisito un set di fotografie della pavimentazione e della superficie su cui è posizionato il

foro gnomonico, è stato utilizzato il software Agisoft Metashape per procedere con l'allineamento delle immagini e la realizzazione di una nuvola di punti dello spazio rilevato. Il contesto di rilievo era caratterizzato da una condizione di scarsa illuminazione e da una configurazione spaziale non ottimale [fig. 3]. La linea meridiana corre infatti su una pavimentazione in cotto all'interno di uno stretto e lungo corridoio. Per facilitare il corretto allineamento delle immagini è stato necessario avvalersi di una forte sovrapposizione dei fotogrammi consecutivi e di target a terra e sulle pareti del corridoio. Cinque punti omologhi sono stati utilizzati per garantire che l'integrazione del rilievo digitale fosse scalata e correttamente orientata rispetto al sistema di riferimento del Progetto del 2018, rendendo l'esito di questa integrazione fruibile nel quadro più ampio della documentazione digitale della Certosa.

La nuvola di punti così realizzata è stata esportata

3. In alto, nuvola di punti densa realizzata in Agisoft Metashape. In basso a sinistra, uno dei marker posizionato come punto di riferimento; le coordinate sono state estratte dai dati di rilievo TLS esistenti. In basso a destra, combinazione della nuvola di punti del rilievo TLS con quella dell'integrazione FSM (elaborazione grafica di P. Rechichi).



4.

in formato .e57 e importata in Rhinoceros per consentire operazioni di ridisegno e analisi geometrica del funzionamento della meridiana. La realizzazione di una superficie texturizzata della pavimentazione con elevato livello di dettaglio consentirà ulteriori valutazioni relative alla possibile identificazione a terra di elementi decorativi dispersi o delocalizzati. Considerata la posizione elevata del foro gnomonico, e l'angolo di presa fotogrammetrica sulla parete, il rilievo digitale non avrebbe permesso, con la sola fotogrammetria da terra, una precisa identificazione del centro del foro. Per questa ragione, è stata operata una verifica di dettaglio della posizione del foro e delle distanze della proiezione a terra del foro rispetto alla meridiana solare sulla pavimentazione tramite rilievo diretto.

Gli orologi solari della Certosa: geometrie della luce per la conservazione e il restauro

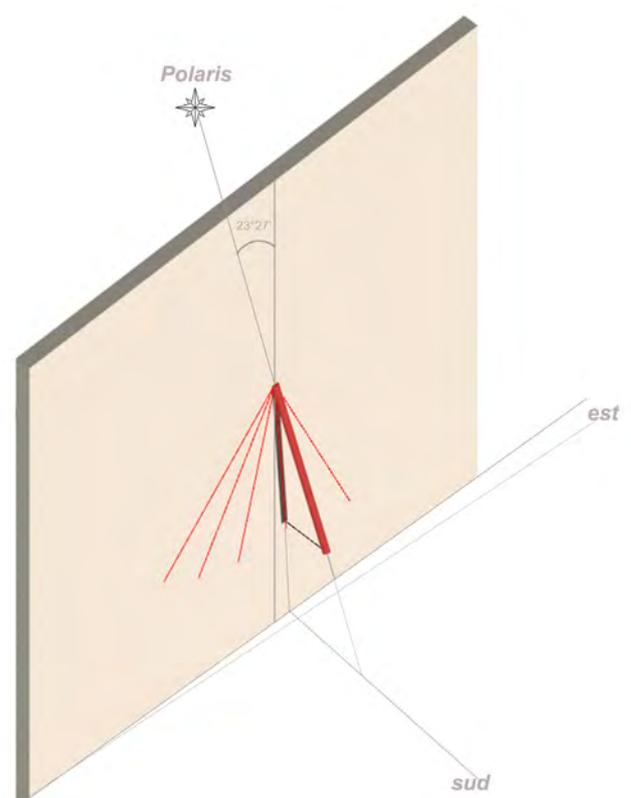
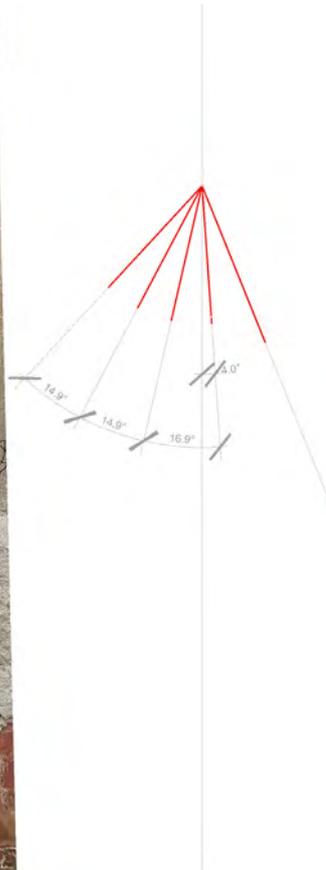
La Certosa di Calci presenta una rarissima concentrazione di orologi solari di diversa forma, tipologia e fattura, che testimonia l'attenzione della comunità religiosa verso la misura del tempo per scandire le attività diurne di ciascun monaco, caratterizzate dalla regola del silenzio. Il fine esclusivo della vita certosina è infatti la contemplazione: il monaco certosino cerca Dio in solitudine ma tale solitudine non è lo scopo finale della vita, piuttosto il mezzo per trovare una maggiore connessione con Dio attraverso la dimensione contemplativa (De Leo 2003; Brunel 2008). La separazione dal mondo esterno, ma anche dagli altri abitanti della Certosa, era assicurata dalla

clausura: di conseguenza, la cella finiva per essere un piccolo mondo a parte, autonomo, nel quale trascorrere la maggior parte della giornata dedicandosi ad attività quotidiane, meditazioni e preghiere. Solo le domeniche e durante le festività religiose sono concessi momenti di condivisione comunitaria come, ad esempio, il pranzo nel refettorio o una passeggiata libera per poter dialogare. Con scarse occasioni di socializzazione, la consapevolezza individuale dello scorrere del tempo era di fondamentale importanza per portare avanti le preghiere e i lavori della giornata. La Certosa, con la sua forma e i suoi spazi contribuisce ad armonizzare la vita solitaria dei monaci e i momenti di vita comune, determinando così le condizioni di una comunità formata da individui solitari. I rapporti con il mondo esterno vengono tenuti solo dal Priore non essendo i certosini obbligati ad attività pastorali. I momenti di vita comunitaria sono di solito tre, scanditi dal ciclo diurno della luce solare: la mattina, il vespro (ovvero trenta minuti dopo il tramonto, quando dall'imbrunire si passa all'oscurità) e la mezzanotte.

Questo legame con la variabilità della luce diurna solare e con le attività agricole da svolgersi in autonomia nel giardino della cella o negli orti comunitari, hanno determinato nei secoli una particolare attenzione dei monaci certosini verso la misura del tempo attraverso l'ombra e, dunque, con l'ausilio degli orologi solari (Pagliano et al. 2014).

L'inclinazione stessa dell'edificio, rispetto ai punti cardinali, ha permesso nei secoli il disegno e la costruzione di orologi solari quasi perfettamente orientati

4. Orientamento dell'edificio rispetto ai punti cardinali e declinazione delle pareti che contengono gli orologi solari dall'ortofoto tratta dal sito della Regione Toscana (elaborazione grafica di A. Pagliano).



5.

verso sud, denominati “non declinanti”, per i quali la linea oraria del mezzogiorno astronomico (si definisce mezzogiorno astronomico il momento in cui il Sole si trova a sud sul meridiano principale del luogo, che passa per i poli e per i punti cardinali nord e sud). Tali orologi solari risultano molto più semplici nel disegno poiché la linea del mezzogiorno viene a trovarsi in posizione verticale e costituisce l’asse di simmetria ortogonale del reticolo delle linee orarie. Lungo il muro meridionale di cinta del complesso dal quale si accede alla zona delle coltivazioni agricole, si trova un primo orologio solare inciso nell’intonaco del muro stesso [fig. 5]. Presenta solo 5 linee orarie convergenti verso il punto di infissione dello gnomone, oggi non più presente, ma che doveva certamente essere uno stilo polare, inclinato parallelamente all’asse terrestre (Pagliano 2022). L’ipotesi è anche supportata dalla presenza di un secondo foro visibile sulla parete che tradizionalmente serviva a bloccare, nella sua estremità inferiore, l’asta gnomonica inclinata. La parete è declinante verso est, di un angolo pari a 4.5° [fig. 4] e, la misura di tale giacitura, si ritrova con approssimazione dei decimali di grado nella leggera inclinazione della linea del mezzogiorno rispetto alla posizione perfettamente verticale che avrebbe avuto se la parete fosse stata perfettamente orientata a sud [fig. 5]. Le cinque ore misurate

dall’ombra dello gnomone partono dalle 9:00 fino alle 13:00, presumibilmente in relazione alle attività che i monaci avevano da svolgere nei giardini e negli orti adiacenti al muro di cinta della Certosa. La fattura del quadrante è di carattere artigianale, senza indicazione delle ore: è stata inizialmente tracciata una semicirconferenza (ancora visibile), con il centro nel punto di infissione dell’asta gnomonica. Tale curva è stata divisa in porzioni di curva sottese da angoli di 15° in modo da definire le prime due linee orarie, convergenti nel punto di infissione dello gnomone poiché ci troviamo in presenza di un sistema cronometrico ad ore francesi (quelle attuali). Tale suddivisione angolare è stata condotta a partire dalla verticale (tracciata solo come riferimento e, dunque, appena visibile nell’intonaco), che avrebbe dovuto essere la linea oraria del mezzogiorno se la parete fosse stata perfettamente orientata verso sud (parete non declinante). A partire da tale verticale si registrano i 4° della declinazione della parete, a meno dei decimali di grado, e dunque la linea del mezzogiorno si trova inclinata di circa 21° rispetto alla precedente che misura le ore 11:00. Tali piccole imprecisioni rispetto alla regola ben conosciuta dell’angolo di 15° tra due linee orarie successive dimostra la fattura artigianale del quadrante, in ogni caso ben fondata da conoscenze di

5. Geometrie gnomoniche dell’orologio solare ad ore francesi con restauro digitale dello stilo polare perduto e verifica della proiezione dell’ombra per la linea del mezzogiorno (elaborazione grafica di A. Pagliano).



6.



7.



8.

6. Resti dell'orologio solare verticale ad ore francesi lungo la parete adiacente la cella "H". Si noti la presenza di un ulteriore ortostilo superiore che proiettava la sua ombra lungo una linea meridiana verticale, oggi appena visibile (foto di A. Pagliano).

7. Porzione di quadrante solare crollata a seguito del distacco di intonaco (foto di A. Pagliano).

8. Il quadrante solare ancora integro nel 2014 (fonte: <https://cartusialover.wordpress.com/2014/03/28/le-meridiane-nella-certosa-di-calci/>).

base in merito all'angolo di declinazione della parete del quadrante. L'orologio solare, che ha già perso lo gnomone, ma di cui si conservano i fori di infissione e di stabilizzazione nella parete, è oggi a rischio di scomparsa a causa del degrado dell'intonaco nel quale è inciso. Il crollo di un'ulteriore porzione potrebbe portare alla perdita definitiva delle incisioni: pertanto è stato fatto un rilievo diretto e fotografico dal quale è stato possibile fermare la memoria dello stato attuale e proporre un restauro digitale, riposizionando lo stilo polare e verificandone la proiezione dell'ombra mediante il software Rhinoceros [fig. 5]. Un ulteriore orologio a grave rischio di dispersione è quello che si ritrova accanto alla cella denominata "H", sulla parete del giardino privato esposta a sud, che ospita altri due strumenti gnomonici, piuttosto sommariamente graffiti sull'intonaco: una linea meridiana, appena visibile a causa dell'avanzato stato di degrado dell'intonaco e un orologio solare ad ore francesi che appare incompleto, nel sopralluogo effettuato nel 2024, per il distacco di una consistente parte della superficie nella quale era stato inciso [fig. 6]: una porzione è stata recuperata e conservata a seguito del distacco, ed è quella che contiene le ore 10 e 11 [fig. 7], sempre misurate secondo il sistema cronometrico ad ore francesi, ma da altre fonti documentarie consultate, risalenti all'anno 2014 (<https://cartusialover.wordpress.com/2014/03/28/le-meridiane-nella-certosa-di-calci/>) si può osservare come

il quadrante arrivasse a misurare il tempo fino alle 4 p.m. [fig. 8].

Nel chiostro del Capitolo, troviamo il più grande orologio solare della Certosa, il cui quadrante verticale è stato dipinto lungo la sulla parete rivolta a sud est, declinante di circa 5 gradi ad est. L'orologio presenta uno gnomone orizzontale e un quadrante progettato secondo il sistema cronometrico ad ore francesi, come dimostrato dalla convergenza delle linee orarie in un punto al di sopra dell'ortostilo posizionato lungo la linea nella quale si proietta l'orizzonte del luogo [fig. 9]. La sua posizione in prossimità delle campane, come in molte altre certose italiane (cfr. Certosa di San Martino), ha portato molti storici della gnomonica a ipotizzare che potesse essere utile anche alla regolazione dei vicini orologi meccanici, i cui ancora rudimentali ingranaggi tendevano frequentemente a perdere il sincrono. Anche in questo orologio, più monumentale di quelli privati delle singole celle, viene registrata la declinazione della parete come evidente dall'inclinazione della retta degli equinozi rispetto a quella dell'orizzonte. Il quadrante, decorato con i simboli delle costellazioni zodiacali corrispondenti alle curve dei solstizi e degli equinozi, in corrispondenza delle quali avviene il passaggio tra una stagione e l'altra, presenta anche un motto al di sopra della linea dell'orizzonte



9. Orologio solare verticale, ad ore francesi, nel chiostro del Capitolo (foto di A. Pagliano).

10. Altri orologi solari orizzontali nella Certosa (foto di A. Pagliano).



10.



11.



12.

che recita in latino il monito *DE VITAE CURSU QUAE LIBET HORA RAPITUR* (ogni ora viene sottratta al corso della vita) sulla fugacità della vita umana rispetto allo scorrere del tempo. Numerosi altri piccoli orologi solari si riscontrano passeggiando nei chiostri e tra le celle della Certosa, i quali hanno subito anche moderni restauri, come dimostrato dagli gnomoni moderni che sono stati riposizionati al posto di quelli perduti, ma l'avanzato strato di degrado materico delle superfici lungo le quali sono incise le linee orarie e diurne è una severa minaccia alla conservazione della loro stessa esistenza e anche della memoria in vista di eventuali futuri restauri e dunque si reputa urgente una pulitura superficiale e un rilievo di dettaglio dei quadranti [fig. 10].

Di particolare interesse storico è un piccolo orologio orizzontale in pietra [fig. 11], in quanto presenta tre gnomoni verticali e tre schiere di rette orarie appartenenti a sistemi cronometrici differenti, quello più antico ad ore italiche (*ab occasu solis*) e quello più moderno ad ore francesi, che testimoniano gli importanti cambiamenti avvenuti nei secoli XVII-XIX in merito alla misura del tempo, sia nell'abbandono di tali dispositivi quando venne adottato ufficialmente il Tempo Medio, ovvero quello degli orologi meccanici (Pagliano 2022). Gli orologi della Certosa di Calci sono un bene culturale capace di narra-

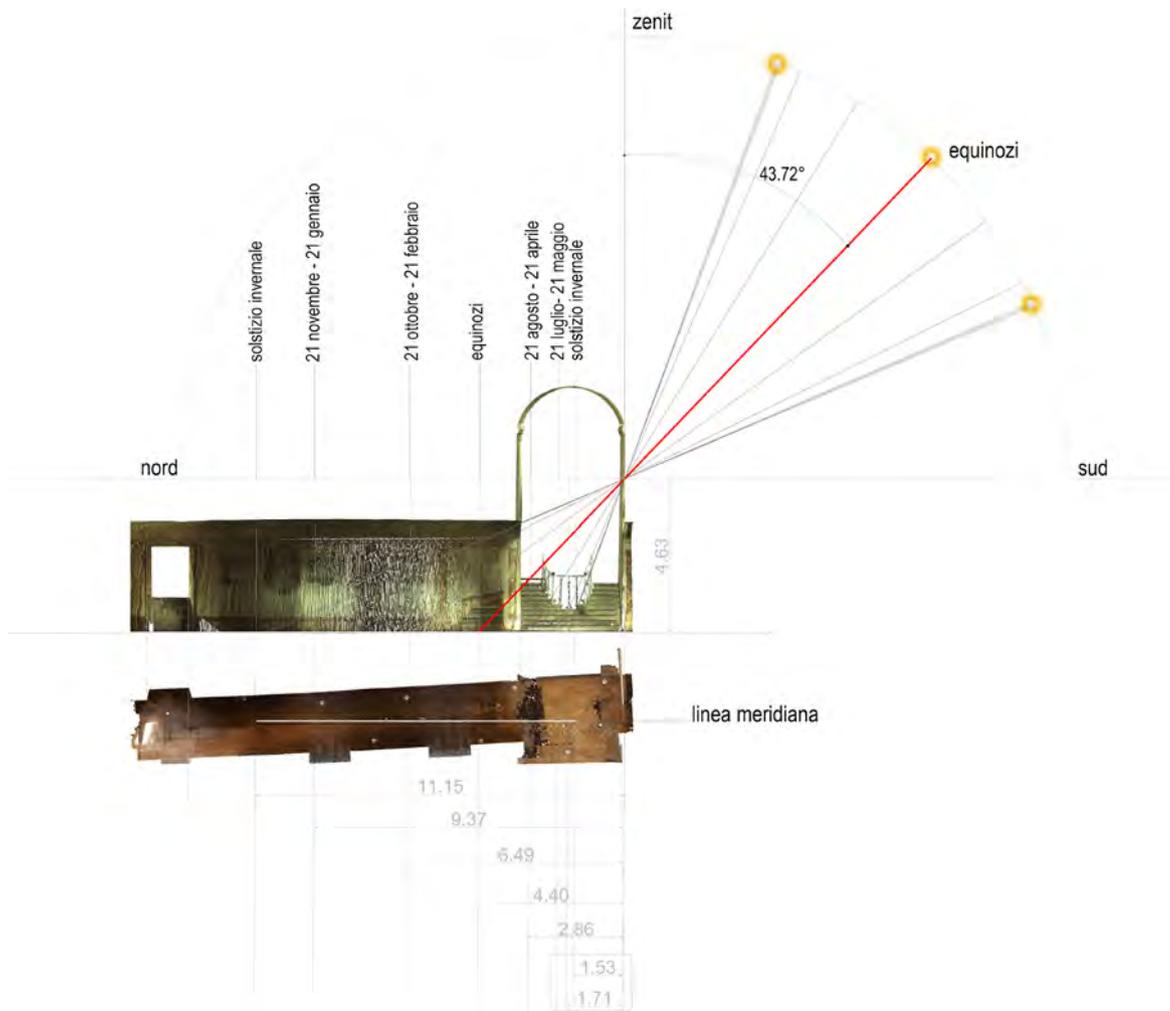
11. Lastra di pietra con la sovrapposizione di numerosi quadranti solari e gnomoni: le linee incise nella pietra presentano sistemi cronometrici multipli. La lastra è ruotata rispetto al muretto della Certosa per ottenere la perfetta orientazione a sud del quadrante (foto di A. Pagliano).

12. Foro eliotropico o gnomonico della meridiana a camera oscura (foto di A. Pagliano).

13. Dettaglio della bacchetta di ottone incastonata nel pavimento che ricalca la linea meridiana: il punto di intersezione con la seconda bacchetta di ottone segna la posizione degli equinozi (coincidenti) di primavera e d'autunno (foto di A. Pagliano).



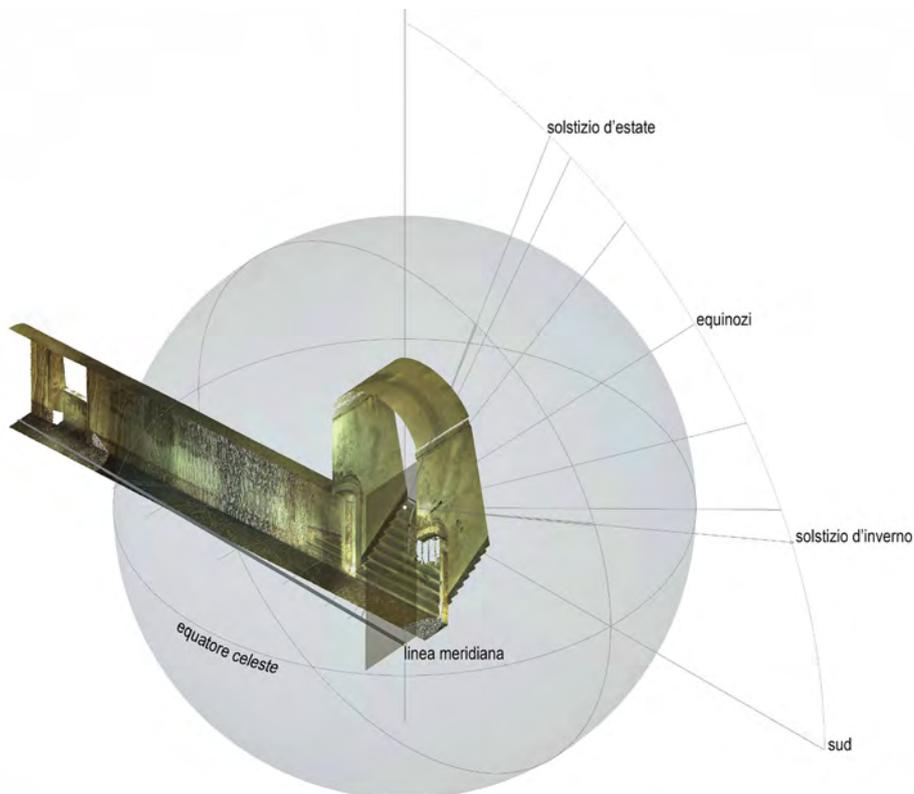
13.



14. Geometrie annuali della luce lungo la linea meridiana. Si noti lo scarto di circa 20 cm tra me le misure evidenziate dal riquadro: le due quote nel riquadro mostrano rispettivamente l'inizio della bacchetta d'ottone così come da rilievo diretto in situ e il punto in cui geometricamente viene a collocarsi il solstizio d'estate in base alla sfera celeste disegnata per la latitudine di Calci (elaborazione grafica di A. Pagliano).

15. Sezione assonometrica della nuvola di punti con la sfera celeste relativa alla latitudine di Calci per l'individuazione dei coni di luce entranti nel foro eliotropico (elaborazione grafica di A. Pagliano).

14.



15.

re della vita interna della Certosa, delle modifiche architettoniche in seguito a modificazioni interne e restauri, dei cambiamenti cronometrici e calendariali avvenuti in quei secoli in Europa, oltre a fornire informazioni astronomiche di interesse scientifico e di grande valore didattico.

La Certosa, negli ambienti interni collocati al secondo piano nei pressi dei quartieri dei fratelli conversi, contiene anche una linea meridiana, a camera oscura, incastonata in un pavimento a mattonelle di cotto di colore bruno, appena evidenziata grazie a una linea di ottone di recente realizzazione che la ricalca, senza alcuna ulteriore indicazione né calendariale né astronomica. Per tale ambiente è stato operato il rilievo digitale e diretto descritto nel precedente paragrafo, a valle del quale è possibile fare alcune considerazioni in campo gnomonico e geometrico. La meridiana – la cui realizzazione è da riferirsi probabilmente agli anni del priorato Maggi – viene illuminata dalla luce del Sole passante attraverso un foro gnomonico (o eliotropico) dal diametro di 1,4 cm [fig. 12] posizionato sulla parete meridionale dell'ambiente, a una quota di 4,63 m dal piano di calpestio. Tali rapporti geometrici permettono la creazione dell'effetto "camera oscura" (Ferrari 2006) all'ingresso della luce attraverso il foro, con la conseguente formazione dell'immagine del Sole ribaltata lungo il pavimento, nella forma di una ellisse il cui asse maggiore è di circa 26 cm. La linea meridiana inizia con il primo estremo corrispondente

al solstizio d'estate a una distanza dalla base della parete di 1,6 m e si sviluppa per una lunghezza di 9,6 m fino al solstizio d'inverno all'estremo opposto, termine della porzione di linea che può essere illuminata dalla proiezione del Sole alla latitudine di Calci (43,72N). Il punto della linea corrispondente ai due equinozi di primavera e di autunno, caratterizzati dalla medesima posizione del Sole sulla sfera celeste utilizzata come modello geometrico di studio, è segnalato dall'intersezione con una ulteriore linea di ottone incastonata nel pavimento e dista 4,4 m dalla parete che contiene il foro eliotropico [fig. 13]. L'analisi gnomonica della nuvola di punti [figg. 14, 15], validata da un rilievo diretto *in situ* di estremo dettaglio eseguito da P. Rechichi, ci ha permesso di verificare il buon funzionamento annuale della meridiana, individuando su di essa i punti solstiziali ed equinoziali, oltre a posizionare geometricamente anche gli altri punti nei quali, mese per mese, il Sole entra nella costellazione zodiacale successiva, che corrispondono all'incirca al 20-21 di ogni mese. Lungo la meridiana le indicazioni di tali mesi intermedi sono oggi assenti. Tuttavia, dall'analisi diretta delle piastrelle del pavimento, operata in fase di sopralluogo nel 2024, sono stati individuate alcune tracce di possibili alloggiamenti di placchette decorative, particolarmente evidenti in corrispondenza del solstizio estivo, dove avrebbe dovuto essere riportata sul pavimento la costellazione del Cancro [figg. 16,17].

16. Dettaglio della linea meridiana in corrispondenza del solstizio d'estate: si noti la traccia incisa nel pavimento esattamente in corrispondenza della posizione di una eventuale (e possibile) indicazione della costellazione zodiacale del Cancro (foto di A. Pagliano).

17. Tracce di una possibile decorazione accanto alla linea meridiana (foto di A. Pagliano).



16.



17.

Conclusioni

Unici tra i beni culturali a non godere di particolari tutele nella conservazione e nel restauro, molti orologi solari versano in Italia in cattivo stato di conservazione ed alcuni sono a rischio di totale scomparsa a causa di pericolosi fenomeni di degrado materico dei quadranti e degli gnomoni. Gli orologi solari sono una preziosissima testimonianza culturale degli stili di vita delle antiche popolazioni che li costruivano per scandire il tempo diurno e annuale delle proprie attività. In particolare, le meridiane sono anche una testimonianza delle conoscenze astronomiche del tempo, quando in assenza di strumenti di osservazione del cielo tecnologicamente avanzati, l'astronomia di posizione si basava interamente sulle geometrie della luce. Questi beni sono dunque da salvare urgentemente con azioni di restauro. Allo stesso tempo, salvare un orologio solare è un'azione strettamente connessa alla sua valorizzazione, azione indispensabile per la progressiva dispersione delle conoscenze in campo gnomonico. Nel caso specifico della Certosa di Calci, il rilievo degli orologi solari è un'azione necessaria e urgente per la salvaguardia queste preziose opere del patrimonio culturale, che

fonda le basi scientifiche per la lettura interpretativa delle stratificazioni storiche di quei beni ai fini della conservazione e del restauro. Sono state infatti ritrovate, lungo la linea meridiana, ulteriori possibili alloggiamenti di placchette decorative, mentre altri ancora, molto simili, si ritrovano in posizioni accidentali: si intende, dunque, analizzare ulteriormente le tracce materiche presenti alla luce dell'analisi del funzionamento gnomonico della meridiana in collaborazione con archeologi e restauratori specializzati, al fine di comprendere se le piastrelle che le contengono possano aver subito improprie rimozioni nei secoli, in assenza di un sapere esperto in gnomonica che ne guidasse la ri-collocazione.

Crediti e ringraziamenti

Sebbene il saggio sia il frutto di un lavoro di ricerca congiunto, Marco Giorgio Bevilacqua è l'autore della "Introduzione", Piergiuseppe Rechichi è l'autore del paragrafo "Il rilievo digitale e diretto della meridiana a camera oscura" e Alessandra Pagliano è l'autrice del paragrafo "Gli orologi solari della Certosa: geometrie della luce per la conservazione e il restauro" e "Conclusioni".

Note

1. "Studi conoscitivi e ricerche per il restauro, la conservazione e la valorizzazione del Complesso della Certosa di Calci e dei suoi Poli Museali", progetto di ricerca biennale finanziato dall'Università di Pisa, coordinatore Marco Giorgio Bevilacqua. Ai fini del presente studio, si è fatto riferimento agli esiti dei seguenti Work Packages sviluppati all'interno delle attività del progetto di ricerca: WP.02. Analisi storico critica, responsabile Ewa Karwacka, con la

collaborazione di Paolo Bertoncini Sabatini, Laura de Salvo, Denise Italia, Elisabetta Pozzobon, Daniela Stiaffini; WP.05. Rilievo architettonico e monitoraggio topografico, responsabili Marco Giorgio Bevilacqua, Gabriella Caroti, Andrea Piemonte, con la collaborazione di Andrea Bedini, Isabel Martinez, Claudio Iozzia Maddaleno, Massimo Casalini, Roberto Rinaldi, Valeria Croce, Giammarco Montalbano, Piergiuseppe Rechichi.

Bibliografia

- Brunel H. (2008). *Piccola introduzione alla vita monastica*, Torino: Lindau.
- De Leo P. (a cura di) (2003). *L'Ordine certosino e il papato dalla fondazione allo scisma d'Occidente*, Soveria Mannelli (CZ): Rubbettino Editore.
- Pagliano A., Murolo R., Santoro L. (2014), *Disegnare il tempo. Rocco Bovi e gli orologi solari della Certosa di San Martino*, Roma: Aracne.
- Pagliano A. (2022). *Le ore del Sole. Geometria e astronomia negli antichi orologi solari romani*. Roma: Paparo ed.
- Ferrari G. (2015). *Formule e metodi per lo studio degli orologi solari piani*. Youcanprint, ISBN 8891179361
- Ferrari, Gianni, *L'immagine del Sole nelle meridiane a camera oscura*, in *Giornale di astronomia : rivista di informazione cultura e didattica della Società Astronomica Italiana* : 32, 1, 2006, pp. 1-9
- Bandinelli A., Bevilacqua M.G., Karwacka E. (2016). *Il disegno di rilievo come strumento di indagine: il caso della Certosa monumentale di Calci*. In *Le ragioni del Disegno: pensiero, Forma e Modello per la Gestione della Complessità*, Atti del 38° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione. pp. 63-68. Roma: Gangemi Ed. ISBN: 978-88-492-3295-0.
- Bevilacqua M.G., Fedeli A., Capriuoli F., Gioli A., Monteleone C., Piemonte A. (2021). *Immersive Technologies for the Museum of the Charterhouse of Calci*. In: A. Giordano, M. Russo, R. Spallone (eds.), *Representation Challenges. Augmented Reality and Artificial Intelligence in Cultural Heritage and Innovative Design Domain*. Milano: Franco Angeli. pp. 167-171. ISBN digital edition: 9788835125280. ISBN printed edition: 9788835116875. DOI: 10.3280/oa-686.26.
- Bevilacqua, M.G.; Karwacka, E.W.; Landi, S. (2018). *The Charterhouse of Calci. Iconographic and cartographic evidences of the monumental complex and the role in its territorial context*. In: F. Capano, M.I. Pascariello, M. Visone (eds.), *The Other City: History and image of urban diversity: places and landscapes of privilege and well-being, of isolation, of poverty, and of multiculturalism*, pp. 153-163. Napoli: FedOA - Federico II University Press. ISBN: 978-88-99930-03-5
- Karwacka E., Stiaffini D. (2023). *A tavola con i certosini nella seconda metà del Settecento. La Certosa di Pisa dall'austerità alla magnificenza*. Pisa, Edizioni ETS. ISBN: 9788846766083.



The Dome of Santa Maria del Fiore (the Duomo) Florence, designed by Filippo Brunelleschi and built 1420-36 (photo by Valerie Shrimplin).

Domed architecture as image of the Universe

Abstract

Domed architecture significantly brings together architecture, astronomy and geometry, but its origins are untraceable to a single point of origin, in time or place. More than a functional type of vaulting, the cosmic symbolism of the dome is basically imitative of natural eye observation of the flat earth surmounted by the 'dome of Heaven'. Of ancient origin, this underlying spiritual and symbolic meaning is fundamental to its usage in ancient classical-pagan, Judaeo-Christian and Islamic architecture. Revived during the Italian Renaissance, it remains significant up to the present day.

Le strutture architettoniche sormontate da cupole combinano armoniosamente architettura, astronomia e geometria, ma le loro origini non possono essere ricondotte a un unico luogo o momento storico. Oltre alla sua funzione strutturale, la cupola possiede un forte simbolismo cosmico, ispirato alla percezione naturale dell'occhio umano, che vede la terra piatta sovrastata dalla "volta celeste". Questo significato spirituale e simbolico, di antichissima origine, è stato centrale nell'architettura classica-pagana, giudeo-cristiana e islamica. Riscoperta durante il Rinascimento italiano, la cupola continua a mantenere la sua rilevanza fino ai giorni nostri.

Key-words

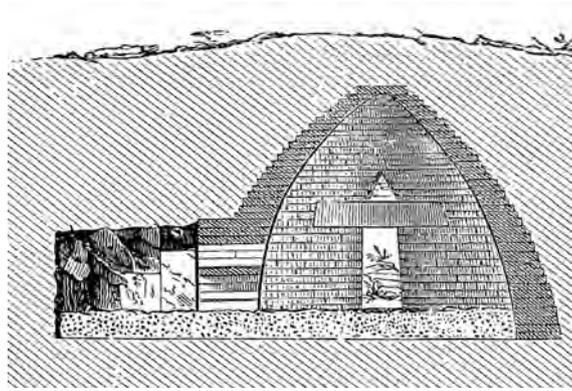
Domes
Heavens
Cosmology
Architecture
Geometry

Valerie Shrimplin
→ vshrimplin@gmail.com

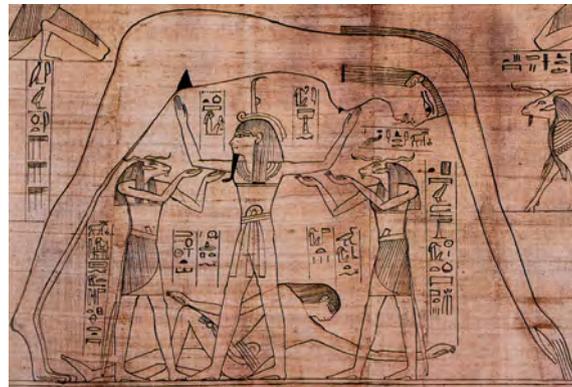
Introduction

The origins of domed architecture are untraceable to a single point of origin, in time or place. Primitive constructions or shelters, based on the use of flexible materials tied at the top, have been found in early civilisations and are still in use in some primitive societies today. Underlying symbolic meaning cannot be argued for these simple structures, although they provided the basis for the eventual spiritual tradition and symbolic importance of the dome. More than a functional type of vaulting, the cosmic symbolism of the dome relates to humanity's relationship with the Earth beneath and Sky above. The model is basically imitative of natural eye observation of the flat Earth surmounted by the 'dome of Heaven' which is of ancient origin and fundamental to its usage in ancient classical-pagan, Judaeo-Christian and Islamic architecture. Indeed, the Roman architect Vitruvius, in his *Ten Books of Architecture*, specified that it is essential for all architects to "be acquainted with Astronomy and the theory of the Heavens". He refers to ancient astronomers and defines the Universe as "the general assemblage of all nature, and it also means the Heaven that is made up of the constellations and the courses of the stars" (Vitruvius 1960 ed., pp. 6, 249-277). Cosmic symbolism of the dome had its roots in classical architecture in Egypt, Greece and Rome; was of prime importance in Christian architecture; revived during the Renaissance; and remains significant up to the present day.

The point at which architectural domes, irrespective of the material used, assumed special symbolic significance is hard to determine. Discussion of domes tends to emphasise construction and development, as well as the variety of forms, ranging from shallow to hemispherical to 'beehive' or 'onion' domes that may be placed on or over cylindrical, square or more complex buildings (Osborne ed. 1993, pp. 320-322; Bannister Fletcher 1975 ed., pp. 269f., 378f., 823, 842). Materials were significant as early wooden domes came to be replaced by structures of brick and masonry, not simply for utilitarian reasons (such as fireproofing) but due to some inherent or symbolic or spiritual meaning. Constructional developments appear to have been sought as the result (not the cause) of the spiritual associations. The opposite scenario whereby having achieved the construction of masonry dome, the architects and their secular or ecclesiastical patrons then hunted around for some form of symbolic attribute for it, seems far less likely. Cultural reasons, relating to the symbolic shape of the dome, must have provided the impetus, whether divine, celestial or royal. The ideology seems to pre-date the domical vault as the earliest structures gradually took on a ceremonial function as an ancestral or lordly home, a place of audience, or the eternal memorial or dwelling house for the dead. The ear-



1. Treasury of Atreus, Mycenae, 1325 BCE (Wikimedia Comms; public domain).



2. The Sky-goddess Nut in the Greenfield papyrus of Nestanebetisheru, *Book of the Dead*, c. 950 BCE (Wikimedia Comms; public domain).

liest stone, domed structures for which evidence survives seem to be those in the Neolithic settlement of Choirokoitia in southern Cyprus, dating from the sixth millennium BC. (Phylactopoulos 1974, pp. 85-87). Comparisons may be made with modern primitive constructions, still built according to ancient tradition but of less durable materials.

The Ancient, Classical Vision

In the architecture of ancient Greece, the dome is clearly more than a functional vaulting device and its symbolic meaning dates back to early Greek tholos (*θόλος*), tombs signifying the dome or cupola of a circular building, hence the building itself (Phylactopoulos 1974 ed., p. 315). One of the best-known early examples is the *Tomb of Agamemnon* ('*Treasury of Atreus*') of the second millennium BCE at Mycenae in the Peloponnese [fig. 1].

The form of the tomb might well derive from an ancient association between the dead and the symbolism of the circle which generates the dome and signifies eternity. The metal 'rosettes' that studded the vault suggest stars, and the emphasis on circular cosmology and associations with the dead are reinforced by contemporary references in Homer and Hesiod (Homer *Iliad*, XVIII, 483-489; Homer *Odyssey*, V, 270-74; Hesiod, *Theogony* 1964 ed., pp. 85-95). As Baldwin Smith demonstrates, most early civilisations had domical schemes that originated



3.

in the use of pliable materials but came to be imitated in masonry for ideological reasons (Baldwin Smith 1950, p. 6f). While much classical Greek architecture based on the post and lintel system did not lend itself to domed structures, circular buildings were popular in classical Greek times, exemplified by the *Tholos* at Delphi (c 400 BCE). Little is known about the roofing of these structures, although records of destruction by fire suggests wooden roofing. The cosmological significance becomes clear since Delphi was considered to be the centre of the Universe - 'the omphalos' (navel of the Earth). Greek writers speculated on the shape of the Earth from the sixth century BCE onwards, and presocratic philosophers like Thales of Miletus and Anaximander considered the Universe to be circular (either a disc or sphere), while Pythagoras maintained that the world must be in the most perfect form of a sphere (Guthrie 1962, vol. I, pp. 89-100, 132-37, 282-300). The writings of Plato (especially the *Timaeus*) and Aristotle (*De Caelo*) provided the foundation for later Greek cosmology and were of enormous influence throughout medieval and Renaissance Europe.

In ancient Egypt, the perception of the Universe was indicated by images based on the flat Earth concept as the sky goddess *Nut* represents the celestial vault stretching from horizon to horizon with the stars above her [fig. 2] (Frazer 1996, p. 217; cf.

Hesiod, *Theogony*, 176-78). The identification of the arch form with the curve of Heaven also relates to the ceremonial importance of the King's dwelling or meeting place.

Roman Domes

The Romans based their architecture on arcuated structures and were able to span enormous spaces with the use of concrete and arches (Baldwin Smith 1956, pp. 12-13). The height of the *Pantheon* in Rome (AD 126) [fig. 3] is the same as the radius of the dome which is placed on a cylindrical building, supported by immense walls. There is no doubt about the cosmic overtones since the contemporary Dio Cassius records that the very name of the *Pantheon* was related to the twelve classical gods of ancient mythology. He also comments that "because of its vaulted roof, it resembles the heavens" (Dio Cassius 1917, p. 27). Meaning, rather than solutions to constructional problems, seems to have inspired such monuments. In Greece, the *Rotunda* in Thessaloniki (built in 300 CE and converted to the Christian Church of St. George, c 400) relates in design to the *Pantheon* in Rome, with its hemispherical dome. In Rome itself, a cupola decoration in the *Golden House of Nero* (*Domus Aurea*) had an eight cornered canopy surrounding a central circle with Jupiter depicted on clouds and cosmic overtones are

3.
Pantheon, Rome,
126 CE
(photo by V.
Shrimplin)

clear in other vaults from the same building with astronomically decorated cupolas. Nero was aware of the astronomical implications of the dome and had a banqueting hall with a domical Heaven that "went round day and night like the world" (Baldwin Smith 1956, pp. 6-11, 123). The Roman domed celestial baldachin over the great *Altar of Zeus* at Pergamon, depicted on a coin of Septimus Severus, shows the altar of the supreme sky god and clearly has celestial meaning (Baldwin Smith 1950, p. 106; Kleinbauer 1971, pp. 227-70).

Biblical sources and Christian architecture

Roman building techniques were imitated and the dome was frequently used in pagan design, such as the dome covering the temple of the sky god, *Marnneion* at Gaza, 130 CE (Baldwin Smith 1950, p. 14ff). However, the concept of the dome of heaven and its transference to ecclesiastical architecture was crucial. In the Judaeo-Christian tradition, the links between cosmology and theology are clear from *Genesis I*. In the *Old Testament*, God is viewed as the architect or creator of the physical Universe who "sitteth upon the circle of the Earth" and "stretcheth out the heavens as a curtain and spreadeth them out as a tent to dwell in" (Isaiah 40:22, Psalm 104, Jeremiah 10:12). This clearly provides the basis for the view of the flat Earth covered by Heaven's dome, and Jerusalem was regarded as the centre of this flat-Earth system (Ezekiel 5:5)¹.

The concept of the Universe with heaven above and hell beneath the Earth's surface is reinforced throughout the *Scriptures*. Cosmological concepts were reflected in art and architecture and ideas carried over into church construction and decoration, underpinning much of the architecture of the eastern Mediterranean during the Early Christian and Byzantine periods. The shape of the *Holy Tabernacle* (Exodus 25-27) was rectangular with a curved roof, twice as long as it was wide. The Earth was held to be the same shape (Koestler 1984, pp. 92-93). The proportions of the *Temple of Solomon* were founded on the same concept (I Kings 6) and the *Sistine Chapel* in Rome was built to the same proportions in imitation (Shrimplin 2000, pp.13-14).

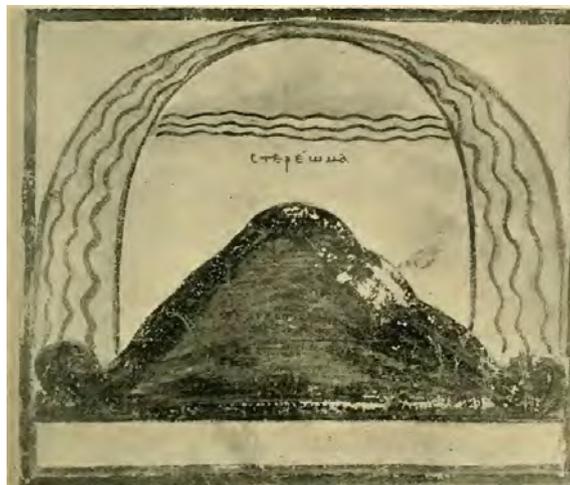
Early examples are found in mausolea and martyria rather than in large churches where the Roman basilican type was often adopted. The circular plan, with its connotations of perfection, symmetry and eternity, was more commonly used for edifices relating to death or commemoration. Precise shapes varied from hemispheric, shallow, onion, pine-cone, cosmic egg or 'heavenly bowl'. The actual word for dome derives from *domus* used in Greek and Latin to signify a house or dwelling and, later, with the precise meaning of roof or cupola. From this, in time, was derived the word dome which in Chri-



4. Mausoleum of Galla Placidia, Ravenna, 425

(Wikimedia Comms/unknown author, licensed under the Creative Commons attribution share-alike international licence (4.0)).

5. The Universe in the *Christian Topography* of Cosmas Indicopleustes, sixth century (Wikimedia Comms/Kmorozov 2012; Public Domain).



5.

stian terms came to signify the ceremonial meeting place or cathedral (*duomo* in Italian; *dom* in German). Little remains of very early Christian domed structures, although evidence suggests wooden domes, painted in blue and gold to signify the heavens. The type is shown on an early ivory at the *John Rylands Library* Manchester that demonstrates the celestial overtones (Baldwin Smith 1950, p. 114). Increasingly durable construction, influenced by Roman vaulting, led to more churches being built with official approval. Domes had been used in Syria and there was a very solid tradition of domed churches in the *Holy Land*. Further impetus was gained as Christianity became the official religion of the Roman empire (313) and the Emperor Constantine created his new capital at Byzantium (renamed Constantinople, 330). At the same time, the *Holy Sepulchre* at Jerusalem (326-335) was first built as a circular commemorative type erected by Constantine as memorial tomb of Christ. It was

likely to have possessed a starred wooden dome rather than masonry due to lack of evidence of buttressing. Other examples of wooden domes include Antioch (327 and 526-88); *The martyrrium of Gregory of Nazianzus* (374), and *The martyrrium at Nyssa* in Cappadocia (379) (Baldwin Smith 1950, pp. 29ff, 218-227).

Early Christian and Byzantine

During the Early Christian and Byzantine period, architecture was used to heighten theological concepts, particularly at a time when many were poorly educated or unable to think abstractly and spiritually. Ecclesiastical authorities used architecture to produce the vision of heaven on Earth in richly decorated churches. A leading example with obvious celestial overtones, is the *Mausoleum of Galla Placidia* at Ravenna (425) [fig. 4] (Incerti 2018, pp. 181-189; Incerti 2019, pp. 492-505). Here the heavenly dome is signified by stars, showing a heavenly starred vault over a tomb as visible proof of the heavenly home of the departed soul. The idea of an other-worldly cosmic paradise is also emphasised by the surrounding images of the sylvan paradise with animals and the fountain of life. Domed vaults in the catacombs in Rome contained images of Christ in paradisaic settings linked to pagan Roman traditions as in Virgil's *Eclogues*. The dome mosaic of the fifth century martyrrium at Casaranello also has celestial overtones (Baldwin Smith 1950, fig. 71; Hautecoeur 1954, pp. 205-210). The difficulty of placing a circular dome on the square crossing of a cruciform church shows the determination of the architects, aiming to 'square the circle'. At *San Vitale* in Ravenna, the constructional problem of surmounting the octagonal church with a dome was solved by using lightweight hollow pots to alleviate the immense stress. Christ is shown seated on the sphere of the Universe in the semi-dome of the apse. By the sixth century, the order of the Universe had been codified in hierarchical ascending and descending order, linking the celestial and terrestrial systems. The church was a microcosmos of the macrocosmos, a mystical replica of the Universe, as explained by Pseudo-Dionysius, the Areopagite, whose *On the Celestial Hierarchy* and *On the Ecclesiastical Hierarchy* related the ordering of the Universe to the order of the Church on Earth (Lovejoy 1936). The influence of the cosmological view of the Universe on art and architecture is demonstrated by the *Christian Topography* of the monk Cosmas Indicopleustes, active in the sixth century. He provided an account of the Universe, summarising the cosmology of the scriptures and early church fathers. The *Christian Topography* is particularly significant since it is illustrated with diagrams, and that of the Universe [fig. 5] clearly demonstrates

the idea of the heavens as a dome, echoing other drawings of the Universe in the same manuscript (Cosmas Indicopleustes 1968; Ainalov 1961, p. 33f). Cosmas' views were not official doctrine but held by many (Koestler 1984, pp. 92-94; Kuhn 1957, p. 108). Based on the fundamental concept of an 'up for heaven' and 'down for hell' approach, curved and domed vaults (often star-covered) recur frequently in Early Christian and Byzantine architecture from Ravenna to Constantinople.

The sacred and celestial aspects of the dome were increasingly refined in Byzantine cross-in-square Churches. For example, the sheer size of the massive dome of *Sta. Sophia* in Constantinople, built 532-37, (32.6 metres across and 54.8 metres high) adds to its dramatic and spiritual effect. A contemporary, Procopius, described its dome: "overlaid with pure gold and rests with apparently little support, seeming to 'float on the air'; it appeared as if suspended by a chain from Heaven" (Procopius 1971 ed., pp. 46-47, 21f). As with most Byzantine church architecture, the exterior decoration of *Sta. Sophia*, in continuous use until 1453, is rather less impressive than the interior, the prime aim being to create an other-worldly effect for those entering the building.

Byzantine mosaic schemes of decoration reflect the religious, political and social ordering of the Church on Earth. The use of a cupola or dome is invariably part of any formal Byzantine scheme and, as Demus expresses it, represents "the image of the changeless and celestial world set over the earthly sphere of the ground plan" (Demus 1948, p.12). The cross-in-square church represents an image of the Universe and "[...] the dome represented Heaven" (Krautheimer 1965, pp. 201-213, 344). It is essentially based on a hanging architecture as vaults appear to depend from above, with the dome symbolising heaven and other areas representing a descending hierarchical order down to the earthly zone of the lower walls. Figures of saints and angels are placed according to 'rank', with the Virgin Mary occupying the conch of the apse as the bridge between heaven and earth. The schemes also closely correspond to the liturgy and the calendar of the Christian year with the recurring flow of events circling around the centre - an eternal motion related to that of the heavens (Demus 1948, pp. 14 -17). In the mid-Byzantine period (9th-12th century) the dome was reserved for subjects with cosmic overtones such as the *Ascension*, *Pentecost* or *Pantocrator*, often with a rich gold mosaic background, symbolising infinity. At Hosios Loukas (begun 1020) and Daphne (1080) in mainland Greece, such schemes are strictly followed as proof of the existence of the heavenly realm above. From the depiction of the *Pantocrator* in the dome to the rich gold mosaic



6. St. Mark's, Venice, Creation Dome, mosaic, 12th century (Wikimedia Comms/ Derbrauni; licensed under the Creative Commons attribution international licence (4.0)).

6.

backgrounds, the cosmic allusions are clear (Demus 1948, pp. 56-61).

The Italo-Byzantine church of *St. Mark's*, built in Venice 1063-85, owes to both eastern and western traditions. The mosaic decoration (twelfth-century) emphasises the cosmic significance of its multiple domes, and subjects with cosmological and astronomical significance were included. The *Pantocrator* in the main dome has clear astronomical references with concentric rings of stars; the north dome includes references to the points of the compass that would have had special significance for the Venetians as a seafaring nation reliant on stars for navigation (Demus 1988, p. 93). Even more spectacular are the domes with the creation cycle, based on *Genesis I* [fig. 6] cosmology. The creation story, from the separation of light and dark, to the formation of the Sun, Moon and Stars, transports the worshipper from earthly reality to the heavenly realm above, reflecting the relationship between humanity and the Heavens – as above, so below. Other domes in the atrium depict abstract symbolic 'orbits'. The celestial symbolism of the dome was somewhat lost in the medieval west, but one area where the domical tradition continued was in the great curved tympana of the medieval cathedrals, often used to depict the end of the Universe in the form of a *Last Judgment*. Heaven, Earth and Hell (the three parts of the 'known Universe') were depicted together on western façades as a disciplinary reminder to the congregation on exit. The curvature of the domed universe was shown above Christ in many examples of cathedral sculpture that focus on the perception

of the layered, domed universe, often with astronomical symbols (Hautecoeur 1954, pp. 264-270). However, it was not until the fifteenth century that the centralised domed plan was again popularised in western Europe. The acceptance of the domed church as an ideal design was linked to the Renaissance revival of Greek thought, precipitated by the influx of Greek writers, architects and thinkers following the fall of Constantinople in 1453.

The Renaissance Revival of Domed Architecture

While the Classical and Byzantine traditions secured a role for domed architecture, it was not until the Renaissance revival of classical thought that the dome again became a truly dominant style in western Europe (Murray 1986; Heniger, 197 *passim*). The revival of the dome was very much based on its derivation from the circle as the most perfect form, according to Neoplatonic thought. In his *De Re Aedificatoria* (c.1450) Alberti elaborates on sacred architecture and the building and decoration of the ideal church. Discussion begins with a eulogy on the perfection of the circular form and an emphasis is laid on the dome and its relation with the sky. Alberti cites ancient authors regarding 'the vast vault of the Heavens', and describes the construction of arched vaults and domes (Book 3, chapter 14). He seems to have been aware that a cosmic interpretation of the dome had been common in antiquity and kept alive in the eastern Church (Alberti 1988, Book 7, pp. 81-87, 222, 278f; Wittkower 1973, pp. 3, 9ff.). The choice of a domed octagon for Florence Cathedral, begun in 1294, proved impossible

to construct and the task of spanning the 42.7m opening was not solved until Filippo Brunelleschi, inspired by his visit to Rome to study ancient building design and construction, enabled him to address the problems and complete the dome in 1420-34. Based on a pointed arch rotated around a central point, Alberti described the *Duomo* as "so great a structure rising above the heavens [...] broad enough to cover with its shade all the people of Tuscany" (Dedication to Brunelleschi, *De Pittura*, m/s II, IV, 38, Bibl. Naz. Firenze). The interior was decorated with the suitably cosmic scene of the *Giudizio Universale*, imagining the end of the Universe, by Vasari.

The revival of Platonic philosophy by Neoplatonists such as Marsilio Ficino (1433-99) should not be underestimated in its influence on the perfect circular form. As Wittkower states, "the full renaissance conception of the perfect church was rooted in Plato's cosmology" (Wittkower 1972, p. 23). The shape of the cosmos is described in *Timaeus* as the perfect circular form and Renaissance Church building continued to imitate this, as exemplified by the domed *Pazzi Chapel* (1429-46) built in classical and harmonious proportions. The astronomical implications of the dome are also evident in Brunel-

leschi's *Old Sacristy of S. Lorenzo* (Florence), where the cosmic allusions are heightened by depictions in one dome of the constellations at a given time [fig. 7]. They are shown on a blue background while the meridians, equator, ecliptic, stars, Sun and Moon are in gold. Almost like a planetarium, the dome painting portrays the northern celestial hemisphere as it would have appeared on 4/5th July 1422. The painting in the dome of the *Old Sacristy* can be compared with the slightly later, but damaged, painting of the constellations in the dome of the *Pazzi Chapel* at *Santa Croce*, Florence (from 1443), whilst in the *New Sacristy* (also known as the *Medici Chapel*) 1521-34, another large dome is complemented by sculptures by Michelangelo that have clear cosmological allusions. The whole chapel was intended to be a representation of the ordering of the Universe, according to neoplatonic schemes. The earthly world on the lower registers below contrasts with the luminous other-world above as souls ascends towards the brightness above, in the dome (Tolnay 1943-60, pp. 3-83; Murray 1984).

Michelangelo in Rome

The project to rebuild *St. Peter's Basilica* in Rome had been ongoing for some time (lasting from

7.
Giuliano d'Arrigo,
Brunelleschi,
*San Lorenzo, Old
Sacristy*, 1421-28.
Choir dome fresco,
1422 or 1439
(photo by V.
Shrimplin).



7.

1506-1626). Artists and architects including Leonardo da Vinci and Bramante had become involved and its massive dome was finally constructed according to Michelangelo's design. Leonardo had shown a particular fascination for domed architecture as evidenced by his numerous drawings and schemes for ideal, centralised domed churches. He also, significantly, observed that "il sole no si muove" further demonstrating his interest in Astronomy and possibly heliocentricity (Leonardo da Vinci 1970 ed., pp. 135-172). Bramante had also devised schemes based on ancient Roman and antique Christian sources, which were however, unbuilt. This interest in the significance of the dome with its celestial symbolism is evidenced by his small Renaissance circular domed church known as the *Tempietto in S. Pietro in Montorio* (1502-10) [fig. 8] (Wittkower 1973, p. 24; Murray 1986, pp. 118-120). By the time of Michelangelo's death in 1564, the drum of *St. Peter's* had been completed to his design up to the springing of the dome, and the original plans for a hemisphere had been raised slightly (for constructional reasons to reduce thrust)². It was finally completed during the period of the Counter Reformation when the Catholic Church was at its most powerful. The dome, surmounted by a globe symbolising the Church's global authority, represents the height of the power of the Catholic Church and the Counter Reformation [fig. 9].

Borromini and Kepler

Architecturally, the seventeenth century saw remarkable developments in domed architecture. In particular, if the spherical dome is reflective of the view of the Universe, could it be coincidence that the dramatic introduction of elliptical domes occurs at the same time as Kepler revolutionised the idea of the Universe and its mechanics as based on the ellipse? Might the radical changes in domed architecture in the Baroque period have any relation to Kepler's elliptical orbits? (Shrimplin 2005, pp. 413-422; Shrimplin 2021, pp. 107-123).

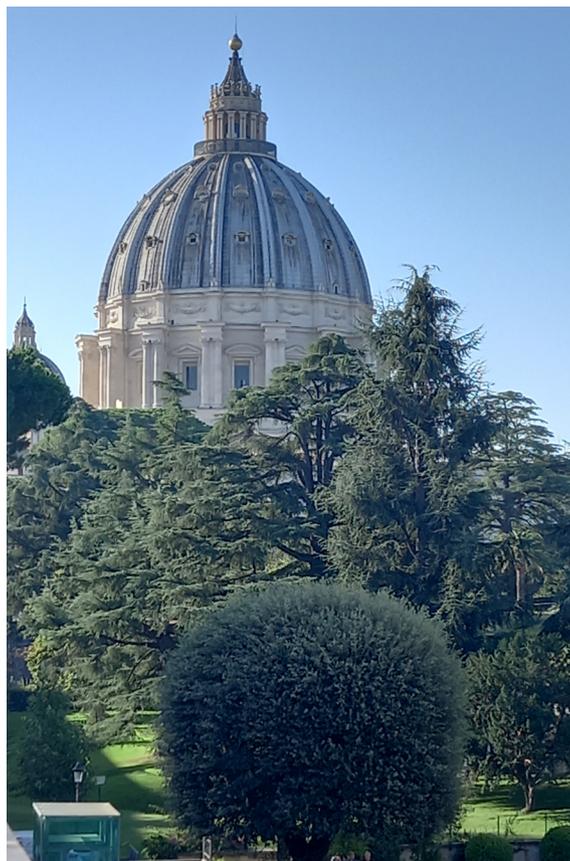
The use of the elliptical dome is a key feature of Baroque architecture, yet the preference of architects like Borromini for elliptical rather than perfectly circular/hemispherical domes is curious. The inspiration of developments in Astronomy in the seventeenth century challenged classical precepts such as the perfection of the circular form, and the predilection for the ellipse by Borromini could be related to Kepler's views. In his scheme for *S. Carlo alle Quattro Fontane* (1638-41) [fig. 10] Borromini was accused of overthrowing the classical rules of architecture - an artistic anarchist who replaced accepted ideas with innovation and disorder (Blunt 1979, p. 22f, 47, 68). Yet mathematical precision underlies his apparently extravagant



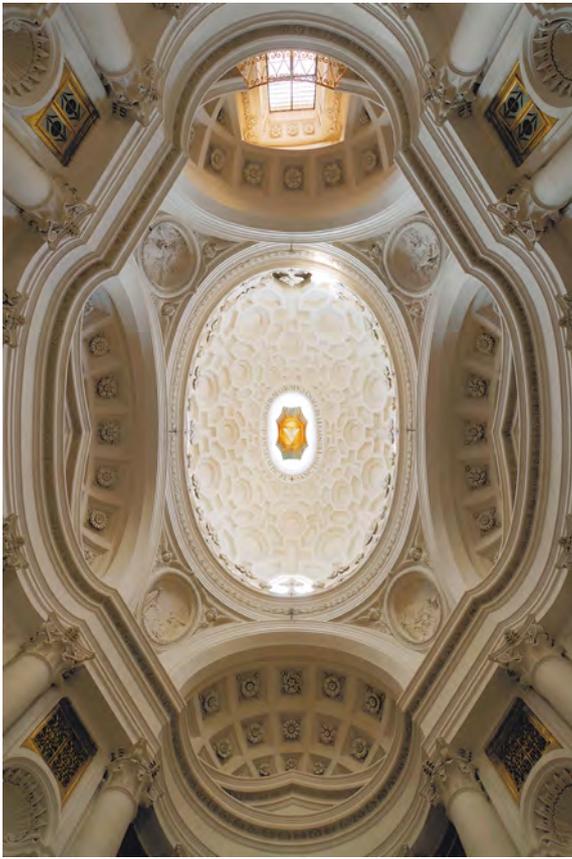
8.

8. Bramante, *The Tempietto of S. Pietro in Montorio*, 1502 (Wikimedia Comms/Herbert Weber, licensed under the Creative Commons attribution share-alike international licence (4.0)).

9. *Dome of St Peter's, Rome*, completed 1590 (photo by V. Shrimplin).



9.



10.



11.

schemes and scientific developments, especially the enormous changes in world view, Cosmology and Astronomy, could have had an effect on his work. While types of oval domes were not unknown in the sixteenth century (*S. Andrea* in Via Flaminia, 1554; *S. Anna dei Palafrenieri*, 1572; *S. Giacomo*, 1590) these were often simply based on the domed type with a circular dome elongated along one axis, or rectangles with rounded corners (Murray 1986, p. 198; Blunt 1979, p. 68). By contrast, the use by Borromini of the elliptical dome in churches like *S. Carlo alle Quattro Fontane* and by Bernini at *S. Andrea al Quirinale* (1658-70) are striking in their geometry. Kepler considered the ellipse as the basis of Astronomy and the view of the Universe, rather than circular orbits. He realised that the Universe did not work on perfect circular motion but that the orbits of the planets were elliptical instead, with the Sun at one of the foci³. These views might well have influenced the cosmological symbolism of religious architecture, especially in the work of Borromini. The prevalence of elliptical domes at this time seems to suggest a link, and the idea that elliptical domes could be related to contemporary astronomical theory is reinforced by evidence of astronomical symbolism appearing elsewhere in Borromini's work. Borromini's patron in Rome was Cardinal Barberini, later Pope Urban VIII (1623), who was a known patron of Galileo (Koestler 1984, pp. 362, 437, 448; Blunt 1979, pp. 22f., 47). The drawings for the *Oratory of S. Filippo Neri*, *S. Giovanni in Laterano* and the *Collegio di Propagande Fide* also include numerous star motifs and at *S. Ivo della Sapienza* (Rome, 1542) the six-point starred decoration completely dominates. Borromini's inclusion of the motif of the icosahedron on the Filomarino altar in *SS. Apostoli*, Naples (1635), relates directly to Kepler's theory of the solids as expressed in his *Mysterium Cosmographica*, 1596. Yet it is difficult conclusively to prove a direct link between Keplerian theory and the elliptical domes of Baroque architecture.

Sir Christopher Wren as architect-astronomer

At the same time as Bernini and Borromini were changing the face of Rome, the rebuilding of London was taking place. Sir Christopher Wren had already been consulted about work on *St. Paul's* which was in danger of collapsing when the process was interrupted by the Great Fire of London (5 September 1666), that made total rebuilding necessary. Instead of improving the medieval cathedral with a tower and spire, Wren opted for the completely new domed structure that now dominates the London skyline. Wren's knowledge of Palladian architecture and his meeting with Bernini in Paris in 1665-66 suggest an emulation of *St. Peter's*, but

10. Borromini, *San Carlo alle Quattro Fontane*, 1638-41 (Wikimedia Comms/Nicholas Hartmann; licensed under the Creative Commons attribution share-alike international licence (4.0)).

11. Sir Christopher Wren, *St Paul's Cathedral*, London, 1675-1710 (photo by V. Shrimplin).

his design was also partly the result of his astronomical knowledge and the celestial implications of domed structures. Wren was a Professor of Astronomy (in London and Oxford) long before he was famed as an architect. Although the concept of the flat Earth had clearly been superseded and was no longer accepted by educated persons (let alone professors of Astronomy), the celestial implications and the idea of the dome of Heaven persisted in church architecture. It appears to have acted as inspiration for the final design of the dome of *St. Paul's*, 1675 [fig. 11] (Shrimplin 2018, pp. 261-275; Downes 1971, pp. 36-37; Downes 1988). Bearing in mind that Wren was a mathematician and astronomer and also the architect for the *Greenwich Observatory*, the astronomical implications seem clear. Domed architecture continued to be reserved for schemes of special significance.

Domed architecture in Russia and the Middle East

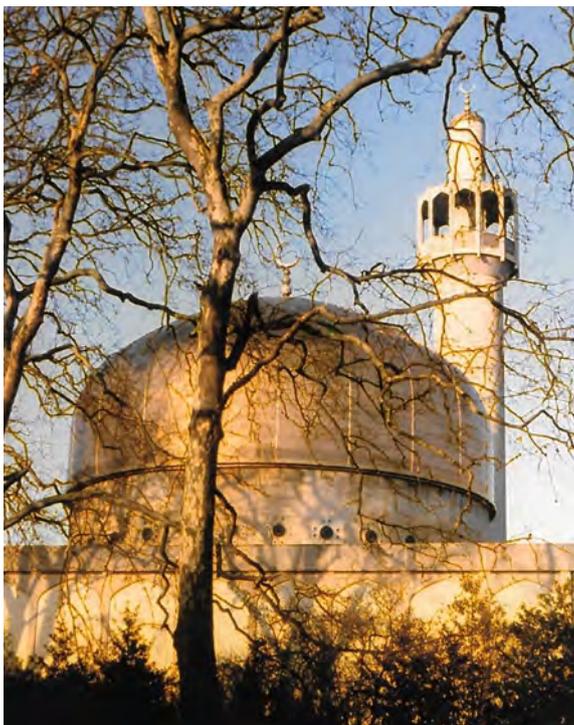
Space does not allow consideration of domed architecture in Eastern Europe and the Middle East but it is significant in the Russian Orthodox Church and also in relation to the rise of Islam and the development of the domed mosque. Together, these demonstrate the universality of the concept. The domed structure of the fourteenth-century *Church of St. Sergius Lavra* (in Sergiyev Posad, near Moscow), with its star-stud-

ded decoration, exemplifies the way that Byzantine architecture permeated the Russian Orthodox Church in its cosmic associations. The more recent *Church of the Resurrection of Christ* in St. Petersburg (1881) is another good example of the significance of the dome in Russian Orthodox Church architecture [fig. 12].

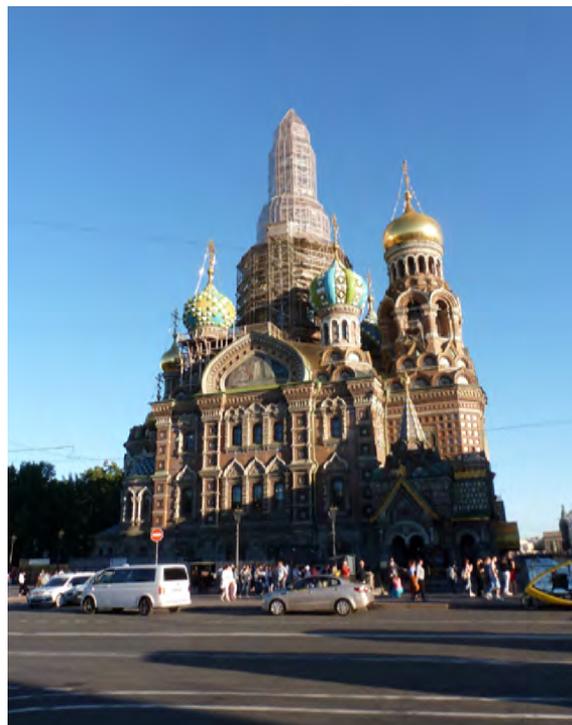
In the Islamic world, domed architecture was also a distinctive feature of Muslim architecture. The tradition may have derived from Byzantine architectural influence or from the heritage of the nomadic people who largely made up the Islamic world. The importance of the tent or canopy for nomadic peoples and the perception of the Heavens as such is provided by records of huge dome shaped tents. In the *Qur'an* itself, the word 'canopy' is frequently used as descriptive of the Sky or Heavens (XXXI 32; LII, 5; LXXIX, 28) and the firmament is clearly perceived as 'round' (LXXXVI, 11). Eternal, circular movement is reflected in the *qubba* or dome, as at the *Dome of the Rock* in Jerusalem, which has a central gilded dome (Ettinghausen, Grabar 1987, p. 18). Islamic mosques were built with imposing domes (often decorated and gilded) echoing a common and deep-rooted belief in the symbolism (Baldwin Smith 1950, p. 43f). The tradition became well-established and modern examples of domed mosques abound. The *Regent's Park Mosque* in London (c1970) [fig. 13] is a prime example. The interior of the dome is painted a rich deep blue with star shaped medallions of blue stained glass,

12.
Church of the Resurrection of Christ, St. Petersburg, 1881, detail of domes (photo by V. Shrimplin).

13.
Regent's Park Mosque, 1970 (photo by V. Shrimplin).



12.



13.

as typical of Islamic works of this type (cf. Holod, Khan, 1998).

Modern Times

Domed structures in modern times demonstrate continuing links between Architecture, Astronomy and the Sky. Cosmology and Astronomy increasingly became separated from theology and philosophy as, based on advanced physics and mathematics, Astronomy and Cosmology exerted less influence on religious architecture. The use of domes became less exclusively associated with religion. An increasing amount of secular and large scale domestic architecture showed how, by this time, the dome had become so ingrained as a symbol of power and authority that it continued to be used for key buildings, such as, in the UK, the *Radcliffe Camera*, Oxford (James Gibbs, 1737), the *Bank of England* (Sir John Soane, 1798), or the 'oriental' *Brighton Pavilion* (Nash, 1815-21) and so on. The dome was ingrained on the human consciousness as a powerful cosmic shape. Use of the dome in the construction of large grandiose schemes gradually increased with the use of new materials such as iron or steel frameworks. Steel frames and concrete shells made thick masonry walls redundant and increasingly wide spans could be built with no need for vaults and domes. Yet the significance of the dome remained and new methods and materials meant that huge domed spaces could be more easily achieved, such as the cast iron dome of the *United States Capitol*, Washington DC (1793-1867), or the *Jefferson Memorial* (1934-43). Celestial allusions in domed architecture demonstrate how its symbolism is embedded, in spite of scientific and astronomical developments. As a method of embracing large spaces and large numbers of participants, it can hardly be bettered, and has consequently become used for large gatherings of a different type, for example sports stadia, such as the massive scale of the *Olympic Stadium* in Rome (1960); the *Superdome New Orleans* (1971); or the *Auditorium* by Navarro in Salamanca (1992), where "the lightness of the roof accentuates rather than negates its primary historical role as the parallel of the sheltering sky vault" (Steele 1997, p. 59 and pp. 27, 28). In astronomical terms, the 'dome' is still used (and referred to) as a most

convenient structural method for the reproduction of the night sky. Observatories and planetaria continue to be domed in spite of current knowledge of the shape (or otherwise) of the Universe. There is no 'earthly' reason why a planetarium or observatory should be dome-shaped in terms of current knowledge of the structure of the Universe, yet the shape persists in spite of all that is known about the boundlessness of space (such as the re-modelled *London Planetarium*, 2004). It also comes as no surprise that a dome was selected to commemorate the new millennium (2000) in London. The spectacular *Millennium Dome* (significantly 365m in diameter, suspended from 12 cables) and completed 31 December 1999, is not a dome in the true sense, since it is not freestanding and self-supporting but held up by its system of cables. A dramatic sight when illuminated at night, it seems almost like a space craft, reflecting the avowed interest in Astronomy of its architect Michael Davies. It is remarkable that architects turned to the dome to find a fitting tribute for the cosmological event of the new millennium, concerned with time, space and eternity (Evans 1997, pp. 29-36).

Conclusions

Consciousness of dome symbolism on the part of architects is not always easy to prove. Since the time of the Renaissance, different astronomical systems have come under consideration as the perception of the Universe developed from the flat Earth to geocentric, heliocentric, galacto-centric and finally a-centric. In matters of construction, materials and symbolism, the dome has provided an endless source of fascination. Tangible images and constructions were used to elucidate theoretical concepts as well as artistic interpretations of theological, philosophical or scientific theories. Without necessarily claiming that every dome is cosmic, and without overemphasising the aesthetic and symbolic functions of architecture at the expense of the structural and utilitarian, it may reasonably be argued that the body of evidence suggests that cosmological and astronomical concepts are a major source of interdisciplinary inspiration for the forms thus created.

Note

1. Biblical references are taken from the English authorised version. The *Good News Bible*, 1966 translation refers to 'domes' in *Genesis* 1, 6-8: "so God made a dome [...] He named the dome Sky".
2. Raphael Peruzzi and the Sangallos (father and son) worked on the project after Bramante died. The dome was completed to Michelangelo's designs by Giacomo della

- Porta and Domenico Fontana (1585-90). Surprisingly, the dome of Florence is actually larger than that of *St. Peter's* in Rome, possibly indicating that Michelangelo, a Florentine, did not want the dome of the new *St. Peter's* in Rome to surpass the *Duomo* in his beloved Florence.
3. For a concise summary of Kepler's first two Laws (in his treatise on *Motion of Mars*, 1609) and third Law (in *Harmony of the World*, 1619) see Kuhn 1057, pp. 212-217.

Bibliografia

- Ainalov D. V. (1961). *The Hellenistic origins of Byzantine art*, p. 33f. New Brunswick: Rutgers University Press.
- Alberti L. B. (1988). *On the art of building in ten books* (J. Rykwert et al. Trans.), book 3, chapters 13 and 14, pp. 81-87, 222, 278f. Cambridge: MIT Press.
- Aristotle (1960). *De Caelo* (Loeb Classical Library), p. 155f. London: Heinemann.
- Baldwin Smith E. (1950). *The dome: A study in the history of ideas*. Princeton: Princeton University Press.
- Baldwin Smith E. (1956). *Architectural symbolism of imperial Rome and the Middle Ages*. Princeton: Princeton University Press.
- Bertani L. (1998). *San Lorenzo: The Medici chapels*. Florence: Scala.
- Blunt A. (1979). *Borromini*. London: Allen Lane.
- Borghini V. (1847). Letter to Giorgio Vasari. In C. Guasti (a cura di) *La cupola di Santa Maria De Fiore*. Florence: Barbera.
- Cormack R. (1981). Interpreting the mosaics of S. Sophia. In *Art History* n.4, pp. 131-149.
- Cornford F. M. (1937). *Plato's cosmology*. London: Routledge and Kegan Paul.
- Cosmas Indicopleustes (1968). *Topography chrétienne* (W. Wolska-Conus Ed.) Paris: du Cerf.
- Dacos N. (1969). *La découverte de la Domus Aurea et la formation des grotesques à la Renaissance*. London: Warburg Institute.
- Demus O. (1948). *Byzantine mosaic decoration: Aspects of monumental art in Byzantium*. London: Routledge and Kegan Paul.
- Demus O. (1988). *The mosaic decoration of San Marco, Venice*. Chicago: University of Chicago Press.
- Dio Cassius (1917). *Roman history*, vol. 6, LIII, 27, pp. 263-265. London: Heinemann.
- Downes K. (1971). *Christopher Wren*. London: Allen Lane.
- Downes K. (1988). *Sir Christopher Wren: The design of St Paul's Cathedral*. London: Trefoil.
- Von Einem H. (1976). *Michelangelo*, pp. 95-109. London: Methuen.
- Encyclopedia of World Art (n.d.) Cosmology. In *Encyclopedia of World Art* vol. 3, pp. 836-864.
- Ettinghausen R., Grabar O. (1987). *The art and architecture of Islam*, p. 18. Harmondsworth: Penguin.
- Euripides (1980). *Ion* (Loeb Classical Library), pp. 112-133. London: Heinemann.
- Evans B. (1997). The dome experience. In *Architects' Journal*, 206(20), pp. 29-36.
- Fletcher S. B. (1975). *A history of architecture on the comparative method*, pp. 269f., 378f., 823, 842. London: Athlone.
- Frazer J. G. (1996). *The illustrated Golden Bough: A study in magic and religion*, p. 217. New York: Labyrinth.
- Good News Bible*. Today's English version (1966).
- Grabar A. (1946). *Martyrium: Recherches sur le culte des reliques et l'art chrétien antique*. Paris: Collège de France.
- Guthrie W. K. C. (1962). History of Greek philosophy, vol. I, pp. 89-100, 132-37, 282-300. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hautecoeur L. (1954). *Mystique et architecture: Symbolisme du cercle et de la coupole*, pp. 145-292. Paris: Picard.
- Heniger S. K. (1977). *The cosmographical glass: Renaissance diagrams of the universe*. San Marino, CA: Huntington.
- Hesiod (1964). *Theogony*, pp. 85-95. London: Heinemann.
- Holod R., Khan H. U. (1998). *The mosque and the modern world: Architects, patrons and designs since the 1950s*. London: Thames and Hudson.
- Holy Qur'an* (1946). Translation and commentary by A. Yusuf Ali. Durban: Islamic Centre International.
- Homer (1985). *Iliad* (Loeb Classical Library), pp. 323-325. London: Heinemann.
- Homer (1974). *Odyssey* (Loeb Classical Library), p.189. London: Heinemann.
- Incerti M. et al. (2018). Survey, archaeoastronomy and communication: The mausoleum of Galla Placidia in Ravenna. In *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 18(4), pp. 181-189.
- Incerti M., et al. (2019). The mausoleum of Galla Placidia in Ravenna: Archaeoastronomy, numbers, geometry and communication. In C. Marcos (eds), *Graphic imprints: EGA 2018*, pp. 492-505. Springer.
- King D. A. (1995). The orientation of medieval Islamic religious architecture and cities. In *Journal of the History of Astronomy*, 26(84), pp. 253-273.
- King D. A. (1995). The orientation of medieval Islamic religious architecture and cities. In *Journal of the History of Astronomy*, 26 (84), pp. 253-273.
- Kleinbauer W. E. (1971). *Modern perspectives in Western art history*, pp. 227-270. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Koestler A. (1984). *The sleepwalkers: A history of man's changing vision of the universe*. Harmondsworth: Koestler.
- Krautheimer R. (1965). *Early Christian and Byzantine art*, pp. 201-213, 344. Harmondsworth: Penguin.
- Kuhn T. S. (1957). *The Copernican revolution: Planetary astronomy in the development of Western thought*, pp. 108, 212-217. Cambridge: Harvard University Press.
- Lehmann K. (1945). The dome of heaven. In *Art Bulletin* 28, pp. 1-27.
- Richter J.P. (ed.) (1970). *The Notebooks of Leonardo da Vinci vol. 2*. New York: Dover.
- Lovejoy A. O. (1936). *The great chain of being*. Cambridge: Harvard University Press.
- Mango C. (1958). *The homilies of Photius*, pp. 92 and 140. Cambridge: Harvard University Press.
- Martial (n.d.) *Epigrams* 8, 36, 11-12.
- Mori G. (1987). *Arte e astrologia*, pp. 24-26. Florence: Giunti Barbera.
- Murray L. (1984). *Michelangelo: His life, work and times*, p. 106f. London: Thames and Hudson.

- Murray P. (1986). *The architecture of the Italian Renaissance*, pp. 13, 87, 118-120, 198. London: Thames and Hudson.
- Osborne H. (ed.) (1993). *The Oxford companion to art*, pp. 320-322. Oxford: Clarendon.
- Panofsky E. (1972). The neoplatonic movement and Michelangelo. In *Studies in iconology: Humanistic themes in the art of the Renaissance*, pp. 171-230. New York: Harper and Row.
- Phylactopoulos G. (1974). *History of the Hellenic world: Prehistory and protohistory*, pp. 85-87. London: Heinemann.
- Plato (1981). *Timaeus* p. 63. (Loeb Classical Library) London: Heinemann.
- Procopius (1971 ed). *Buildings*, vol. 7 I, i, 27-66, pp. 13-29, especially pp. 21, 25. (Loeb Classical Library) London: Heinemann.
- Shrimplin V. (2000). Sun-symbolism and cosmology. In *Michelangelo's Last Judgment*. Kirksville, Missouri: Truman State University Press.
- Shrimplin V. (2005). Borromini and the New Astronomy: the elliptical dome. In *Culture and Cosmos* 8, nos. 1 and 2, Spring/Summer and Autumn/Winter 2004, pp. 413-22.
- Shrimplin V. (2018). Sir Christopher Wren: Architect-astronomer. In Campion N., Impey C. (eds.) *Imagining other worlds: Explorations in astronomy and culture*, pp. 261-275. Sophia Centre Press.
- Shrimplin V. (2019). Borromini and the cultural context of Kepler's Harmonices Mundi. Proceedings of the conference *The Harmony of the World on the 400th anniversary of Kepler's work*, St. Petersburg, Russia. In *Culture and Cosmos* vol. 25 no. 1 and 2, Spring/Summer and Autumn/Winter 2021 pp. 107-123.
- Steele J. (1997) *Architecture today*, p. 59, pp. 27, 28. London: Phaidon Press.
- De Tolnay C. (1943-1960) *Michelangelo 5 vols*. Princeton: Princeton University Press.
- Virgil (n.d.) *Aeneid* 6, 750f.
- Virgil (n.d.) *Eclogues* 2, 28f and 5, 60f.
- Vitruvius (1960). *The ten books on architecture* (M. H. Morgan transl.). New York: Dover.
- Wittkower R. (1973). *Architectural principles in the age of humanism*, pp. 3, 9ff, 23-24. London: Academy.

Crossing Time: Astronomical Heritage and Interdisciplinary Dialogue

Manuela Incerti

The semantic richness of the verb *attraversare* (to cross, to traverse), chosen as the guiding theme for the third call of *Architecture Geometry Astronomy*¹, reveals an unexpected complexity, despite its apparent simplicity in everyday language. An analysis of the definitions offered by the main Italian lexicographical sources highlights various nuances that deserve careful reflection.

To cross can indicate the act of passing from one side to another of a space, an environment, or an element, but also the act of entirely traversing something through space or time, intersecting, crossing, or even experiencing a situation or an era. Understanding the wide range of meanings of the verb *to cross*, briefly outlined below, can not only serve as a source of inspiration but also constitute a useful interpretative tool for understanding the research contributions published in this volume.

Some of these meanings closely align with the sensitivity and design logic inherent to architects:

Spatial Transit: indicates the act of moving from one side of a space, environment, or element to another. This primary meaning denotes a physical movement through a defined spatial dimension².

Total Traversal: refers to the action of entirely covering something through space or time, implying completeness in movement, a full coverage of the involved entity.

Directional Movement: may suggest a specific direction of movement, whether transversal or longitudinal relative to a reference axis³.

Intersection: evokes the idea of intersecting or crossing, suggesting a point of contact or overlap between distinct elements.

Other meanings take on a more universal and theoretical scope, extending beyond the architectural dimension:

Experience: denotes the act of living through or experiencing a situation or an era. This expands the verb's meaning to an existential and temporal dimension, implying active engagement with a specific context.

Overcoming Separation: can imply crossing a boundary or barrier, whether physical or conceptual, such as looking through a window or bridging a symbolic distance.

Temporal Condition: in reference to time, to cross describes the succession of moments or periods, often denoting the overcoming of specific phases⁴.

Connection: in a figurative sense, it can mean linking or relating different conceptual or disciplinary domains.

Passive Reception: finally, the verb can imply being touched or influenced by something, such as a building crossed by light or our current understanding being permeated by models from the past.

Starting from this complexity of meanings — spanning from physical movement to conceptual experience and the relationship between diverse elements — some reflections can be developed in relation to the central theme of our Call for Papers.

The Sky as Common Heritage

The sky, defined in the call as a *common and universal heritage*, represents the starting point.

Since the dawn of history, humanity has systematically investigated and observed the sky, tracing its motions and measuring phenomena, making it an essential reference point both for physical and spatial orientation and for the construction of theoretical knowledge.

The study of the sky led to significant scientific advancements from antiquity, materializing in the invention of rudimentary measuring instruments, the definition of the first calendars based on lunar and solar cycles, and the creation of megalithic architectures and temples aligned with celestial events. These ancient observations laid the foundations for the understanding of planetary and stellar motions.

In the modern and contemporary eras, with the development of increasingly powerful and sophisticated terrestrial and space telescopes, astronomical research has made extraordinary leaps forward. We have witnessed revolutionary discoveries such as the accelerated expansion of the Universe, the cosmic microwave background radiation (proof of the Big Bang), the evidence of dark matter and dark energy, advancements in stellar and galactic astrophysics (the life cycle of stars, galaxy formation, black holes), the discovery of exoplanets, the detailed exploration of the Solar System, and the detection of gravitational waves.

Far from distancing humanity from the cosmos, these advancements reinforce the sky's role as a fundamental space of inquiry, both physical and cultural-symbolic.

An active vision and systematic study of the sky allow us to recognize and cross it as a space of inter-

Image p. 10
Francesco del
Cossa, 1469-
70, Salone dei
Mesi, March
(details), Palazzo
Schifanoia, Ferrara
(Photograph by
Antonio Cesari).
By concession of
the Musei di Arte
Antica, Municipality
of Ferrara.

connection between physical dynamics and cultural constructions, between phenomenal reality and symbolic representations. In this sense, the analysis of the sky becomes the first and necessary step towards understanding time and space — conceived not only as scientific coordinates but also as founding elements of the human condition.

Crossing Time: Diachrony and Dialogue

Among the universal and theoretical meanings outlined earlier, the verb to cross finds an important application in describing the movement along the timeline, connecting different eras and distinct models of thought. Astronomical heritage offers an opportunity to investigate the temporal dimension through tangible and intangible testimonies narrating the evolution of human civilization. For example, the analysis of historical eclipses or supernovae recorded in ancient catalogs allows us to cross centuries and reconstruct the chronology of past events. The study of cosmic background radiation enables us to traverse billions of years and observe the primordial Universe.

However, this is an intrinsically complex, laborious, and delicate journey. The difficulties intensify particularly when tracing back to distant epochs, where documentary evidence is rare, fragmented, and often shrouded in uncertainty.

In this context, the analysis and interpretation of the past require not only technical and methodological expertise but also broad and articulate interdisciplinary perspectives that critically integrate methods and knowledge from different, seemingly distant fields. Only through a critical and shared review, integrating contributions from disciplines such as history, geometry, archaeology, architecture, and astronomy, can we effectively address the layered complexity of this journey through time, ensuring a deeper and more comprehensive understanding of astronomical heritage.

This need to integrate diverse perspectives and methodologies highlights the importance of crossing disciplinary boundaries, a concept that assumes a central methodological role in contemporary research. Creating meaningful connections between traditionally distinct fields not only enriches analysis and broadens the scope of inquiry but also fully restores the inherent complexity of knowledge, in this case concerning astronomical heritage, which intricately combines scientific, cultural, and symbolic aspects. The multidisciplinary and transdisciplinary⁵ approach thus emerges as essential for overcoming the limitations of sectoral visions, fostering a broader and integrated understanding.

Crossing Experience

Crossing time is not merely an abstract concept, but a living and multifaceted experience engaging

all senses. It manifests in a continuous dialogue between the analog world — made of bodies, direct perceptions, and situated experiences — and the potential of digital technologies, which amplify, mediate, and transform our ways of interacting with space and time.

In the specific context of architecture and astronomy, the analog experience is based on direct observation and sensory interaction with the surrounding environment, both day and night. This includes prolonged observation of the slow movement of the starry sky in areas with minimal light pollution, the attentive following of the interplay of light and shadow projected by architectural elements throughout the day, the reading of sundials for time measurement, and the perception of architectural spaces oriented according to precise celestial logics. Historical monumental buildings like the Abbey of Vézelay or the Pantheon in Rome, significantly oriented, offer perceptive and sensory experiences where light defines space and time. Instruments such as Ptolemy's triquetrum, the astrolabe, and the baculus Jacobi, originally designed for astronomical observation and later used in surveying and construction activities, show how past civilizations integrated cosmic understanding with terrestrial spatial organization.

Although human vision plays a fundamental role in this experience of crossing, it is not the only sensory channel involved. Other perceptive modalities, such as the auditory-narrative and the haptic, can significantly enrich our understanding of the world, especially in contexts of cultural fruition and scientific dissemination from an accessibility perspective. Auditory storytelling, for instance, supports the communication of complex scientific content both through specialized personnel in exhibitions and didactic contexts and through audio devices. Haptic perception, although less explored in the astronomical field, is enhanced in innovative museums such as the Galileo Museum in Florence, offering tactile pathways specifically designed for the visually impaired. Original instruments and faithful replicas allow visitors to explore through touch, thereby understanding both mechanical functioning and historical significance within the context of the development of sciences⁶.

Digital technologies have profoundly altered the experience of crossing time, opening new frontiers and challenges. While they can seemingly distance us from direct experience, favoring mediated and virtual enjoyment that risks privileging visual aspects over other senses, they also offer powerful tools to amplify, extend, and enrich our perception of time and space. Nevertheless, this transition towards digital experiences raises crucial questions about how to effectively represent and communicate human experience in a technological context. Moving from sensory dimensions to digital experiences requires new

forms of representation and interaction — a context where Drawing disciplines can play a critical role, guiding the development of intuitive interfaces and rigorous, effective representations capable of bridging the analog and digital experience.

Virtual and augmented reality⁷ undeniably open new perspectives for immersive exploration of cultural heritage, allowing interactive and engaging crossings of time and space, offering alternative viewpoints, and stimulating new interactions with the past. These technologies can recreate lost environments, simulate variations of natural and artificial light over time, or allow "virtual touching" of ancient surfaces and materials, thus expanding the sensory experience and offering new valuable interpretative keys to scientific and cultural heritage. While digital technologies offer extraordinary opportunities for crossing experiences, it remains essential to avoid the risk of losing authenticity and connection with the physical world. Careful design is necessary to balance the advantages of the digital dimension with the importance of direct and sensory experience in terms of accessibility⁸.

Conclusions

This volume proposes a collective reflection on the idea of crossing as a cultural and cognitive action embracing history, science, art, and technology. Crossing time and space implies a complex cognitive process that, while comprehending sensory perception, goes beyond it. It requires the processing of information from diverse sources, the integration of historical, scientific, and cultural knowledge, and the construction of a coherent framework of the past and present. This process is influenced by how individuals interact with their surroundings and others. Social interaction plays a fundamental role in cultural crossing, as the sharing of experiences and knowledge helps build collective memory and a sense of belonging. Digital technologies can amplify these cognitive and social dynamics, facilitating access to information, visualizing complex data, and enhancing communication among individuals and communities.

In conclusion, crossing time is an invitation to explore — with both gaze and thought — the connections binding past and future, scientific and humanistic knowledge, sky and earth.

An invitation that asks the disciplines of Drawing to become a critical instrument for investigating the visible and invisible universe, providing effective representations and interpretative keys that restore meaning and value to a cultural heritage that is the common patrimony of humanity.

Notes

1. The first two volumes of the Series, edited by Laura Farroni, Manuela Incerti, and Alessandra Pagliano are: *Rappresentare il tempo. Architettura geometria*

astronomia (Representing Time. Architecture Geometry Astronomy) (2022) and *Misurare il tempo. Strumenti e tecniche tra storia e contemporaneità (Measuring Time. Instruments and Techniques between History and Contemporaneity)* (2023), both published in a bilingual edition.

2. Cf. (Lynch 1965). The concept of spatial transit expressed here finds a parallel in Lynch's analyses of the perception and experience of urban space.
3. See (Arnheim 1977). For Arnheim, the direction of movement is not a simple physical fact, but a fundamental structural and perceptual factor in the organization of the image and in visual communication.
4. See in this regard (Le Goff 1977). The volume analyzes how the perception of time shaped the social and economic structures of the Middle Ages.
5. The *Manifesto on Transdisciplinarity*, a foundational document for a holistic epistemological approach to knowledge, was elaborated and published in 1994 following the first *International Congress on Transdisciplinarity*, held at the Arrabida Convent, Portugal. Its genesis was the result of the intellectual convergence of Basarab Nicolescu (theoretical physicist advocating for dialogue between science and philosophy), Edgar Morin (sociologist and philosopher known for his epistemology of complexity and critique of sectoral thinking), and Lima de Freitas (Portuguese artist and thinker). For the Italian academic context, a primary reference is the translation and editing of Nicolescu's writings, published in 2014 (Nicolescu, 2014). This edition substantially contributed to the dissemination and understanding of the fundamental postulates of transdisciplinarity in the national scientific and cultural debate. An exhaustive collection of contributions analyzing the multiple implications and applications of this approach was edited by Ruta in 2021 (Ruta, 2021), offering an updated and diversified overview of the investigations and reflections on transdisciplinarity in the contemporary context.
6. See in this regard (Candito, Celoria, Meloni 2024).
7. On these topics, see for example (Pagliano, Papa 2025).
8. On the ongoing debate, see for example (Farroni, Mancini 2025).

Material Evidence and Emerging Perspectives

Laura Farroni, Manuela Incerti, Alessandra Pagliano

Dimensions of Time (M.I.)

The volume *Crossing Time* explores the many facets of a key concept that reveals an unexpected richness. As highlighted in the opening essay, the verb “to cross” may take on various meanings: it can indicate a physical movement through space, a journey through time, a life experience, the overcoming of boundaries, or a connection between different domains. The subtitle of this volume, *Material Evidence and Emerging Perspectives*, reflects the dual nature of the crossing proposed: on the one hand, the analysis of tangible evidence that documents humanity’s millennia-old relationship with the sky; on the other, the embrace of new ways of reading, interpreting, and enhancing this legacy, now made possible through interdisciplinary approaches and emerging technologies, with particular attention to the development of shared methodologies for its study.

The material evidences include observatories, sundials, sacred and civic buildings located in diverse geographical and cultural contexts — genuine instruments for celestial observation, constructed in relation to the Sun, the stars, and the passage of time. The emerging perspectives, by contrast, unfold through digital methods, advanced surveying, modelling, virtual reconstruction, and augmented reality, all of which help restore value to a heritage often neglected or difficult to interpret, opening up new forms of understanding and engagement.

This volume brings together the outcomes of the third call for papers in the *Architecture, Geometry and Astronomy* series—an ongoing research project that, year after year, aims to explore the relationships between the built environment and the observation of the sky, with increasing attention to the interaction between material heritage and contemporary analytical tools. In this context, *Crossing Time* becomes an act of discovery and renewal: a crossing that is, at once, a study of the past and an opening towards the future.

The contributions gathered in this volume examine, from a variety of perspectives, the relationship between light, time, architecture, and astronomical knowledge. The scope ranges from recent lunar cartography (Emanuele Garbin) to the plastic translation of scientific thought (Gabriella Liva). Drawing as an epistemology of sacred space design (Laura Farroni) is explored alongside the analysis of both historical and contemporary gnomonic devices: from the *Horloge Solaire* in Grenoble (Bortot, De Rosa, Ho

Trong), to the sundial of the Certosa di San Martino (Laura Papa), to new gnomonic installations at the Royal Palace of Portici (Edgardo Filippone). The volume also includes research that interweaves astronomy and architecture in diverse historical and geographical contexts: from the depiction of stars in the Salone dei Mesi of Schifanoia (Manuela Incerti), to the observational heritage of La Silla (Wolff and Lanciano), from the Beijing Observatory between the 17th and 18th centuries (Matteo Flavio Mancini), to the perspectival windows of Palazzo Doria Pamphilj (Fasolo, Camagni, Guarino), and to the Berninian elliptical form at Palazzo Barberini (Stefano Costantini). Completing the picture are studies on the survey and restoration of sundials and solar clocks: from the Certosa di Calci (Bevilacqua, Pagliano, Rechichi) to fourteenth-century Tuscan frescoes (Mario Arnaldi), and the functional restoration of the vertical sundial in the town square (Clara Coppini). Together, these contributions offer a rich and multifaceted insight into how architecture has, over time, absorbed and expressed knowledge of the heavens.

Material Evidences (A.P.)

The material evidences that constitute the historical evidence of the techniques and philosophies through which past societies have navigated the centuries—seeking to control the ephemeral and elusive passage of time—belong both to the realm of astronomically aligned architecture and to that of solar devices such as sundials and solar clocks. These instruments are, in essence, graphic representations on Earth of the Sun’s apparent motion across the surface of an ethereal celestial sphere. This drawing was achieved, in accordance with the principles of positional astronomy, through the use of projecting lines—namely, the rays of light that align the Sun’s various positions with the tip of the gnomon and its cast shadow on the dial surface. This immaterial contact between Earth and Sky constitutes a source of enduring fascination, making sundials—and solar timekeeping devices more broadly—natural meeting points of art, philosophy, geometry, geography, physics, and astronomy. Often incorporated into monumental architectural complexes, these precious artistic artefacts are the tangible memory of an ancient and invaluable knowledge—of a time when human activity was intimately regulated by the unfolding of natural temporal and astronomical cycles throughout the day and the year.

The measurement of time and the observation of its eternal cyclicity shaped not only the daily habits of communities for centuries but also the rituals and liturgies of all religions, grounded in the periodic recurrence of celestial phenomena. Sundials are the graphic testimony on Earth of complex astronomical-projection events perpetually unfolding on the

Image p. 16
Francesco del
Cossa, 1469-
70, Salone dei
Mesi, March
(details), Palazzo
Schifanoia, Ferrara
(Photograph by
Antonio Cesari).
By concession of
the Musei di Arte
Antica, Municipality
of Ferrara.

celestial sphere at infinite distances from us. Their construction frequently brought together a wide range of disciplines—from mathematics to physics, cartography to geography, geometry to art—reflecting the vibrant intellectual climate that characterised Europe from the 15th to the 19th century.

In this volume, we have therefore set ourselves the objective of identifying testimonies, studies, and research that enhance the dialogue between diverse fields of knowledge—restoration, geometry, new technologies, architectural history, gnomonics, and astronomy—with the principal aim of promoting the dissemination, communication, and ultimately the appreciation of the cultural assets that make up the gnomonic heritage, which is all too often neglected or even unknown. Through processes of recovery and valorisation, we aim to return these valuable elements to public awareness.

Emerging perspectives (L.F.)

While the survey of *Material Evidences* has highlighted the historical and cultural significance of artefacts attesting to the ancient bond between humanity and the sky—from astronomically aligned architecture to gnomonic instruments—the current scientific and technological landscape opens up new and unprecedented horizons for their interpretation and valorisation. Embracing the potential of advanced digital methodologies such as 3D surveying, virtual modelling, and augmented reality, a new chapter unfolds in the study of this heritage. These are some of the *New Perspectives* that not only provide more accurate analytical tools capable of restoring legibility to often fragmentary or buried artefacts, but also promote an interdisciplinary approach that integrates diverse fields—from conservation to astronomy, from geometry to informatics—in order to reveal hidden meanings and innovative forms of engagement.

In this sense, the concept of *Crossing Time*, previously introduced as the interpretive key of the volume, is enriched by a dynamic and interactive dimension: static *Material Evidences* are transformed into *Dynamic Interfaces* for the understanding and dissemination of the evolving relationship between Earth and sky.

Yet the notion of *Emerging Perspectives* extends further still. It also encompasses the possibility of outlining fresh interpretative approaches to archaeoastronomical and astronomical heritage—architecture and art included—that reflect the contemporary needs of society and modern living. To reflect on these issues may well be to assist humanity in posing questions about how to regenerate spaces, places, buildings, and environments, and thereby restore a balanced relationship between humans and nature—a relationship that today appears increasingly compromised.

This volume deliberately addresses topics that may initially seem tangential to the relationship between

architecture, geometry, and astronomy, yet in doing so reveals macro-level insights born of researchers' curiosity and evolving lines of inquiry. This is evident in essays such as those on recent lunar cartography (Garbin), or the light of the North (Liva).

Although celestial observation has reached a high level of sophistication in terms of methods and instruments, it has simultaneously become increasingly invisible—obscured by urban development and artificial lighting. Reclaiming a renewed relationship with the cosmos, and with light as a sustainable resource, is a goal that aligns with the ambitions of the 2030 Agenda (despite shifts in international outlook). In this light, the sky may serve as a source of inspiration for contemporary architecture, capable of responding to communal and social purposes.

The essay on architectures between Earth and sky (Farroni) offers critical reflections for analysing paradigms in architectural design, focusing on buildings conceived for the Catholic faith from which knowledge about light and spatial configurations—linked to cosmic dimensions—may be extrapolated and applied to other types of environments.

Future scenarios are explored in the essay on the La Silla observatory (Wolff, Lanciano), informed by an awareness of the importance of preserving the world's scientific heritage—an intent echoed in the contribution on the Beijing Observatory (Mancini). Further new perspectives emerge from the analysis of medieval sundials depicted in two fourteenth-century Tuscan frescoes (Arnaldi), offering insights into alternative historical time-reading systems and demonstrating that the themes explored in this volume remain fertile ground for further investigation.

Conclusions

This essay outlines the theme of traversing time through two complementary lenses: the analysis of *Material Evidences* and the adoption of *Emerging Perspectives*. As we have seen, material traces represent a valuable testament to humanity's enduring endeavour to understand and represent the cosmos. New perspectives, on the other hand, provide powerful tools for reinterpreting these traces, opening up new pathways for research, contemporary design, and the appreciation of astronomical heritage. This volume marks the culmination of an intensive three-year undertaking, and we hope it may serve as a fertile starting point for future explorations and in-depth studies.

Luna Incognita: the uncertain boundary between known and unknown in recent lunar cartography (1990-2020)

Emanuele Garbin

Key words
Lunar Cartography
Planetary Cartography
Lunar Probes
Space Missions
Lunar Surveys

Introduction

The lunar cartography, due to the particular conditions of accessibility and visibility of its object, has always posed in an exemplary way the question of the boundary between the opposite domains of the known and the unknown, as this boundary is shown in direct and indirect vision and in the cartographic representations themselves. Here we propose to examine the most recent maps of the Moon - those produced in the thirty years from 1990 to 2020 - paying particular attention to that border and unknown portions rather than known ones. In the course of this brief survey we can see how science - and not only science - tends to think what it already knows and not to think and to conceal what it does not know, not without consequences on its eventual progress. Among the causes of this inattention there is also the excess of information and documentation, which tends to hide concealment by an unjustified presumption of knowledge. This study was based on a comparison of the different maps and mapping methods, with more attention to the irreducible shortcomings and irregularities than to the regularity of the graphic procedures adopted. The repertoire examined is mainly the vast one of the entire cartographic and photographic archive of NASA, recently digitized at high resolution and made fully accessible on the net. Among the main theoretical references are those related to existential and analytical ontology, just mentioned here but considered a useful premise for the representation of objects on the edge of the visible and the knowable.

Maps and mapping methods

After the completion of the Apollo project, no manned or unmanned lunar missions were organ-

ized for at least 20 years, and exploration of the Moon was limited to drawing up maps based on the large amount of data and photographic material collected [fig. 1]. Before the new versions of the maps of the Moon, cartographers from USGS - the United States Geological Survey - drew those of Mars, photographed by the Mariner 9 in 1971, and those of Mercury, photographed by Mariner 10 in 1974 and 1975¹. The images received by Mariner 9 are already digital and therefore treated as such: the processing consists of corrections of brightness, application of filters of various types, highlighting of contours, transformations from one type of projection to another. Non-digital methods are used for processes that cannot be automated at the time, mainly to reduce the edges of the photographic mosaic, and to distinguish between shadows and albedo. The map is drawn with an airbrush, distributing the colour with an electric sprayer - and possibly removing it with an electric rubber - and controlling its intensity with a densitometer. The photos are translated into a drawing characterized by a maximally normalized stroke, and the greatest attention is paid to regularize the rendering of reliefs and albedo. The difficulty of science to think nothing and especially the boundary that separates things from nothing - a difficulty that has been of metaphysics itself and not only of physics - is a recurring theme of Heideggerian and post-Heideggerian ontology: in this regard, consider in particular the reflections on the relationship between science and the nothing as expressed by Heidegger in *What is metaphysics?*. It is also true that the same analytical philosophy on several occasions has posed the problem of defining the physical thing and therefore distinguishing it from what it is not: think of Willard Quine's considerations on the essence of physical objects and the difficulties he himself had to admit². As far as planetary cartography is concerned, the difficulty of representing the nothing and its edge can be seen in negative: in all publications and manuals for the use of cartographers from NASA and the US Geological Survey engaged in mapping in the first fifty years of space exploration there is no indication regarding the representation of areas very little documented or at all, so that the graphic rendering of the progressive 'disappearance' of the image is left to the cartographer's whim³.

In the maps of the more distant planets, as well as those of the Moon, you can see many different and often contradicting ways to make areas not yet photographed. In the 1979 map of subpolar latitudes of Callisto, the drawing fades towards the south pole in a wide uniform grey field [fig. 3], but then, on the same sheet, the map of the pole alone [fig. 2] is not even that grey but the white of the background with the coordinate network⁴. Where there is something to show, the transition from the more defined

parts to the indefinite ones is a gradual gradient, but this may also be mistaken for a lower roughness of the soil. In the map of Europe, also this one from 1979, the map of the north pole is left white, while in that of the south pole the uniform and empty grey field is interrupted at some white sectors, as if they were a different kind of void⁵. In the 1987 map of Io, the polar sectors [fig. 4] are blurred into large white spots of an even more empty void, but other smaller white spots scattered throughout the subpolar map [fig. 5] could be at the same time the lighter areas or rather the emptier areas⁶. The same uncertain distinction between the empty parts and those that seem even more so is seen in the map of Enceladus of 1992, where the white background prevails over the grey background, but this time the map, otherwise all white, of the south pole does not even come paginated anymore⁷.

It is only twenty-two years after the last Apollo mission that an expedition has again as its objective the Moon and its image: in 1994 the Clementine probe reaches it and positions itself on a polar orbit. Clementine's equipment includes a series of cameras and a laser detection system. The complicated flight plan is designed to allow a complete mapping of the Moon taking into account the progression of the lunar day: in the two months of systematic shooting, the polar orbit of the probe rotates gradually and slowly, and so the cameras can capture the entire surface of the satellite. The photographic coverage is almost complete, but the mapping is not exactly uniform, because the eccentric elliptical orbit approaches closer to the southern subequatorial band in the first month, and to the northern subequatorial band in the second month, still relatively far from the polar sectors⁸. The laser altimeter directly detects the position of about 72,000 points on the lunar surface: however, its range is limited and it cannot make measurements near the poles, which must be obtained from stereoscopic photos. In the effort to make the image of the whole moon, a criterion of completeness and uniformity is again affirmed, but at the same time it is also denied: the lunar surface seems now completely accessible and visible, yet it is not yet all equally accessible and visible.

The progress in filling and perfecting of the image of the Moon is remarkable and it concerns also the parts that remain invisible, because one can better appreciate their amplitude and importance. The portions of the polar sectors that are perpetually in shadow are photographed over and over by the spacecraft orbiting above them, even if the instruments fail to inspect them. Together with and near the craters whose bottom has always been immersed in darkness, the probe also sees those peaks that are perpetually or almost perpetually illuminated by the rays of the Sun, the 'peaks of eternal light' of which

Camille Flammarion already spoke in the nineteenth century. The special lighting conditions of the polar sectors make them particularly interesting in anticipation of human return, because in the illuminated parts solar energy is always available and because as a result of the relatively constant inclination of the rays of the Sun the ground never heats up and cools down as much as in the subpolar and equatorial sectors, maintaining a temperature more favourable to human activities. Some people think of stable bases and assume that there are reserves of frozen water trapped on the bottom of craters in the shadow, and even if Clementine has no instruments to detect it, an experiment is nevertheless attempted during the mission. The transmitting antenna of the probe is pointed at the south pole, and the signal sent back from the Moon and received on Earth is analysed by considering the particular way in which waves of this type are dispersed by ice: the results obtained are consistent with the presence of ice water at the pole and subsequent investigations will confirm this hypothesis.

The probe's metric data allows for the production of DEM models – *Digital Elevation Model* – of the lunar surface, and new maps of the moon, including the 1:10,000,000 *Color-Coded Topography and Shaded Relief Maps* of the lunar hemispheres [fig. 6] published by USGS in 2002⁹. In these maps the variation of heights is shown by a conventional chromatic scale where red is the colour of the altitudes above 7000 metres and blue and purple of those below 4000 metres below 0, which corresponds to the surface of a sphere of radius 1737.4 km. In areas where altitude data are not available the base map is not colored and is left in gray, which here is the non-color of uncertainty. The limited palette of the legend shows approximately the elevation, but also highlights the morphological characteristics of the 'big picture' otherwise little visible if not quite invisible.

In the maps of this series, the blue circle of the South Pole-Aitken basin is well distinguished, the 2500 wide footprint and eight or more kilometers deep of an ancient impact, hidden by the craters of the subsequent impacts and here visible in all its extension precisely because of its difference in depth compared to the surrounding sectors. The charts show the two hemispheres, showing where the topographic data came from: in the wide range of subpolar latitudes, the data are those taken by the laser altimeter, while the data of the polar latitudes are obtained from stereoscopic photos. The specific 'net of rationality' of the new maps is clearly seen in these and the Clementine orbit patterns¹⁰. A regular and discontinuous pattern of points and photos aligned with the orbits of the probe, which then becomes confused in correspondence with the poles where reliefs and their

1. Subpolar regions (50° N-50° S) in a map of *Shaded Relief Maps of the Moon*, by USGS (1992).
2. Polar regions (55-90° N e 55-90° S) of *Preliminary Pictorial Map of Callisto*, by USGS (1979).
3. Subpolar regions (70° N-70° S) of *Preliminary Pictorial Map of Callisto*, by USGS (1979).
4. Polar regions (55-90° N e 55-90° S) of *Shaded Relief and Surface Markings Map of Io*, by USGS (1987).
5. Subpolar regions (57° N-57° S) of *Shaded Relief and Surface Markings Map of Io*, by USGS (1987).
6. Polar Hemispheres of *Color-Coded Topography and Shaded Relief Map of the Lunar North and South Hemispheres*, by USGS (2002).

shadows interrupt it. The images taken in visible and invisible frequencies by Clementine's cameras give information on the composition of the lunar soil: the image of the Moon is divided into layers and in its conventionally colored maps, and the same height is one of these levels translated into a conventional color palette.

Between the end of the 20th century and the beginning of the 21st, plans for a new human exploration program of the Moon were announced several times and then resized and postponed, at least until the recent announcement of the Artemis program, presented by NASA nel 2019. Here we limit ourselves to quoting the speech delivered by President Barack Obama on 15 April 2010 at the Kennedy Space Center as an example of exploration – in this case space exploration – that overshadows itself. In that speech, Obama announces a major overhaul of NASA'S programs – some are cancelled, others are given more funding – and points to Mars and its exploration as the next frontier for space travel. To the Moon he dedicates a few words, addressing the astronaut Edwin 'Buzz' Aldrin present in the audience: "Now, I understand that some believe that we should attempt a return to the surface of the Moon first, as previously planned. But I just have to say pretty bluntly here: We've been there before. Buzz has been there. There's a lot more of space to explore, and a lot more to learn when we do"¹¹. The Moon had long since entered into its shadow: at the time of the departure of the Apollo 11 from Cape Canaveral, on July 16, 1969, the then Vice-President Spiro Agnew in an interview published the following day in *The New York Times*, he was already talking about Mars as the next goal of space missions: "It is my individual feeling that we should articulate a simple, ambitious, optimistic goal of a manned flight to Mars by the end of this century. Whether we say it or not, someone's going to do it"¹². Currently, the next expeditions to Mars are actually being planned, even if the project is not yet defined, as well as the departure date, and yet Mars itself – like the Moon – has ended up in the shadow of its own image: the very numerous and detailed photos sent by the probes and rovers begin to give the impression that there is not much else to see, and the very discovery of Martian life forms or their traces does not seem to be able to really change a widely shared vision of the world. In the age of the total image of the world, or of the world reduced to an image, this same image appears and is immediately replaced by another and disappears.

The cartographic products of the Chinese space exploration program reflect the progressive transformation of the image of the Moon and its digital net. The Chang'E-1 probe reaches the Moon in 2007 and goes into a circular polar orbit at an altitude

of 200 kilometres. The pattern of consecutive polar orbits, closer to each other at the poles and further apart at the equator, is similar to that of Clementine but more 'full' and regular: from photos and measurements of the laser altimeter of Chang'E-1 – which detects a cloud of over nine million points, many more than those measured by Clementine – the Chinese cartographers derive a DOM map – Digital Orthophoto Map – with a resolution of 120 meters and several models DEM – Digital Elevation Model – of the lunar surface¹³. In 2010, the Chang'E-2 probe was launched: this probe also has the task of mapping the Moon, and the camera records the entire surface from a height of 100 kilometers with a resolution of 7 meters, and some parts from a height of 15 kilometres with a resolution of about one and a half metres. The Chinese program then continues with the Chang'E-3 mission that is launched in 2013, carrying the Yutu rover: during the descent, images taken directly from Chang'E 3 are composed together with those of Chang'E-2 and used to instantly process the TIN – Triangulated Irregular Network – of the landing site and to guide the touchdown and rover movements on the lunar ground.

The first edition of the Chang'E-1 Topographic Atlas – *The Chang'E-1 Topographic Atlas of the Moon* – is published in 2012¹⁴. The overall map is taken from the DEM model of Chang'E-1 with a resolution of 500 meters. At the beginning of the atlas are paginated different projective versions of the same map of the Moon – orthographic, Mercator, Mollweide – and this variety of versions attests to the separation of the data from its image, because the data can be projected in all possible ways. The tables of the actual atlas are the uniformly illuminated and shaded rendering of the DEM model without the slightest concession to the true color or albedo of the lunar soil that can be seen in the photographic atlas of Chang'E-1 – *The Chang'E-1 Image Atlas of the Moon* – published in 2010¹⁵. The reduction of colour to the chromatic palette of the heights produces an impression of monotony accentuated by the smoothing of the reliefs, where this depends not only on their effective smoothness but also on the interpolation of the points of the DEM model: while the manual stroke maintains the differences of roughness, the digital stroke smoothes and homologates otherwise different landscapes. The plot of the overall image that results is exemplary of a way of understanding and imagining the Moon, and not only the Moon. His is a *net of rationality* that aims at completeness and imposes itself for a fullness of content, and which however conceals all the void that exists between point and point and in the point itself.

In 2009, the Lunar Reconnaissance Orbiter was launched to produce detailed surveys of the Moon

for future manned expeditions. The probe still works today and continues to transmit to the ground pictures and data which accumulate and produce a new type of image, altogether excessive and endless¹⁶. The LRO altimeter – the Lunar Orbiter Laser Altimeter or LOLA – detects series of points with a distance of about 25 metres from each other on the polar orbit track and with a distance between the tracks of 25 metres at the poles and 500 metres at the equator. The photographic apparatus of LRO consists of the Wide Angle Camera or WAC, a camera with a wide field of view and a resolution of 100 meters from the height of 50 kilometers, and the Narrow Angle Camera or NAC, two cameras with a reduced field of view and a resolution of 50 centimetres from the same height of 50 kilometres.

The image of the Moon now develops over time and is less an image than a kind of continuous inspection, a map in progress that shows the smallest changes in the lunar landscape over time. Among the products of the LRO mission is a photographic map of the entire Moon derived from the photos of the Wide Angle Camera with a resolution of 100 meters per pixel; a global topographic map [figs. 9, 10] derived from the measurements of the LOLA altimeter – more than 6,500,000,000 measurements taken between 2009 and 2013; different global DEM models, including the one with the definition of 118 meters per pixel at equator [fig. 8]¹⁷. Then there are also the photos of numerous sites of interest taken by the Narrow Angle Camera and the related partial DEM models obtained [figs. 11-14]: the measure of the gap between a point and the next one is reduced to a little more or less than the human measure, and so the vacuum itself becomes less fearsome and therefore also less ‘visible’ as such. Among the products specifically made for the network is the Lunar QuickMap, the navigator of the maps obtained from the surveys of the Lunar Reconnaissance Orbiter and other recent probes – Clementine, Lunar Prospector, Chandrayaan-1, GRAIL and Kaguya. The different thematic levels are superimposed and visible in transparency and you can choose between four types of projection: cylindrical up to 75° N and S, stereographic from 60° to 90° N and S, orthographic of the four hemispheres – farside, nearside, northern, southern – or free¹⁸. This last mode of projection is shown as a three-dimensional globe that can be explored from all directions and from all distances: approaching very close seems to fly over the Moon, however, the monotony of geography and graphics – the Moon is always rendered in black and white – does not invite a prolonged exploration, because one has the impression that there is nothing new to see. The close-ups taken by the two Narrow Angle Camera, orthogonal to the ground or oblique, are quite impressive: the higher definition of the image allows

you to distinguish all the primary and secondary effects of the most recent impacts: they may also be millions of years old, but have not yet been covered by new ejecta. The cracks and the smallest collapses give the impression of observing the landscape of a catastrophe that happened very recently and in a very short time, an impression that contrasts with that of antiquity and monotony of the usual lunar landscapes. LRO also sees the effects of very recent impacts, and this new inspecting ability gives a sense of a different lunar time.

The still limited fullness of the most recent metric and photographic surveys – made almost exclusively in black and white – suggests a discovery made by the astronauts of Apollo 17, the last manned lunar mission. During one of their extra-vehicular activities, Eugen Cernan and Harrison Schmitt see something that catches their attention and surprises them: it is a portion of lunar soil of a few square meters and an unusual orange color, which immediately makes them and those who follow them from Earth to oxidation processes. This hypothesis will not be confirmed, but if it had been, it would have completely changed the current theories about the formation of the Moon, and probably the Earth itself¹⁹. To reflect on the partiality of our knowledge of the Moon – and more generally of all our knowledge – is the fact that this orange ground, as well as many other phenomena potentially of the greatest importance, could not be detected even by the most powerful photographic apparatus of today’s probes.

One of the latest products from the Lunar Reconnaissance Orbiter mission is the atlas of permanently shadowed regions – *Permanently Shadowed Regions* [fig. 7] –, published in 2018²⁰. More precisely, it is a series of photos of the 324 areas in perennial shadow wider than 10 square kilometers, and in these photos finally you can see something, because they were taken with a prolonged exposure, exploiting in this way the very weak diffused light that anyway arrives at the bottom of the polar craters: it would seem that finally the domain of the visible has extended to all the Moon, if not that the invisible – or the incomprehensible – is retracted in the visible itself, where it is even less visible.

The common nature of digital models makes them mixable, and so those of the Moon can be ‘exposed’ together with other models of the microcosm and macrocosm, regardless of their scientific comparability: the scope of the composition is then no longer scientific, but rather that of artistic representation. The *x-verse* by Ryoji Ikeda are accumulations of images obtained from biological, geographical and astronomical databases, which stand out for their excessive numerousness and present themselves as landscapes of data translated into points or lines²¹. In *data-verse 1* of 2019, the point cloud of a portion of

7. Permanently Shadowed Regions in the WAC *Time-Weighted North and South Polar illumination Maps* published on web pages of LROC – Lunar Reconnaissance Orbiter Camera, (2013).

8. The global DEM model with the definition of 118 meters per pixel made from LRO data, published by USGS in Astrogeology Science Center web pages (2014).

9. Polar regions (55-90° N e 55-90° S) of *Topographic Map of the Moon* by USGS (2015).

10. Subpolar regions (57° N-57° S) of *Topographic Map of the Moon* by USGS (2015).

11-12. External views of model of Giordano Bruno crater, derived from the overlay of orthophoto (with high and low Sun) and LRO DEM (models and renderings by the author, with Carla Colzani)..

13-14. Internal views of model of Giordano Bruno crater, derived from the overlay of orthophoto (with high and low Sun) and LRO DEM (models and renderings by the author, with Carla Colzani).

Image p. 20 Polar regions in a map of *Shaded Relief Maps of the Moon*, by USGS (1981).

the Earth's surface was recognized, as well as models of some sectors of the lunar surface and the large and larger clusters of stars and galaxy. In addition to digital matter, what these models have in common is the fact that they represent themselves as a scan, that is, as a line or plane crossing a portion of microcosm or macrocosm. In this era, understanding is increasingly identified with scanning, and scanning with understanding: one could almost say that scanning is one of the 'symbolic forms' of the present time as it was the Renaissance perspective. In the films of Ikeda this line that crosses everything is the recurring visual theme: this new terminator sometimes has the appearance of a narrow band of accentuated brightness, other times it is the movable edge that separates what you already see from what you still do not see, where the invisible is always already seen or predictable. In *date-verse 1* this progressive visibility limit runs on the Moon model from top to bottom and from bottom to top, left to right and right to left. When the point of view comes closer and penetrates the clouds of points you see the black void of which they are also made and that surrounds them, but you can hardly see it, because the field of view adapts to the width of the point cloud itself, and because that nothing between point and point is mere nothing, background insignificant and inconsistent. The astronauts who have been to the moon have described it as a great "expanse of nothing" and have contributed in their own way to the shared image of nothing to see and think about. The interest in the Moon has changed to one for its resources, that is to say, not for the Moon as such but as a resource. This and only this seems to justify the next missions and finally its possession: and yet it was perhaps just that nothing to see and think – where nothing can be understood not as mere nothing but as not yet something – its most own resource and the one which will be consumed more quickly.

Conclusions

The lunar cartography is an exemplary case and a pretext for a wider reflection on the final edge of the images, to be further developed with reference to the different particular sciences. Of the unknown science denies every image – under penalty of being no longer physics but metaphysics – at least until something can be known, if only by extrapolation of the known. Often the unknown that penetrates the domains of the known is not realized, for the now 'unthinkable' surplus of the images of the known himself. This paper – a partial synthesis of a wider study conducted by the author on scientific imagery – would shift attention from the 'fullness' of the map of the known to its outer and inner edges, and lead us to rethink the limits of representation, the contours of those things that are just on the edge

of the visible and the knowable. For this purpose, the reference to ontology studies is considered particularly useful, which deal precisely with the problematic relationship between things and nothing and the contour – or drawing – that distinguishes them.

Notes

1. Here we refer to *Shaded Relief Maps of the Moon*, 1:5.000.000, USGS, 1978-1992; *Shaded Relief Map of Mars* (M 25M 2R); 1:25.000.000, USGS, 1975; *Shaded Relief Maps of Mercury* (H 15M R), 1:15.000.000, USGS, 1979; *Mercury: Relief and Albedo Markings visible on Mariner 10 Images* (H 15M 1RM), 1:15.000.000, 1979.
2. So Heidegger: "The nothing is rejected precisely by science, given up as nullity. [...] Against it, science must now reassert its seriousness and soberness of mind, insisting that it is concerned solely with beings. The nothing – what else can it be for science but an outrage and phantasm? If science is right, then only one thing is sure: science wishes to know nothing of the nothing". Heidegger M. (2008). *What is Metaphysics?* In Id. Pathmarks. New York-Cambridge: Cambridge University Press, p. 84. (First ed. *Wegmarken*. Frankfurt am Main 1976). With regard to the concept of physical object by Willard Van Orman Quine, see above all: Quine W. V. O. (1976). Whither physical objects. In *Boston Studies in Philosophy of Science*, n. 39; Id. (1976). Worlds Away. In *The Journal of Philosophy*, n. 73/12.
3. The only publications cited here are those of Raymond Batson and his collaborators: (Batson R. M. 1973); (Inge J. L., Bridges P. M. 1976); (Greeley R., Batson R. M. (eds.). 1990). See also the accompanying texts of the individual maps and the introductions to the atlases mentioned in this paper.
4. It is the *Preliminary Pictorial Map of Callisto* (JC 25M 2RMN), 1:25.000.000, USGS, 1979.
5. *Preliminary Pictorial Map of Europa* (JC 25M 2RMN), 1:25.000.000, USGS, 1979.
6. *Shaded Relief and Surface Markings Map of Io* (JI 15M 1AN), 1:15.000.000, USGS, 1987.
7. *Pictorial Map of Enceladus*, 1:2.000.000, USGS, 1992.
8. See (Sorensen T. C, Spudis P. D. 2005). The photographic mosaic of Clementine is published in (Bussey B., Spudis, P. D. 2004). A second version of the atlas is (Sorensen T. C, Spudis P. D. 2012).
9. The three maps published by the U.S. Geological Survey are *Color-Coded Topography and Shaded Relief Map of the Lunar Near Side and Far Side Hemispheres* (L 10M 0/0 180 RTK), 1:10.000.000, USGS, 2002; *Color-Coded Topography and Shaded Relief Map of the Lunar West and East Hemispheres* (L 10M 0/±90 RTK), 1:10.000.000, USGS, 2002; *Color-Coded Topography and Shaded Relief Map of the Lunar North and South Hemispheres* (L10M ±90/0 RTK), 1:10.000.000, USGS, 2002.
10. The concept of "network of rationality" of an image is taken up by William Ivins, who uses it in reference to the characteristic graphic net of the most common printing techniques: Ivins W. M. (1953). *Prints and Visual Communication*. Cambridge Mass.: Harvard Uni-

versity Press.

11. *Remarks by the President on Space Exploration in the 21st Century*, speech given by President Barack Obama on April 15, 2010 at the John F. Kennedy Space Center, Merritt Island, Florida. Fully reported in the presidential archives published on the web at <<https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/remarks-president-space-exploration-21st-century>> (consulted on 5 December 2024).
12. Witkin R. (17 luglio 1969). Agnew Proposes a Mars Landing. *The New York Times*, pp. 1, 22.
13. For the first three missions of the Chang'E program see (Li C. et al. 2010a); (Li C. et al. 2010b); (Li C. et al. 2015); (Liu Y. et al. 2014); (Zuo W., Li C., Zhang Z. 2014).
14. The topographic atlas is (Compiling Committee 2012).
15. The photographic atlas is (Compiling Committee 2010).
16. See (Vondrak R. R., Keller J. W., Russell C. T. (eds.). 2010) and (Keller J. W. et al. 2016).
17. Photographic and topographic maps are Trent M. Hare et al., *Scientific Investigations Map (SIM): Image Map of the Moon*, 1:10.000.000, USGS, 2015; Id., *Scientific Investigations Map (SIM): Topographic Map of the Moon*, 1:10.000.000, USGS, 2015. The 2014 global DEM of 118 meters per pixel is available on the website of the USGS Astrogeology Science Center – <https://astrogeology.usgs.gov/search/map/moon_lro_lola_dem_118m> (consulted on 6 December 2024) – and the improved version of 59 meters per pixel of the latitudes between 60° N and 60° S of 2015 – <https://astrogeology.usgs.gov/search/map/moon_lro_lola_selene_kaguya_tc_dem_merge_60n60s_59m> (consulted on 6 December 2024). The photographic and cartographic production derived from LRO data is constantly updated and increased.
18. The homepage of Lunar QuickMap is <<https://quickmap.lroc.asu.edu>> (consulted on 5 December 2024).
19. Schmitt H. H. (1975). The Great Voyages of Exploration. In Cortright E. M. (ed.), *Apollo Expeditions to the Moon*. Washington D. C.: NASA, pp. 266 ff.
20. See (Cisneros E. et al. 2018).
21. See <https://www.ryojiikeda.com/project/x_verse/> (consulted on 6 December 2024).

Lights of the North. Research, observation and sculptural translation of a scientific thought

Gabriella Liva

key words
Northern lights
Photography
Størmer
Pickering
Physical models

"It is my earnest hope that this book may further research on aurora. My work has given me infinite pleasure and satisfaction, but I regard it as no more than a pioneer effort. This fascinating phenomenon, the aurora, guards its secrets well and it may be far in the future before they are completely yielded up to man."

Carl Størmer, Prefazione *The Polar Aurora* p.8, 1955

Introduction

According to Greek mythology, *Eos* is the goddess who announces the birth of the day; ethereal and beautiful on a horse-drawn chariot, she took the name *Aurora* in Roman civilisation¹.

Centuries later, the two ancient cultures were united by Pierre Gassendi (1592-1656) and Galileo Galilei (1564-1642)² in the binomial '*Aurora Borealis*', derived from '*Aurora*', the Roman goddess of dawn, and '*Borea*', the Greek wind of Nordic origin. Since ancient times, polar auroras, vivid bright displays of light in the polar skies, have been the subject of great wonder and scientific curiosity. The rational inability to explain the appearance of these phenomena, both nocturnally and, in some cases, diurnally, in particular remote regions, served as a catalyst for the proliferation of legends, particularly prevalent in the northern regions of the planet: there was talk of coloured trails associated with a narrow torch-lit passage through which the souls of the dead could reach Paradise, or of moving shapes interpreted as symbols of real birth or death connected to the ghosts of extinct people. Despite the absence of a scientific consensus regarding the relationship between the Sun and the magnetic field at the time (Whi-

tehouse 2007), significant observations were made by the danish astronomer Tycho Brahe (1546-1601). Brahe integrated celestial motions with terrestrial dynamics, constructing and utilising sophisticated measuring and testing instruments (Dreyer 2016; Ferguson 2001). The small swedish island of Hven, located in the Øresund Strait between Scania and Sjælland, served as the ideal location for a series of architectures focused on the quantification of celestial occurrences. The *Castle of Uraniborg* (Liva 2023, pp. 438-439) and the adjacent *Stjerneborg Observatory*, literally the Castle of Stars, constructed in 1586, facilitated the observation of a series of auroral phenomena between 1582 and 1598, in proximity to the 55th parallel. Concurrently, the English physician William Gilbert (1544-1603) undertook the first comprehensive investigation of the earth's magnetic field. The results of his research were summarised in his treatise *De Magnete* (1600), in which he stated that the Earth, in his experiments he used a magnetic sphere called *terrella*, from the Latin for 'little Earth', was equal to an enormous magnet and that its strength was at its strongest at the magnetic poles, which were offset from the geographical poles by a few degrees of latitude.

In the following decades, the "sensible experiences" and "necessary demonstrations"³ for the knowledge and measurement of the heavens led various scholars to investigate the magnetism and electricity associated with the phenomenon of the northern lights with greater intensity. Alongside the investigation of the properties of certain materials such as amber, sulphur and other hard stones responsible for combustion phenomena, the existence of an 'electrical fluid' (*effluvium*) was affirmed, linked to the attraction and repulsion of particles in the air and in a partial vacuum, i.e. in an artificially reproduced portion of space in which the pressure was lower than atmospheric pressure. The publication of J. Priestley's book *History of Electricity* in 1767 testified to the curiosity for electrical phenomena oscillating between scientific knowledge and amusement (Heilbron 1979; Canby 1965). It was precisely during the 18th century, and more widely in the 19th century, that laboratory experiments on the effects of electrical discharges produced in a rarefied atmosphere intensified, and special tubular glass containers were made in which simple electrodes were able to generate luminous effects very similar to auroral flashes. A few specimens have come down to us and are preserved under the name "electric aurora tube"⁴.

Scientific explanation of auroral emissions

The northern lights, which are now widely explained (Sandholt, Carlson, Egeland 2002; Kragh 2009), are arcs or flashes of light that have developed from

superstition into an example of acceptance of the scientific method. They are optical auroral emissions in the upper atmosphere of the polar regions of our planet, which are evidence of solar particles falling from the cosmos onto Earth. The Sun's gravitational field is unable to maintain the atmosphere's cohesion, leading to its expansion into the Universe and the formation of the 'solar wind', which consists primarily of protons and electrons. These particles, characterised by their low density, interact with the Earth's magnetic field⁵ upon reaching the planet, resulting in the observed phosphorescent rays and drapes that extend primarily along the 70th parallel [fig. 1]. The statistical distribution of these phenomena is connected to the orientation of the geomagnetic field with respect to the ecliptic plane, and their nature falls into the realms of optics and electromagnetism. The colours exhibited by these phenomena are justified by three variables: the presence of gases that make up the atmosphere, the height at which these phenomena develop, and the energy of the solar wind particles⁶. A continuous oval zone, known as the 'auroral oval', is created around the magnetic poles of both hemispheres, boreal and austral. The projection of this oval on Earth determines the "auroral zone", where phenomena can be observed more frequently and with greater intensity [fig. 2].

The auroral oval varies in size depending on the intensity of solar activity; if the latter increases, the oval widens towards the equator, rendering the phenomenon visible at lower latitudes [fig. 3]. At the sub-molecular level, upon impact of a particle of the solar wind with the electron of an oxygen or nitrogen atom, the electron itself is charged with energy and jumps to a higher energy level. The electron, being unstable, tends to restore the initial situation by releasing acquired energy in the form of light radiation, with a wavelength of 550 nm, which the human eye perceives as green light, the prevailing colour of the northern lights. The colouring depends on the atoms involved in the collision: if the oxygen atom is hit by the low-energy electrons, it emits red light, and the nitrogen atom emits blue light. Due to the variations in altitude where these phenomena occur, the colours blend together to create iridescent spectacles with shades of purple, pink, yellow and white⁷.

Scientific calculation, physical experimentation and photographic technique to explain and measure light

Until the mid-19th century, scientists erroneously believed that the strange, vibrantly coloured lights, most clearly visible during the winter months, were merely reflections of the Sun's rays on giant floating icebergs or lightning flashes at high altitudes. It was the English astronomer Richard Christopher Carrington (1826-1875) who, in 1859, realised that

1. Example diagram of Sun-Earth interaction. Software used: 3DS Max 2025 (graphic elaboration by the author, 2024).
2. Example diagram highlighting auroral zones. Software used: 3DS Max 2025 (graphic elaboration by the author, 2024).
3. Representation of the concentration of auroral phenomena. Red colour: high latitude; orange colour: medium latitude; yellow colour: low latitude. Software used: Autocad 2025 (graphic elaboration by the author, 2024).
4. Kristian Birkeland and Carl Størmer, observations of the northern lights, Bossekop, February 1910 (photo A. B. Wilsø/Norsk Folkemuseum).

the phenomenon was in fact linked to the Sun's activity. Consequently, a series of expeditions to the northern polar latitudes were initiated, among which the *Fram*, led by the explorer Fridtjof Nansen (1861-1930), traversing the Arctic Ocean, is particularly renowned. The explorer's account, *Fram across the Polar Sea* (1897), and his captivating illustrations, offer compelling evidence of the remarkable manifestations of auroral phenomena in arctic regions. Professor Kristian Birkeland's (1867-1917) subsequent expeditions with Nansen had a significant influence on Fredrik Carl Störmer's (1874-1957) decision to pursue research in the field of photography. Störmer, a Norwegian mathematician with a passion for photography, was inspired by Birkeland's work. Due to Norway's strategic position relative to the auroral oval, Birkeland established a network of observatories in the Norwegian regions that collected data on the magnetic field [fig. 4].

In 1906, he presented a demonstration at the University of Oslo, elucidating the mechanism by which the aurora is triggered. Specifically, he postulated that cathode rays (then conceptualised as such, and presently designated as electrons) are ejected from the Sun and subsequently directed towards the Earth's magnetic poles (Chapman 1958).

In the laboratory, Professor Birkeland used Gilbert's *terrella*, a device consisting of a sphere covered with a cathode ray fluorescent substance. Inside the sphere, an electromagnet was positioned so that the object through which the current flowed became as magnetic as it had been 300 years earlier. The sphere was then suspended in an artificial cosmic space, a glass vacuum vessel, and a beam of cathode rays was directed into it. When the magnet was activated, the hemisphere of the sphere facing the cathode became phosphorescent and the cathode rays then avoided the surface of the sphere, except for certain areas corresponding to the polar regions. At the South and North poles, the rays formed two cones of light with a beam structure that could be clearly observed up to 5 cm from the sphere⁸ (Birkeland 1908). It was the continuous experiments with the bending of the cathode rays in the field of the uniformly magnetised sphere that caught Störmer's attention, leading him to state that “[...] what he [Birkeland] then said to me made a deep impression on my mind and determined the direction of my future studies” (Contu 1932, p. 258). Störmer came up with the idea of calculating the trajectories of electrons under the action of a magnetic globe, applying the results first to Birkeland's experiments and then to auroras in order to theoretically trace the characteristic lines of the phenomenon. He worked for many years on the mathematisation of the Aurora Borealis and formulated the first integrals of the equations of motion of particles moving at a constant speed⁹.

A further step forward in the knowledge of electron behaviour was related to the demonstration that charged particles, moving in the Earth's magnetic fields, are confined in specific volumes around the Earth from which they cannot escape. In 1903, Störmer devoted himself to what he called “forbidden regions”, which he also demonstrated experimentally in simulations of the Birkeland *terrella*. Within a “forbidden region”, particles charge and spiral around the magnetic field, bouncing back and forth along it. Störmer had assumed that large parts of the forbidden regions were completely empty of charged particles. Using a series of synthetic diagrams, the mathematician represented, by means of cross sections, the areas in which the particles were present (white regions) and those in which they were absent (black regions)¹⁰ (Störmer 1955, p. 425) [fig. 5]. Störmer's research encompassed a variety of documents, including working papers, books and photographs, which collectively addressed the notion of 'becoming visible' to that which is often perceived as elusive and insubstantial. It was precisely the absence of a rational explanation that fuelled his profound interest in researching complex formulas for tracing the movements of the orbits of light. This research culminated in the creation of a photographic atlas of auroral shapes, height-frequency diagrams of trails, and numerous synoptic charts that projected a multitude of auroral arcs onto the plane. He recorded auroras with ray structures, auroras with sharp lower-edged arcs, arcs and bands with extended expansions, series of punctual rays arranged next to each other, and between 1909 and 1957 mapped light emissions (Störmer 1910) [fig. 6].

Utilising a pocket spectroscope, the mathematician examined the night sky, seeking spectral evidence of auroras and discerning the primary and recurrent colour characteristics of these phenomena¹¹. Moreover, he published descriptions of distinctive types of auroras, distinguished by their atypical morphology, movement, pulsation, or altitude. In addition, he identified novel properties for those illuminated by the Sun, specifically at elevated altitudes where the sun's rays persisted.

In order to obtain more data on the aurora and to compare theory with practice, as mathematical calculations and laboratory simulations were insufficient to reveal the appearance of the luminous emission, a photographic method was developed and successfully applied to determine the height and position of the aurora [fig. 7]. The main results were obtained from the analysis of a large number of parallactic photographs from known stellar backgrounds [figs. 8-9]. Störmer urged Ole Andres Krogness (1886-1934), one of Birkeland's assistants, to construct an effective auroral camera, experimenting with all available types of lenses and film plates. The

5. Synthesis diagrams of the “forbidden regions”.
C. Störmer, *The Polar Aurora*, 1955.

6. Classification of boreal auroral phenomena (source: Carl Störmer/*Norwegian Museum of Science and Technology*).

7. Basic scheme of the photographic method. This is followed by algebraic calculations that take into account the sphericity of the Earth.
Software used: Autocad 2025 (graphic elaboration by the author, 2024).

8,9. Measurement of the boreal auroral phenomena on fixed stellar background.
(source: Carl Störmer/*Norwegian Museum of Science and Technology*).

10. Model of solar particle trajectories with metal filaments. On the right is the Earth's sphere (source: Carl Störmer/*Norwegian Museum of Science and Technology*).

Norwegian mathematician devoted himself to direct observation of the phenomenon, with the aim of determining the geometric form and thus the actual shape, height and position of the aurora in space. The photographic method promised optimal results, despite the fact that the nocturnal flashes were often of low intensity and animated by very rapid movements. Systematic trials began in 1909 with the lens of a film camera suited to both light intensity and short focal length. Utilising lenses from the Ernemann company in Dresden and ultra-sensitive violet-labelled Lumière plates, intense auroras were captured with exposures of less than one second. Two stations, connected by telephone and at least 30 km apart, were employed, capable of framing the same portion of the sky. The two photographs obtained were not identical, although at a quick glance they contained the same stars and the same portion of light. However, a closer inspection revealed that the position of the auroral phenomenon relative to the background differed between the two plates. Once the location of the stations was ascertained, the elements that defined the duration of the exposure were determined, and the different position of the aurora in the two frames was measured, it was possible to proceed with the calculation of the height of the phenomenon and its spatial conformation.

Sculptural forms of physics and mathematics

The mathematical calculations and hypotheses of the interaction between the Sun and our planet were translated by Störmer into a very fascinating three-dimensional sculptural form, capable of transforming entire sequences of numerical values into concrete material patterns that seemed to dance in space¹² [fig. 10]. In many pages of his book *The Polar Aurora* (1955), the professor illustrated his algebraic results with effective physical models of metal wires to explain cosmic emissions, and with diagrams or synthesis diagrams to record and catalogue the shapes and frequencies of high-altitude lights (Störmer 1955, pp. 427-442).

In order to deduce the trajectories of the particles responsible for auroral phenomena, some models were based on the representation of the movement of a single electron emitted by the Sun in the direction of the sphere constituting the Earth: "from 1904 to 1907, about 120 different trajectories were numerically calculated, an enormous task requiring almost 5000 hours of calculation and several kilos of paper" (Contu 1932, p. 260). Using an electron, which in the laboratory is equivalent to a small electric current that is deflected by magnetic fields, Störmer plotted different trajectories and concluded that they do not follow a straight line but a helical motion. "Their shapes vary greatly and, as the electron approaches the Earth, they resemble more and more

the helical spirals that can be formed by drawing a straight line over a thin transparent film of jelly and rounding it like a cone of revolution" (Contu 1932, p. 261). The metaphor used made it clear how the force of the magnetic field affected the propagation of the charge, forcing it into a roto-translational motion around a conical surface as it approached and then receded from the apex.

After numerous attempts, Störmer decided to reverse the method of study, starting not from the Sun to check the trajectories, but from the Earth and then back to the Sun: "[...] a calculation, that is, backwards, which mathematical methods allowed me to do. Proceeding in the calculation up to the distance at which the Sun is, I come to find and the position of the Sun corresponds to the trajectory itself and the direction of emission" (Contu 1932, p. 261). From the vastness of sidereal space to the human dimension, the physical models consisted of copper filaments a few millimetres thick, wrapped in white silk fabric and supported at height by rows of slats recovered from ordinary umbrellas¹³. The clear trajectories had varied curvatures and their physical representation could not be reduced to a straight line. Starting from a single electron, assumed to be a visible sphere, it was possible to account for its flexible displacements in space in an x, y, z reference system. By dividing the trajectory into a number of known positions in mathematical space, the projection of the trajectories was first drawn on the support plane and then the metal cues representing the individual dimensions were inserted [fig. 11]. The construction of one trajectory was followed by models with several trajectories that would suddenly thicken and bend at the Earth, a sphere with a larger radius. Many hours were spent on the numerical calculation of station points and the construction of a complete orbit. These configurations isolated the phenomenon and simulated its behaviour in space to make Birke-land's experiments more understandable¹⁴.

The sculptural transposition of natural phenomena and their evolution through time thus testifies to the attempt to make visible and controllable the immaterial contact between Heaven and Earth, between the Sun and the Earth, between the macrocosm and the microcosm, inscribing its models in a series of configurations that express the human desire to capture the cosmic light and to give visible and tangible forms to a scientific thought that goes far beyond its utilitarian function¹⁵.

This approach to research links the figure of Carl Störmer with that of John Pickering (1934 - 2016), an English artist who used mathematical rigour and order to translate lists of numbers into sculptures of intriguing morphologies. Challenging the boundary between Euclidean and non-Euclidean geometry, Pickering began to work directly with the basic

11. Axonometric view and orthogonal projections of the trajectory of an electron from the physical models made by Störmer. Software used: 3DS Max 2025 (graphic elaboration by the author, 2024).

12. Inversion principle (graphic elaboration by the author, 2024).

13. John Pickering. *Model 1: Inverting a cylinder, the centre of inversion not lying on the cylinder, also connecting ellipses by projection.* John Pickering collaborated with George Legendre to incorporate his research into a CAD system to produce this laser-cut and 3D-printed version of the original handmade model (John Pickering Foundation).

Image p. 32 Classification of boreal auroral phenomena (source: Carl Störmer/Norwegian Museum of Science and Technology).

principles of algebra, with numerical sequences and, more precisely, with the many variables of an equation capable of describing a two-dimensional transformation called "inversion"¹⁶ (Liaropoulos-Legendre 2006). In figure 12, the point P inside the circle (inversion circle) corresponds to the point P' (where P' is the inverse point of P). If P does not coincide with P', P and P' are aligned with the centre O (centre of inversion), the distances of P and P' from the centre O are related in such a way that the product of the distances of the two points from the centre is equal to the square of the radius: $OP \cdot OP' = r^2$, where r (radius of inversion) is the radius of the circle of inversion. Thus, given the point P and the length OP, the length OP' can be calculated using the simple equation $OP' = r^2 / OP$.

Like Störmer, whole pages of analysis and figures were the result of models, calculated and constructed by hand, using numerous paper profiles cut out and glued together over many hours of work. Each element, of varying thickness, was engraved or marked with a series of reference lines that summarised the work of calculation and algebraic analysis. Finally, the models were placed on or connected to a plane that revealed the process of inversion, which leads to a two-dimensional design of points, lines and planes that are then developed and positioned in space, confirming the close relationship between the real object and its projected image [fig. 13]. The sophisticated interweaving of forms leads us to interpret and understand, step by step, the evolution of geometries, moving away from Euclidean principles to explore new spatial entities related to topological transformations [Liva 2008].

Digital representations

The ongoing research is based on Störmer's archival and documentary material held at *The Norwegian Museum of Science and Technology* in Oslo and a series of publications made available online. Photographs, letters, reports on charged particles in the magnetosphere, photographic instruments and texts have made it possible to reconstruct, step by step, the methods he used to study, control and justify the extraordinary phenomena of lightning.

The analysis, redesign and realisation of digital models of the calculated orbits and celestial positions of the auroral phenomena have precisely the aim of representing and making more comprehensible a physical-astronomical event that can be traced back to a precise scientific logic. Like Störmer, this research combines the microscopic dimension of cathode rays with the macroscopic dimension of extraterrestrial events. The first phase concerns the visualisation of particle trajectories: supported by mathematical calculations and laboratory experiments, it is possible to trace the rototranslational motion of electric charges,

simulating the approach and departure of the Earth on a small scale. The subsequent digital translation of the numerous models would allow a dynamic view thanks to animations that simplify the spatial complexity and break down the phenomenon into discrete elements. The presentation of the equations of motion would be facilitated by algorithmic modelling that would allow the numerical values indicated by the Norwegian scientist to be varied in real time. A second phase involves a series of simulations on the celestial sphere, starting with the astronomical diagrams reported by Störmer in his book *The Polar Aurora*. The parallax method, supported by algebraic formulae, identifies well-defined parts of the sky on which the positioning of the light phenomena can be anchored. The method used in photography, where the double projections were superimposed on a light table so that the background stars coincided, can be reproduced more accurately in the digital environment. Similarly, the angular distance between two stars, which could be obtained from star catalogues or calculated using mathematical formulae, can be verified directly on three-dimensional models oriented and georeferenced in relation to the Earth's geography. In fact, trigonometric constructions must be applied to a spherical surface, not a flat one, and it is interesting to reconstruct the three coordinate systems used by Störmer. The graphical methods he proposed for quickly finding the angles of 'triangles' on spherical surfaces were intended to mark the main points for tracing light paths on the map. Once the shapes and distances of the northern lights have been determined, it is finally possible to create a digital atlas that collects, classifies and implements the index compiled by Störmer for greater dissemination and appreciation of the northern lights.

Conclusions

In the light of these considerations, one can see the interest in mathematical-scientific knowledge and geometric-artistic interpretation. Looking at Störmer's research methodology, which is partly similar to Pickering's, we can see how a passion for calculation becomes an obsession with understanding the numerical sequence and finding a representative logic that can translate algebraic equations into images and models capable of visualising the complexity of a phenomenon. The data that made the Aurora Borealis understandable, the use of photography to compare images that were accurate enough to be used as a basis for studying the positioning of light in the atmosphere, the application of a mathematical formula to generate imaginary geometric spaces, demonstrate the effort to interpret and communicate scientific thought also through art or the tools of representation. The drawings, diagrams and models become concrete traces of synthesis, part of an

artistic research aimed at creating effective images for the valorisation of mathematical concepts that are difficult to understand. The columns of numbers, apparently cold and repetitive, give way to dynamic movements of dots, straight and curved lines, surfaces that rise from the plane and conquer space, translated into a physical representation in which the skill and manual patience of their creators become a means of communicating abstract or invisible concepts. In particular, Störmer's exploratory and multidisciplinary approach, which analyses, documents and appropriates several fields of knowledge - from mathematics, physics and astronomy - makes the movement of light visible and tangible, and before that, the origin of light emission, revealing its most intimate nature. By drawing, classifying data, photographing, scientifically calculating and physically constructing the phenomenon, Störmer has handed down to future generations a working method that will allow us to continue our research and unravel the mysteries of the aurora borealis, capturing the complexity and distance of light¹⁷.

In conclusion, just as Pickering's physical endeavours in recent years have complemented his computational design by initiating various artistic collaborations with other creatives - notably Foster and Partners' Specialist Modelling Group and George L. Legendre, director of IJP Architects - so Störmer's calculation and patience in finding equations of motion can be managed through the use of a computer that can digitally reproduce, explore and preserve the memory of the mathematical form of the Universe and the extraordinary physical models of cathode rays¹⁸.

Credits and acknowledgement

We would like to thank the *Norwegian Museum of Science and Technology* in Oslo for their valuable cooperation, especially the director Frode Meinich and the archivist Arne Langleite for the valuable material concerning Carl Störmer. We also thank the collaboration with the *John Pickering Foundation*.

Notes

1. Aurora: from the Latin *aurum*, gold, or from the Sabine *ausel*, the name of a sun goddess
2. The term is found in Galileo Galilei's *Il Saggiatore* (1623) (Brunetti 2005, p. 690).
3. The application of the scientific method, advocated by Galileo Galilei in *Il Saggiatore*, was adopted in all fields of knowledge.
4. An electric aurora can be seen at the *Museo Galileo - Istituto e Museo di Storia della Scienza* <https://catalogo.museogalileo.it/oggetto/TuboAuroraElettrica.html> or the Department of Mathematics and Physics Museum <https://web.le.infn.it/museo/tubo-per-laurora-elettrica-2/> <https://catalogo.museogalileo.it/oggetto/TuboAuroraElettrica.html>.
5. The magnetosphere, the Earth's shield against ionising radiation and cosmic rays, depends on the astronomical orientation of the geomagnetic field with respect to the solar wind.
6. Auroral emissions are most intense during magnetic storms caused by intense sunspot activity.
7. Normally up to 95 km the light appears blue, above 95 km violet, up to 160 km green, above 240 km red.
8. These experiments were also aimed at studying disturbances in the earth's magnetism, also known as "storms" or "magnetic gales".
9. From the first integrals, he drew valuable and enlightening inferences regarding nature's trajectories, and from the calculations he deduced a variety of orbits amounting to at least 48.
10. In the 1960s, after Störmer's death, the study of "forbidden zones" attracted attention in connection with the formation of radiation belts within the Earth's magnetosphere, leading to the definition of what are now known as "Van Allen belts".
11. In the field of auroral spectroscopy research, the physicist Lars Vegard (1880-1963), who was recognised as the world's foremost authority between about 1910 and 1950, was particularly active.
12. The modelling of celestial mechanics became an integral part of Störmer's section at the 14th Istanbul Biennial 'Saltwater: A Theory of Thought Forms', thanks to the work and passion of the museum's photo archivists, Arne Langleite and Thale Elisabeth Sørliie (*Istanbul Foundation for Culture and Arts* 2015). The presentation of the project included the following words from the preface of Störmer's famous book *The Polar Aurora* (1955): "What can happen when a pure mathematician is also a passionate amateur photographer". The exhibition was spread over all three floors of the building and included photographs, photo albums, research material, books and objects from the mathematician's archive. The Biennale demonstrated the close relationship between mathematical calculation and its artistic representation.
13. At that time, Störmer bought a large number of ribs from a Norwegian umbrella factory in Bergen. After a few years, the local manufacturer became suspicious and thought that Störmer was developing its own factory in Oslo. He refused to supply any more ribs until the nature of Störmer's project had been satisfactorily explained. The matter was trivially resolved by a handwritten letter from Störmer in which he promised not to build an umbrella factory, but to use the metal material exclusively for his research in the mathematical-astronomical field.
14. Although today it is difficult to establish the exact number of Störmer orbit models, certainly more than 60 were built. There are around 120 illustrations/drawings showing different orbits.
15. Personal website of the artist: <https://www.johnpickeringsculptor.com/> (accessed 7 December 2024).
16. The inversion with respect to a circle or transformation by reciprocal vector radii is a construction introduced by Jacob Steiner in the 19th century to generate an infinite number of points. The circular inversion provides

an interesting example of a geometric transformation, a correspondence in which each inner point of a circle corresponds to an outer point and vice versa, with the only exception that the centre of the circle itself is not transformed into another point of its own, but rather into one that is infinitely far away.

17. It is thanks to Birkeland's hypothesis and Störmer's mathematical calculations that we know certain characteristics of the aurora: charged particles of solar origin are the main source of the aurora; the introduction of an annular electric current explains the geographical location of the aurora; the Earth's magnetic axis explains the geographical location of the auroral zones. The alignment of auroral rays parallel to geomagnetic lines of force; the alignment of auroral bands perpendicular to geomagnetic lines of force. The systematic laboratory experiments were supported by a series of data obtained from photographic observations.
18. The author's ongoing research involves the analysis, redesign and creation of digital models of the calculated orbits and the representation of the celestial positioning of auroral phenomena.

Architecture Between Heaven and Earth. Drawing as the Epistemology of Contemporary Sacred Space Design

Laura Farroni

Key words
Sacred Space
Geometry
Light
Francesco Cellini
Atelier ABDR

Introduction

The theme *Crossing Time* is explored in this essay through architectures dedicated to Catholic Christian worship, demonstrating its most architecturally rooted interpretation (Muratori 1956)—that is, the quality of spatial configurations in relation to the sphere of the transcendent and the cosmic vision. History has shown that the relationship between architecture, geometry, and astronomy can be both visible and per-

ceptible, as well as invisible, underlying the manifestation of phenomena in the traces of human intervention (Farroni, Incerti, Pagliano 2024; 2023). A prime example of this, indeed, is found in places of worship across the centuries. The science of representation, however, is capable of revealing not only the symbolic dimension present in them but also the astronomical aspects closely tied to the geometry of light—the element entrusted with the manifestation of the divine and the meditative sphere.

Designing sacred space, in fact, involves strategies for symbolic, structural, functional, formal, and material definition, as well as the conditions for activating the perception of the mystical sphere. The architecture representing these spaces serves as a threshold where heaven and earth meet, regardless of geographical location or liturgical doctrine. This essay aims to illustrate, through graphic analysis and three-dimensional virtual reconstructions, the outcomes of design actions in the creation of architectures dedicated to the relationship between humanity and the transcendent. The goal is to present solutions to value-based and human needs through a dialogue between the material and immaterial, the physical and conceptual, light and shadow. The focus is on three examples of Catholic churches designed in Italy by Francesco Cellini and Atelier ABDR in the transitional period between the 20th and 21st centuries, located in three different regions: Lombardy, Lazio, and Puglia¹.

Some Preliminary Considerations

Before presenting the case studies, it is necessary to establish a few key premises.

The first concerns the concept of *architecture between heaven and earth*, the second addresses the choice to consider drawing as a form of architectural knowledge, and the third reflects on the evolution of worship spaces today. This last point reinforces the intention to preserve traces of creative experiences tied to individual religious practices, serving as testimony to possible solutions developed over time that may inform contemporary design directions.

Architecture Between Heaven and Earth

The architectures examined here can be understood as structures designed to activate the perception of the mystical sphere through material elements and configurations, in accordance with the directives of the Second Vatican Council—which, it must be noted, prompted a significant transformation in the architectural design of sacred buildings, reorganising religious functions while addressing the new demands of modernity (Benedetti 1995, 2000; Santi 2022).

Architecture between heaven and earth is an evocative expression describing buildings and structures

that establish a conceptual and physical connection between the terrestrial environment and celestial space through visual and sensory triggers shaped by spatial form and the movement of light. The path of light is of fundamental importance, representing the link between the celestial realm and its astral bodies and the traces of human intervention.

These are constructions that—through their positioning, orientation, form, materials, and symbolism—create a visual and conceptual relationship between the earthly dimension (a mark of human presence) and the celestial (the cosmos), evoking a sense of spirituality and connection with light, the physical element that renders the defining features of the cosmos perceptible. The design of such architectures (Moretti 1968) pays particular attention to the relationship between interior space and external envelope, with multiple solutions possible depending on the treatment of natural light. Light is tasked with shaping interior spaces to create atmospheres that evoke sensations of transcendence or contemplation. The typological-morphological aspect is thus a deliberate choice by the designer, alongside materials and structures, through which light expresses colours visible to the human eye. Astronomy, in this context—understood as the science that studies and observes celestial bodies—underpins the design. *Architecture between heaven and earth* embodies the knowledge acquired from astronomy, translating the forms of the sky through the designer's vision and establishing visual lines towards it. Interior spaces exist across multiple levels, at times even embracing the absence of light.

These architectures can also integrate with the landscape. Even when featuring subterranean spaces, they may offer expansive views of the sky, the horizon, or the surrounding environment, fostering a sense of openness and connection with nature. This occurs in the ancillary spaces, which are now integral to the design of parish complexes that include the church itself.

An additional aspect, though not addressed in this particular study, is the symbolism and metaphors that may be present in such buildings. Forms, materials, and decorations can evoke celestial elements—such as domes recalling the vault of heaven (Incerti 2025), colours associated with the sky, or spiritual and religious motifs that bridge the earthly and the divine.

In summary, *architecture between heaven and earth* does not refer to a specific architectural style but rather to a way of conceiving and designing buildings—particularly Christian churches—that emphasises the relationship between human construction and the vastness of the sky and surrounding space through light. The analysis of these works will thus seek to express not only the aspiration for elevation, connection with nature, defiance of gravity, or

exploration of perceptual and spatial limits, but also the duality of architecture: its grounding in the earth and its capacity to project upwards, shaping the experience of both landscape and sky.

On Drawing

The works analysed below were never built and are therefore studied solely through their design drawings. Drawing thus assumes a dual role.

On one hand, the drawing/picture serves as an object of analysis, containing multiple layers of meaning—evocative, semantic—and is subject to descriptions of content, the grammar and syntax of its signs, and the ontologies underlying the graphic project in relation to the architectural design. On the other hand, drawing functions as an analytical process, a tool for understanding spatial design—in this case, specifically contemporary sacred space. The former expresses design choices and strategies, while the latter serves as an analytical instrument to comprehend the architectural proposal and communicate the findings of this understanding.

Drawing is understood as the *epistemology of design*—that is, a methodological scientific approach to uncovering new knowledge about the perception of architectural representation, which may vary from observer to observer despite the use of a codified language of signs and symbols. Working analytically with the original project drawings allows primary sources to be placed on a distinct level, separate from multiple interpretations, combining philological and critical approaches in a process of study and valorisation. Descriptive graphic analysis, employing the methods and tools of representation, extracts project information and subjects it to verification through digital reconstructions. These not only structure and systematise new knowledge but also demonstrate its validity according to degrees of reliability (the literature on digital reconstructions is extensive, though this is not the place to review it).

Through drawings, the temporal dimension of the project is explored in a recomposition of its generative process. And through redrawing, the temporal dimension of spatial experience and the qualities of spatial configurations—in these cases, tied to light paths and partitions (Holl 2004)—are conveyed. Drawing discretises the designer's investigative process, a continuous interrogation between what is seen and what is perceived (Tagliagambe 2025). This highlights the dual value of drawing: as a primary process and as a redrawing by the field's experts.

The analysed drawings belong to the following projects:

– Chiesa della Pentecoste by Francesco Cellini with Andrea Salvioni and Marta Sena Augusto, in Quarto Oggiaro, Milan (2001). Commissioned by the Diocese of Milan, the project was short-

1. Church of Pentecost in Quarto Oggiaro by Francesco Cellini. Left: View of the project within the urban fabric; right: Static rendering of the forecourt.
2. Church of Pentecost in Quarto Oggiaro by Francesco Cellini. Orientation diagrams, 3D view of the complex, and redrawn plan.
3. Church of Pentecost in Quarto Oggiaro by Francesco Cellini. Functional diagrams and modular grid layout.
- 4-5. Church of Pentecost in Quarto Oggiaro by Francesco Cellini. Static renderings of the interior.

listed in a competition but never realised, with a planned area of 1,800 m².

- Chiesa di San Giovanni Battista in Lecce by Francesco Cellini (1998–1999), located on Via Ragu-
sa, Lecce, commissioned by the Italian Episcopal
Conference. The project was analysed in its preli-
minary phase, with a planned area of 1,715 m².
- Chiesa dei SS. Cirillo e Metodio in Rome, desi-
gned by Atelier ABDR (2001) in the Dragoncello
district of Acilia.

Multi-Religious Spaces and Inclusivity

Finally, before describing the projects, it is impor-
tant to note the ongoing discourse on the role of
multi-religious and multifunctional spaces for urban
communities, and the studies exploring scenarios for
fostering inclusion and coexistence (Numrich 2023;
Burchardt, Giorda 2021). Unlike traditional sacred
spaces tied to a specific religion, contemporary multi-
religious spaces are not necessarily bound to a
single religious doctrine or institution. They may ac-
commodate individual, eclectic, or secular spiritua-
lity, where subjective and inward experience takes
precedence alongside others.

As such, these spaces must be conceived—or at le-
ast characterised—by conditions that facilitate inner
journeys, whether introspective, meditative, or aimed
at connection with something greater than oneself
(Rötting 2021). They may take permanent or tempo-
rary forms, be open or enclosed, indoor or outdoor,
and must adapt to the diverse practices and needs of
their users. Variations include natural spaces, medi-
tation areas, artistic and cultural venues, community
hubs, virtual spaces, and even individual settings re-
purposed for contemplation.

What is relevant here is that the diversity of such
spaces stems from contemporary life. In an era often
marked by uncertainty and haste, they offer oppor-
tunities to pause, gather, and listen to silence. They
tend to be welcoming environments for people of
diverse backgrounds, beliefs, and orientations.

Thus, we may assert that sacred space can arise from
varied intentions. Understanding the design research
behind spaces that bridge the human and the trans-
cendent—engaging the mystical sphere while defi-
ning the evolution of architectural culture between
heaven and earth—can prove valuable in interpre-
ting the spatio-temporal dimension, irrespective of
individual religious faith.

Analysis and Virtual Reconstructions of Architectu- res Between Heaven and Earth

The Church of Pentecost in Quarto Oggiaro by Fran- cesco Cellini: Lateral Light

Francesco Cellini's intervention stands out for its
integration into the high-density urban context of

Milan [fig. 1], where the scalar relationships betwe-
en the proposed design and the surrounding neigh-
bourhood buildings are clearly evident. Three inter-
connected parallelepiped volumes are arranged on a
modular grid, intended to regularise the layout of the
existing urban fabric. These volumes are characteri-
sed by voids or subtractions designed to allow natu-
ral light to penetrate the interior spaces. The varying
heights ensure the entry of sunlight, which is chan-
nelled through a deliberate interplay of opaque and
transparent surfaces.

These are architectures immersed in the sky. The ho-
rizontal roofs deny any direct relationship with the
sky, which is instead accessed through cavities for-
med by flat surfaces that cast shadows and protect
vertical transparencies. The dominant square shape
in plan suggests stasis and transcendence, further
enhanced by the lateral luminous effect. While the
light accelerates the space longitudinally, it also
emphasises the liturgical spaces aligned with its di-
rection. These spaces function as temporary enclosu-
res that transform throughout the day.

The main functions can be summarised as follows:
a forecourt, the church with ancillary services, and
an internal cloister. The single-nave plan, devoid of
an apse, positions the altar along a north-south axis,
with the main entrance facing south onto the fore-
court [fig. 2].

The distinctive design choices that establish the
relationship between heaven and earth include: an
opening towards the park, allowing the forecourt
to serve as a welcoming urban square; and a closure
towards the railway, limiting visibility and noise.

The entrance volume is lower in height than the nave,
enabling the folded surface of the roof to envelop the
space below. This design facilitates the reflection of
sunlight, which then passes through the vertical gla-
zing of the nave [fig. 3].

Conceptually, the volumes clad in dark slate stone
are tasked with enclosing and containing, while lea-
ving passageways for the flow of light, which unfolds
in a three-dimensional modular path. A dimensional
rhythm defines elementary geometries and their re-
lationships, both in plan and elevation. The form and
position of the nave appear to contrast with the encom-
passing volume, yet the light creates variable luminosi-
ty—warm towards the altar (reflected from the south)
and cool towards the ambo (Cellini 2016, p. 162).

The trajectory of light is meticulously represented in
the preliminary project drawings. Francesco Celli-
ni's perspectives and perspectival sections, rendered
in pastels on coloured card, highlight the effects of
the sun's apparent movement throughout the day, ac-
centuating the spaces and their designated functions.
The architect describes the nave as follows: "a simple
box, gathered at the two sides of the presbytery, is
warm and intimate; it is surrounded below by a dark

6.
Church of San
Giovanni Battista
in Lecce by
Francesco Cellini.
Project integration
into the site and
perspectival
redrawing by F.
Cellini.

7.
Church of San
Giovanni Battista
in Lecce by Francesco
Cellini. Redrawn
plan and elevation;
3D spatial analysis
in section.

8.
Church of San
Giovanni Battista
in Lecce by Francesco
Cellini. Functional
diagram.

9.
Church of San
Giovanni Battista
in Lecce by Francesco
Cellini. 3D spatial
configuration
analysis.

10.
Church of San
Giovanni Battista
in Lecce by
Francesco Cellini.
Static renderings
of interior
configurations.

ambulatory and above by the diffused, muted glow of the reflected sky" (Cellini 2016, p. 165).

In this context, the original drawings by F. Cellini are not presented; instead, a series of redrawings have enabled the reconfiguration of the intended spatiality in a three-dimensional environment [figs. 4-5].

The Church of San Giovanni Battista by Francesco Cellini in Lecce: Geometries for Light

A large trapezoidal forecourt forms the entrance to the parish complex. Through an inclined plane, visitors can access both the church space and the parish facilities [fig. 6].

The volumes comprising the church appear sculpted, resulting from geometric operations between quadric surfaces and rectangular parallelepipeds (Farroni, Mancini 2022). The configured space is distinguished by its enveloping perception, achieved through the creative use of two right cones with different directrix radii, intersecting with the parallelepipeds. This generates both planar conic sections (hyperbolas) that shape the masonry along the church's axis and cavities upon which light falls [fig. 7]. Geometry, therefore, defines this project, guiding the distribution of functions in plan [fig. 8] and the control of light within the space, aiming to capture the sky or evoke a celestial sphere.

The orientation follows a predominantly north-south axis [fig. 7], with the funnel-shaped forecourt widening towards the church entrance and extending northward, merging into the two semicircles generated by geometric intersections. One semicircle functions as the baptistery and faces north, while the other accommodates the ambo and faces south. The Eucharistic chapel is located beyond the presbytery, aligned with the church's axis, and is distinguished by an opening for zenithal light. The functions are distributed across different levels: the baptistery is lower, the assembly area rests on a slightly inclined plane rising towards the presbytery, and the ambo projects over the congregation (Cellini 2016, p. 152). To the west are sports facilities, while to the east are the pastoral ministry offices and the rectory, suggesting spaces for clerical work, meetings, and residence. These areas open onto a garden planted with olive trees (Cellini 2016, p. 152).

The light is diffused, accentuating the carved masses, and the distinctive patterns resulting from transverse sections narrate the control of complex spatiality. The varying heights visible in the transverse and longitudinal sections allow light to penetrate with differing intensities throughout the day [fig. 9]. The offset placement in plan of the two semicircles of different sizes enables sunlight to spread unevenly, touching both the locally sourced stone floor sloping towards the presbytery and the polished, dark stone floor of the baptistery. Finally, the interior surfaces

are plastered and feature a perimeter band of local stone [fig. 10].

Parish Centre of SS. Cirillo e Metodio by Atelier ABDR in Acilia: Form, Light and Construction

The project is signed by Atelier ABDR, comprising Maria Laura Arlotti, Michele Beccu, Paolo Desideri and Filippo Raimondo, and finds reference in the rural churches of Sardinia, particularly in the stone cutting techniques and materiality. The reference to the Church of S. Platano in Villa Speciosa is evident. The centre was conceived for an area outside the historic city, towards the sea in the Dragoncello locality of Acilia. The design team was particularly extensive, including theologians, engineers and artists alongside architects.

The project appears highly complex, with graphic documentation progressing from evocative hand-drawn sketches to the definitive phase drawings, which also detail liturgical elements such as the baptismal font and altar. Situated on a plot at the crossroads of major thoroughfares, its definitive planimetric form presents a connection between primary shapes - the result of transformations of a rectangle and the insertion of circular and square forms representing the sky, celestial vault and earth [fig. 11]. The presence of formal allegories is evident not only in plan but in three-dimensional space, where the search for diverse visual perspectives emerges through suspended spaces such as the choir, symbolically referencing the tradition of basilican layouts. Three conceptual principles guide the design: the stasis sought in the church and chapels; the dynamism of walking and progression understood as advancement and ascension, embodied in the Stations of the Cross along a perimeter ascending path; and the connection between spaces, environments and elements that regulates flows of people, light and events, and consequently functions [figs. 12-13].

The relationship between form and structure becomes crucial in defining spatial solutions and roof systems. The main axis follows an east-west orientation with the entrance to the west. In section, the building appears as an organism where each element and space connects to others through a sophisticated play of assemblies and relationships, connections and suspensions, continuities and interruptions, levels and height variations.

Light is carefully controlled and admitted through various means - always from above, either centrally or laterally - then redirected into subterranean spaces through openings in the ground floor slab [fig. 14]. Three parallel entrances subsequently divide to serve the church, weekday chapel and sports facilities at different levels [fig. 15].

The liturgical hall is covered by a spherical dome that appears suspended above the inclined roof plane,

11. Church of SS. Cirillo e Metodio in Acilia by Atelier ABDR. 3D model integration into the context.

12. Church of SS. Cirillo e Metodio in Acilia by Atelier ABDR. Sections of the church interior and layout diagrams of liturgical spaces.

13. Church of SS. Cirillo e Metodio in Acilia by Atelier ABDR. 3D model of the ensemble.

14. Church of SS. Cirillo e Metodio in Acilia by Atelier ABDR. Sections analysing light control.

15. Church of SS. Cirillo e Metodio in Acilia by Atelier ABDR. Diagram of spatial and functional connections.

16. Church of SS. Cirillo e Metodio in Acilia by Atelier ABDR. Static renderings of the interior.

Image p. 44 Static rendering of the entrance to the Church of San Giovanni Battista by Francesco Cellini in Lecce.

which rests on two beams supported by pillars and vertical masonry walls. The inclined plane evokes a horizon - a boundary between heaven and earth. Light effects have been reconstructed through drawings, with particular attention to verifying the typological, morphological and structural scheme [fig. 16].

Conclusions

The three projects exemplify, in different ways, the concept of traversing time and space in relation to light. Francesco Cellini's strategy is rooted in simple geometries and complex spatial relationships that generate environments where light penetrates to envelop or guide the user's experience, accentuating stasis—a sense of transcendent being. In contrast, ABDR's work is distinguished by the intricate interplay between form and structure, creating spaces for both stillness and movement, where the primary focus lies in the passage of light from sky to ground, revealing its variations throughout the day. The result is a composition of spaces of shadow and spaces of light. These may represent invariants—principles that could be extrapolated and adapted to multireligious contexts, beneath the same sky, upon the same earth.

Credits and acknowledgement

The author would like to thank E. Fedeli, M. Giangrieco, F. Guidi, M. Hernanza, M. Iannaccone, M. Lazzarini, M. Lochi, I. Maurelli, L. Merlonghi, A. Modena, I. Morra, L. Pellegrini, P. Sánchez, O. R. Sandoval, M. Santarelli, R. Scisciola and D. Vadalà for the graphic experiments conducted on the projects by Francesco Cellini and the Atelier ABDR.

Notes

1. For an in-depth understanding of the biography, themes, works, and projects of Francesco Cellini and Atelier ABDR, readers are referred to the specialised literature (Cellini, 2003, 2006, 2016, 2019; Dal Cò 2016; Costi 2015).

The catoptric *Horloge Solaire* at the *Lycée Stendhal* in Grenoble, geometrical analysis and AR for cultural heritage

Ho Trong Nhan, Agostino De Rosa, Alessio Bortot

Key words
Gnomonics
Projections
Catoptric
Augmented Reality
Digital heritage

Introduction

In the history of Western representation, astronomical and particularly solar metaphors, have played a fundamental role in related scientific and expressive disciplines. The same definitions found in nineteenth-century Projective Geometry (Poncelet 1865; Friedelmeyer 2010; Taton 1951), the logical-mathematical framework that, in our hemisphere, supports *ex-post* all the scaffolding of the depictable in geometric terms, has been developed by sidereal *ἀνάλογοι*: by expanding *de jure* the field of validity of the theorems, postulates and axioms that governed it from the Euclidean space to that of ideal elements (i.e., placed at infinity), this geometry already moved into a space of cosmic and cosmogonic resonances. So, its elements or, rather, its fundamental forms, among which we will mention at least the stars of straight lines (with a centre, ideal or not), in which the celestial assonance is not only formal, but substantial. The projective behaviour of this form can be compared to that of the rays emitted by the Sun, which, although diverging and radiating from the surface of the star in all possible directions of cosmic space, reach the planet Earth in an almost parallel manner, since they are characterized by a very low angle of divergence, close to zero. But the close relationship between celestial motions and geometric logic had already been realized in antiquity: Ptolemy¹ himself, in outlining the *analemma* understood this profound relationship between the position assumed by the Sun, on different days of the year, in the same place and at the same time, and its earthly projection

in a curve known as a lemniscate (Sinisgalli, Vastola 1992). But it was especially in the 17th century that, with the emergence of the scientific method and thanks mainly to the work of Galileo Galilei and Johannes Kepler, this resonance assumed more and more the contours of an exact science; free from religious and metaphysical redundancies, within a theoretical-graphic framework that, if not yet traceable to Gaspard Monge's theoretical palace, can nonetheless already be called 'descriptive' geometry *ante litteram*, able to provide a biunivocal representation of sidereal bodies and movements, held together by marvellous mathematical laws.

The notion of projection then begins to be associated, with increasing consistency and rigor, with the use of forms, figures and surfaces whose combined use allows the creation of architectural structures - sundials and astrolabes - that constitute the terrestrial counter-projections of those universal laws, experienced at sidereal distances from our planet: that order protectively bursts into the interior of shadowy environments, thus rendered suitable for even our human eyes to perceive those laws of motion and stellar trajectories that leave anyone who observes them astonished. It often does this with the combined use of mirrors, able of reflecting and projecting in inverted form celestial alignments, parallels and meridians, a cosmic configuration that responds to physical laws but also of unprecedented beauty. The physical laws themselves arrange an ahistorical order, indifferent to human affairs, but which soon becomes informed by terrestrial conventions.

Thus, those same laws begin to be subjected to exegesis and glosses related to liturgical and political conventions: the timetable systems worked out over millennia by our civilizations measure precisely this gap between what has no boundaries and humankind's narrow space of commerce. But the cosmic order has been able to withstand even this small (and other) prosaic conventions, squaring its mesmeric power whenever it touched the creativity of artisans who, not only cultivated geometry and astronomy, but also the language of art.

The reflective solar clock by Father Bonfa

The *Lycée Stendhal* reflective sundial in Grenoble (45°10'18"N, 5°43'21"E), built in 1673 by the Jesuit Father Jean Bonfa (1638-1724) (Savoie 2009, p. 102), will be analysed using a geometrical approach in a digital environment. Jean Bonfa was a Jesuit theologian and mathematics professor. Only basic details of Bonfa's life are known: he was born on 30 May 1638 in Nîmes and joined the Society of Jesus on 31 January 1654. He taught mathematics (and eventually theology) at Jesuit colleges in Grenoble (the early 1670s) and in Avignon (late 1670s and from 1683) and the principles of geometry and hy-

drography as royal professor at the Marseille Arsenal (1680-1682). He collaborated with astronomers at the *Académie Royale des Sciences* in Paris, where he became a corresponding member in 1699, he published pamphlets and essays on his inventions and astronomical observations. As a cartographer he drew a map of the Comtat Venaissin (an old region located around Avignon): in producing it, Bonfa embraced local and papal documents that were anti-French. Later cartographers would overlook his exceptional accomplishment (Sommervogel 1890, pp. 693-94). The school itself, the oldest *Lycée* in Grenoble, has historical values of its own. The construction of buildings took place in several stages to create what we see today, *Lycée Stendhal* was part of the former *Collège des Jésuites*. Many scholars think that Father Bonfa's sundial was influenced by some previous treatises by Athanasius Kircher (1602-1680) (Kircher 1635), Emmanuel Maignan (1601-1676) (Maignan 1648) and Ignace Gaston Pardiès (1636-1673) (Pardiès 1662).

In February 2022 a survey was made by University Iuav of Venice with the aim of digitally verify and understand the functioning of the solar catoptric clock of *Lycée Stendhal*. The survey was divided in two phases: the first step involves measuring the essential dimensions of the staircase, using direct measurement and trilateration to calculate the overall length of the flight of stairs, including the number of steps, the width and the height of the area. In addition to these measurements, the photographs (acquired during the survey) had helped to reconstruct the 3D digital twin of reflective sundial thanks to photogrammetric methodology.

The sundial, built by Father Bonfa in 1673, is composed of a collection of Baroque-style frescos, painted on the walls and ceiling of the stairway, connecting the building first and second levels. To read on them the time, we need to track the movement of the Sun's light from bottom to top (corresponding to sunrise to noon) and then down (corresponding to midday to sunset). The reflection of the Sun's rays onto two mirrors, positioned on the windowsill in the landing of the stairs, creates the light spots (*maculae*) on the walls and ceiling. Father Jean Bonfa's work, around one hundred square meters in size, includes many different time systems: French hour lines, Babylonian and Italian hour lines, twelve months of the solar calendar, the twelve signs of the Zodiac represented with symbolic images and, finally, the four seasons of the year: *Aestas*, *Autumnus*, *Hibernum* and *Ver* [figs. 1,2]. During the study of the Sun clock, it was adopted by us a method of digital reconstruction, based on an ideal astronomical sphere made of geometrical entities, adapted to the place latitude. The French hour system consists of 24 hours a day starting at midnight, used in Fran-

1. The section of *Lycée Stendhal* in Grenoble with the sunlight spot on February 26, 2022 (image by Trong Nhan Ho).
2. Grenoble's reflecting sundial 3D model scan with texturing (Image by Trong Nhan Ho).
3. The analysis of French Hours Dials on the Reflective Sundial in Grenoble, on the left the shift of light planes that have been intersected with the staircase walls (graphic courtesy of Ho Trong Nhan).
4. The analysis of Babylonian Hours Dials on the Reflective Sundial in Grenoble, on the left the shift of light planes that have been intersected with the staircase walls and the orthogonal projection of the celestial sphere. (graphic courtesy of Ho Trong Nhan).

ce around 1500: in Grenoble clock the set of hour markers are curves painted ‘*mixto colore*’, that is in a dark grey or ‘Paris mud’. Thinner lines indicate the half-hours, made for obtaining more precision in reading the time. The west wall of the first step shows the morning time, while the vertical one to the east of the second step represents evening time. The small wall in the middle shows contrasting solar time/moon time charts and other spreadsheets. The position of the bright spot between the two nearest lines is evaluated almost intuitively. The digital French hours system has been obtained with shift of light planes rotated around the North pole in multiples of 15 degrees, starting from the meridian plane that represents the midday. The intersections between these light plains and the architectural surfaces generate the hour lines of the reflective sundial [fig. 3]. Taking up the old habit of the Babylonians, counting the hours begins at sunrise. The interval between two sunrises is divided into 24 equal hours, numbered here in Arabic numerals. The Babylonian and French knowledge of hour lines provides a way to find sunrise and sunset times. They tell us how long the Sun has risen and calculate how many more hours it will last. Inside Grenoble's reflecting sundial, these lines, painted yellow and numbered with Arabic numerals, represent the Babylonian hour since sunrise. The digital Babylonian hours system creates, starting from the horizon, 24 circles on the celestial sphere, always visible in the northern hemisphere. These circles, in digital environment, have been generated through the rotation of the horizon plane around the polar axis in increments of 15 degrees. As mentioned above, Babylonian hour lines inside the sundial in Grenoble are established through the intersection among the walls of the sundial and the rotating plane's surface starting from the horizon plane [fig. 4]. Italian hours are equinoctial hours counted from the last sunset, so the Italian hour 0:00 is at sunset. The interval between two sunsets is divided into 24 equal hours inscribed in Arabic numerals on the dial and called Italic hours in treatises on gnomonic. In the context of the sundial in Grenoble, Father Bonfa implemented a distinct inscription, “*ROMANE RVBRAM*” (red for Rome), symbolizing the utilization of Italian hour lines. These hour lines exhibit a symmetrical construction considering the Babylonians' ones, according to meridian line. They are also great circles obtained by rotating the horizon plane around the polar axis. The coexistence of the Italian and Babylonian hour systems within the sundial complements one another, enabling the determination of post-sunset and post-sunrise hour counts. In digital environment the Italian time system was obtained by flipping the Babylon dial 180° along the meridian lines. Hours are usually displayed by Roman numerals, and the hour markers running around the

dial terminate with XXIV hour on the horizon. We recreated an ideal celestial sphere associated with Grenoble latitude. These curves are huge circles, and they are formed by rotating the horizon plane in 15° increments around the polar axis, obtaining in this way 24 light planes that have been intersected with the architectural surfaces of the staircase [fig. 5]. In sundials, two specific dates are always shown: June 21 (summer solstice) and December 21 (winter solstice). These dates coincide with the Sun's position at its highest and lowest points above the equator, resulting in maximum and minimum daylight hours. The Sun's declination undergoes variation throughout the day, yielding a curvilinear trajectory traced by the luminous point from sunrise to sunset, exhibiting a hyperbolic branch. In *Lycée Stendhal* clock the hyperbolic line for the summer solstice (June 22) is closest to the window, that of winter (December 23) is the furthest. The bright spot within a year moves between these two curves. The representation of the progression of time in the celestial sphere involves the utilization of the Zodiac. The Zodiac encompasses a belt defined by two parallel circles, positioned at an angular separation of 8°30' on either side of the ecliptic. In the digital reconstruction the lines of Sun's declination during the year have been obtained intersecting the architectural surfaces with conic surfaces (cones of sunlight or solar cones). The common vertex of the cones has been placed in the centre of the mirror: these cones represent the Sun's trajectory during the year, while the common axes is oriented according to the latitude of Grenoble [fig. 6]. The Grenoble catoptric sundial shows also the *Twelve Astrological Houses*, also known as the *Celestial Houses*. In the digital reconstruction the projection of the *Celestial Houses* onto the interior space has been achieved by delineating their presence first on the celestial sphere. The generation of these houses involves a sheaf of planes, each characterized by a rotation angle of 30° and the axis aligned towards the north [fig. 7]. At the same time, the sundial is composed of lunar calendar information able to determines the Moon's age relative to the Sun. In fact, at certain times of the month, the Moon's rays can also be seen, creating a faint spot over the staircase. Together with designing a vast sundial, Father Jean Bonfa also created notable astronomy tables which updated the newest astronomical developments of his time: *Calendarium Marianum*, *Horologium Vniuersale* (both in west side wall); *Horologium Novu In Quo Lunae Per Sole* and *Calendarium Soc. Iesu* (central east wall); *Novum Kalender Civil Lunae* (central west wall); *Tables of Epactes* and *Calendarium Regium* (east wall) [fig. 8]. *The Horologium Vniuersale* [fig. 9] plays a crucial role in determining the time in the cities where the Jesuit's educational institutions were situated. Although

5. The analysis of Italian Hours Dials on the Reflective Sundial in Grenoble, on the left the shift of light planes that have been intersected with the staircase walls and the orthogonal projection of the celestial sphere (graphic courtesy of Ho Trong Nhan).

6. The analysis of the sun declination on the Reflective Sundial in Grenoble with the signs of the Zodiac, on the top the cones of light that have been intersected with the staircase walls (Graphic courtesy of Ho Trong Nhan).

7. The analysis of the Celestial Houses on the Reflective Sundial in Grenoble, on the left the shift of light planes that have been intersected with the staircase walls and the astronomic representation of the celestial houses on the celestial sphere (graphic courtesy of Ho Trong Nhan).

8. Axonometric view exploded with textures of Grenoble's reflecting sundial with the identification of the different astronomical diagrams (graphic courtesy of Ho Trong Nhan).

the inscriptions on the board have faded with time and information of towns, cities, and nations have been lost, we can still understand its operational principles and importance. The trapezoidal board is divided into 24 columns and 8 horizontal rows, with each trapezoidal time column representing a quarter of an hour (¼ hours). The *Horologium Novum In Quo Lunae Per Sole* comprises 17 concentric and evenly spaced semi-circles enclosing 16 coloured zones. It locates under a horizontal diameter of 10 steps depth (approximately 3.5 meters) [fig. 10]. This table offers several practical applications: determining the Moon's position based on the Sun's position and determining the time of the Sun based on the day and time of the Moon. The *Calendarium Soc. Iesu* holds special significance regarding the Jesuit order. Father Bonfa is believed to have inscribed the names of notable Jesuits on this wall. While the passage of time has taken its toll on the inscriptions, two names have endured: St. Francis Xavier, one of the founders of the Society of Jesus, whose feast day is celebrated on December 3rd and Father Régis, born on January 31 of 1616, later canonized in 1737. To make use of *Horologium Novum*, it is essential to understand the Moon's position and phases, including when it is not visible. Father Bonfa addressed this by painting a *Table of Epacts* (from 1674 to 1689) and a *Novum Kalender Civil Lunae* on the high school wall. The *Table of Epacts* and the lunar calendar serve as valuable references. The *Calendarium Regium* (King's Calendar) was established during the reign of Louis XIV (lasted for an impressive 72 years), also known as the Sun King. This calendar in Grenoble commemorates significant events during his first reign, such as the War of Devolution in 1667 and 1668, as well as his military campaigns in Flanders.

Interactive AR and VR applications, bridging the past with digital innovation

Thanks to the recent development of 3D technologies, a research opportunity opened up for this old astronomical heritage. In this research, an accurate digital version of the sundial was constructed [fig. 11] based on 309 photos which were taken from the detailed site survey and analysis at *Lycée Stendhal* using software for photogrammetry². The results showed that the geometric projection of the 3D model perfectly matched the actual condition of the sundial. This is a verification of the precision reached by Father Bonfa during his creation process. Finally, the research explores the role of 3D model technologies (VR and AR) in enhancing the diffusion of the historical and astronomical knowledge of reflective sundials to the general public education.

Based on the 3D scanning survey, two interactive digital versions have been created for the reflected sundial in Grenoble: a web-based online 3D mo-

del viewer for virtual reality (VR) (Jerald 2015, p. 9), where interactive explanations supplement the viewer, and a social network *Instagram* - AR effect (Eugeni 2022), making this historical reflective sundial more accessible and providing a deeper appreciation. Obviously, this sundial was the passion for 17th-century intellectuals, reflecting the technological and intellectual developments of the time³. As a result, ordinary visitors might sometimes find it challenging. The purpose of this interactive VR and AR model was to visually represent these complicated layers of information about the reflecting sundial helping readers gain a better understanding.

To begin, the online 3D model viewer (VR) on the *Sketchfab* platform⁴ provides an immersive experience with full annotations on the clock's frescoes and operating principles⁵, allowing users to readily discover scientific details and historical context hidden in the reflected sundial⁶. Second, an *Instagram* AR effect has been created to spread visibility of the sundial's significance across other social media platforms. This augmented reality effect improves awareness and attraction, encouraging more people to check out the sundial at *Lycée Stendhal*. The effect is readily accessible via the *Instagram* account @invisible.gem.iuav.ma.tesi. These two digital versions provide a wealth of information, including layered details about the ecliptic and zodiac signs, explanations of different time systems such as French, Babylonian, and Italian time, and descriptions of the drawings and frescoes within the staircase. It turns the complexity of the sundial into easy-to-understand content [fig. 12].

The interactive digital version (AR) provides an active learning technique in which viewers can interact with elements on the sundial, such as the frescoes on the staircase's walls and ceiling, which are supported by detailed annotations about the content and history of the paintings designed by Father Bonfa. This technology allows people to view this information directly on their mobile devices. The AR model helps users visualize the principle of using sunlight reflection at *Lycée Stendhal's* staircase to measure time through a simulation [fig. 13]. A typical example is a simulation of the spring equinox (March 21), in which sunlight reflects through a mirror on the windowsill and reaches the 11:15 a.m. display position within the staircase. Additionally, when clicking on a symbol, such as the number 3 (*HOROLOG' NOVU IN QUO LUNAE PER SOLEM* - Universal clock table)⁷, the app will pop up a caption describing its astronomical and cultural significance and explaining how these drawings reflect scientific knowledge about the Universe [fig. 14].

A virtual reality (VR) model was created on the *Sketchfab* platform. To construct an interactive VR model, the implementation process must adhere to specified guidelines⁸ to ensure efficiency and excel-

9. The *HOROLOGIVM VNIVERSALE* (Universal clock) and the *CALENDARIVM MARIANVM* (Calendar of Mary) on the west side wall of Grenoble's Reflective Sundial (graphic courtesy of Ho Trong Nhan).

10. The table of *HOROLOG' NOVU IN QUO LUNAE PER SOLEM* and the *CALENDARIVM SOC. IESV* (Calendar of the Society of Jesus) on the central east wall of Grenoble's Reflective Sundial (graphic courtesy of Ho Trong Nhan).

11. The photogrammetry survey of the Reflective Sundials in Grenoble was made on March 26, 2022 (photo courtesy of Ho Trong Nhan).

12. The 3D model of Reflective Sundial at *Lycée Stendhal* with the color palette represents the time system (graphic courtesy of Ho Trong Nhan).

13. The simulation of sunlight reflection on March 21 was generated through the VR model (graphic courtesy of Ho Trong Nhan).

lent interaction of the model. Firstly, it is necessary to prepare a 3D model of the staircase space in 3D formats such as FBX, OBJ or GLB. Then, users can fine-tune the 3D Settings section, lighting and background to enhance the model's details. Last but not least, adding annotations to provide information about the details in the 3D space.

Besides that, *Instagram* AR effect is a simplified version of the 3D model with basic information. This second digital edition is tailored to reach more people on social media and helps to raise awareness about the sundial by capturing public attention. According to statistics, 5.100 users from various nations, including Indonesia, India, the United States, Mexico, and others, accessed the AR effect on *Instagram* until November 10, 2024 [fig. 15]. The paper employed *Spark AR* software to generate an augmented reality (AR) effect using a 3D scanning model of a reflecting sundial from the survey. As we have mentioned before, the very first stage in developing an AR feature is to create a 3D model in a suitable format, such as FBX, OBJ, or GLB⁹. Next, import the 3D model from your computer into *Spark AR*. To make it *Instagram*-compatible, adjust its placement, rotation, and size to meet the camera's perspective in mobile mode. Finally, publish it on the *Instagram* platform. The combined use of 3D models (VR and AR) with instructional videos helps viewers participate in the survey process with detailed explanations of each part of the reflective sundial¹⁰. It helps to improve knowledge accessibility to a global audience.

The interactive models (AR and VR) provide a rich experience for both on-site and remote users, according to a precise valorization and dissemination strategy. The features are designed to ensure that everyone can explore the sundial at *Lycée Stendhal* in a comprehensible way. For VR viewers, the interactive mobile application allows them to experience the sundial in real time. On their mobile device or through VR glass, visitors can rotate in the 3D of sundial and view symbols and frescoes on the walls and ceiling of the staircase, along with detailed annotations about the meaning of the astronomical figures, zodiac signs, and hour markers. For example, when viewer click the number 4 (*Calendar of Mary* table), a note will appear indicating the meaning of the icons on the table. This allows visitors to not only perceptions but also understand the historical background and scientific value of each component. The AR effect allows *Instagram* users to explore the *Lycée Stendhal* sundial from a distance while recording and sharing footage with their friend. The accessibility and shareability of the digital version of Grenoble's sundial make it possible in increasing its popularity throughout social media platforms.

In the context of digital heritage, the VR and AR models of the sundial at *Lycée Stendhal* showca-

ses how digital models can be used to preserve and diffuse for the reflecting sundial's historical and astronomical knowledge to ordinary tourists. It also serves as a research tool, assisting in the translation of theoretical information into an interactive experience. Ideally, this research will contribute to future studies on this noticeable heritage, and other similar reflected sundial heritages. The *Horologe Solaire* at the *Lycée Stendhal* in Grenoble is a case study able to shows how new technologies can become a bridge between education and entertainment for the safeguarding of cultural heritage.

Notes

1. The reference is to Claudius Ptolemy, *De Analemmate* (II century a.C., it has been lost), more in detail to an edition (from an Arabic copy) of Federico Commandino, *Liber de analemmate* (Commandino 1562), (see: R. Sinigalli, S. Vastola 1992).
2. "Agisoft *Metashape* is a stand-alone software product that performs photogrammetric processing of digital images and generates 3D spatial data to be used in GIS applications, cultural heritage documentation, and visual effects production as well as for indirect measurements of objects of various scales". See <https://www.metashape-la.com/en/home/> (accessed November 16, 2024).
3. We can therefore agree with Rohr, R. R. J. when he mentioned that "More often than not reflected ceiling dials must have been made for reasons of entertainment or prestige..." (Rohr 1990, p. 5).
4. "In the digital world, the *Sketchfab* platform is considered one of the leading platforms for 3D models..." (Bejdić. 2024, p. 1–6).
5. "The principle of the reflection sundial is as follows: a small mirror placed near a window throws a spot of light into a room decorated with a pattern of lines and curves, and this shows the time..." (Savoie 2009, p. 102)
6. The virtual tour can be accessed via the following link: <https://portfolio.hotrongnhan.org/projects/the-invisible-gem-of-horloge-solaire-du-lyc%C3%A9e-stendhal> (accessed November 16, 2024).
7. For an online description of the *Cadran solaire du lycée Stendhal à Grenoble* see: http://michel.lalos.free.fr/cadran_solaires/autres_depts/isere/lycee_stendhal/cs_lycee_stendhal.html (accessed November 16, 2024).
8. For more details, please consult *Sketchfab. The Official Guide to 3D Configurators*: https://static.sketchfab.com/pages/whitepapers/Sketchfab_White_Paper_3D_Configurator.pdf (accessed November 18, 2024).
9. <https://spark.meta.com/learn/tutorials/create-your-first-effect/> (accessed November 18, 2024).
10. <https://www.youtube.com/watch?v=E38LwUgB-Ghw&t=96s> (accessed November 18, 2024).

14.
The picture of *HOROLOG' NOVU IN QUO LUNAE PER SOLEM* (the Universal clock) which is the digital version of Reflective Sundial at *Lycée Stendhal* (graphic courtesy of Ho Trong Nhan).

15.
The statistics AR effect on *Instagram* until November 10, 2024 (statistic from Meta).

Image p. 56
Jean Bonfa, the catoptric clock of the *Lycée Stendhal* in Grenoble, detail of the astrolabe with some hour lines and signs of the zodiac (photo by Ho Trong Nhan).

The Sundial of the Carthusian Monastery of San Martino : Cultural Accessibility and Enhancement through Virtual Reality

Laura Papa

Key words
Gnomonics
Positional Astronomy
Sundial
Virtual Reality
Animation

Introduction

The sky has always been a source of fascination for mankind: it is, in fact, from the observation of the sky that astronomy, the science that studies celestial bodies and the phenomena related to them, originated. Since ancient times, this science has profoundly influenced culture and architecture, enabling the development of knowledge reflected in tangible instruments such as sundials, concrete witnesses to the dialogue between the movements of celestial bodies, technical expertise, and built space. These artefacts embody the ability to translate complex phenomena into visible and comprehensible signs on a human scale and have been fundamental for the measurement of daily and annual time. The Certosa di San Martino in Naples is a significant example of this relationship between astronomy, geometry and architecture, as it houses several chronometric systems including a mechanical clock and three different types of sundials harmoniously integrated into the architectural context (Pagliano, Murolo, Santoro, 2014). In the Main Cloister, it is possible to observe both the mechanical clock and the monumental vertical sundial, essential for regulating the rhythms of Carthusian daytime life, respectively positioned on the right and left sides of the façade [fig. 1]. The other two clocks are more distinctive: the marble clock with multiple quadrants [fig. 2] and the camera obscura sundial [fig. 3]. The latter, designed by Rocco Bovi, is a masterpiece both for the complexity of its operation and because it combines astronomy, art and spirituality. Indeed, it is significant the positioning of the sundial inside the library of the Quarto

del Priore, a place of study and meditation intended only for monks. The Carthusian monastery of San Martino, with its solar clocks, is therefore an ideal case study for exploring and deepening the relationship between astronomy, architecture, and geometry, which is particularly evident in the sundial, a device packed with details and information. The aim of this research is therefore to demonstrate how the application of digital technologies is not only able to make an often inaccessible heritage accessible, but also to stimulate deeper reflection on the scientific and cultural value of astronomical knowledge, contributing to a dialogue between the past and the future and fostering public awareness of the value of these assets.

State of the art

Cultural heritage connected to astronomy represents a fascinating intersection of science, art, and society, showcasing the evolution of humanity's understanding of the sky and its phenomena. Since ancient times, the observation of the heavens has fueled the development of knowledge that has been translated into practical yet highly symbolic chronometric instruments. Gnomonics, i.e. "the art of representing the celestial sphere, or parts of it, in order to study in the projections thus obtained the positions and movements of the stars with respect to the observe"¹, was an indispensable discipline for human life before the introduction of Modern Time. Gnomonic instruments, therefore, are profoundly linked to the place in which they are found and the era in which they were made, and are therefore a mirror of the period from which they originated reflecting the symbolic and cultural framework of their era and documenting the social, religious, and scientific transformations of each age (Farroni, Incerti, Pagliano, 2022). The historical significance of gnomonic instruments is evidenced by their geographical and temporal diffusion. From ancient Egyptian and Babylonian sundials to the sophisticated solar quadrants of the Renaissance, and even modern installations, these instruments narrate the evolution of astronomical knowledge. In Europe, sundials and solar clocks have documented important transformations in chronometric and calendrical systems, reflecting advancements in the understanding of astronomical cycles and the adoption of new methods for measuring time. Triola, in *I Tempi del Regno. Stato e misura del tempo nel Mezzogiorno preunitario*, published in 2023, emphasizes how these instruments are essential for a nuanced interpretation of the past, where the study of time intertwines with the political and cultural developments of different historical periods.

The Carthusian Monastery of San Martino, located on the Vomero hill in Naples, is one of the most important and impressive monastic complexes in Italy. Founded in 1325 at the behest of Carlo d'Angiò and later expanded, the Certosa has always been a centre

of great cultural and artistic importance. In addition to its paintings, sculptural decorations and precious furnishings, a magnificent example of Baroque art, the complex also houses, as mentioned earlier, three unique gnomonic instruments, two sundials and a dark chamber sundial, which highlight not only the importance of individual awareness of the passage of time during cloistered monastic life (Cervavolo, 2011), but also to the Carthusian interest in the study and observation of the vault of the celestial sphere. The sundials in the Certosa di San Martino are an exceptional example of the blending of science and art and are a clear documentation of the cosmological conceptions and astronomical knowledge of the 17th-19th century. Of the three gnomonic instruments present in the Monastery, both the monumental vertical dial located along the main wall of the Great Cloister and the camera obscura sundial situated in the library of the Prior's Quarters have been recently restored (Pagliano, 2017). The first instrument is an important testament to the use of the Italic hour chronometric system, as it calculates time from sunset. The restoration focused primarily on redrawing the grid of lines within the circular dial, as the gnomon was still intact. This intervention successfully brought the clock back into operation². The restoration work carried out on the sundial has made it possible to enjoy the sundial again throughout the year thanks to the re-opening of the heliotrope hole that had previously been tampered with³. Such tampering prevented the entry of sunlight during the winter months, thus altering the calendar function of the sundial itself making it even more difficult for visitors to understand the mechanism, leading to a loss of interest in the precious details and information present not only on the small bronze line but also on the invaluable majolica floor painted by Leonardo Chiaiese, which depicts the celestial sphere⁴ [fig. 4]. The third instrument, the multiple quadrant sundial, located on a small terrace of the Prior's Quarters, is a masterpiece of gnomonic engineering. Made of marble with engraved inscriptions and decorations, it allows for the reading of time according to various chronometric systems⁵. Unfortunately, it is in a poor state of preservation because, due to its location, it is extremely exposed to the elements, which cause rapid erosion of the engraved lines. It would therefore be essential to subject it to protection and restoration efforts as soon as possible in order to preserve this invaluable testimony to the versatility of the scientific knowledge of the time and the plurality of temporal views that coexisted in the 18th century. The restoration of these clocks, especially that of the camera obscura sundial, has made this research possible, as it has allowed full access to the beauty of the sundial phenomena again. This has brought attention back to

all the other details that characterize not only the delicate bronze line but also the entire context in which it is set. The first thing that catches the eye when entering the library of the Quarto del Priore is undoubtedly the magnificent floor made by Leonardo Chiaiese⁶, which represents the constellations of both hemispheres according to the contemporary painting style and iconography. If it were possible to walk through the room approaching the sundial, one could observe more closely, between the constellations of Ophiuchus and Andromeda [fig. 5], the wind rose and the compass containing a floating magnetic needle, which is now lost. Continuing to walk around the bronze line, one would spot small white majolica tiles along the perimeter depicting the zodiac signs [fig. 6] precisely at the times when the sun enters each of the constellations. However, it would only be by spending time observing the work of Rocco Bovi that one could notice all the details and information that, though modest in size, surpass those contained in other, certainly more famous, sundials. Indeed, besides providing calendar-related information such as solstices and equinoxes, fundamental moments in the course of the year finely engraved on the bronze line, it presents some peculiarities, such as the depiction of the planets of the solar system [fig. 7], each characterised by a different metal, positioned just before the summer solstice. On the opposite side, where the winter solstice is located, one can find the arc dedicated to the determination of the Easter date, with indications of the days in which the holiday can fall, in March and April [fig. 8]. The final unique feature is that the central band contains names of geographical locations that share the same solar noon as Naples [fig. 9]. From these observations, the Carthusian Monastery of San Martino thus emerges as a microcosm in which architecture and gnomonic instruments celebrate the harmony between heaven and earth, science and spirituality. It therefore becomes clear that the understanding of the gnomonic heritage can benefit from the use of an integrated methodology that is able to combine technical-scientific perspectives with historical-cultural ones, making it possible to analyse and understand the testimonies of the past in a more complete and conscious manner. The combination of astronomy, geometry, architecture and drawing enables the creation of interpretative models capable of grasping the complexity of these works. The analysis of sundials and solar clock cannot be limited to the scientific dimension; it is necessary to also consider the cultural and historical context that guided their design and use. In line with the need for an integrated vision, digital technologies offer innovative tools for the study and valorisation of gnomonic heritage. Virtual reality and interactive simulations make it possible to explore the works in new ways,

1. The Chiostro Grande of the Certosa di San Martino. On the right side of the façade, there is a mechanical clock, while on the left side there is a vertical sundial with Italian hours.

2. Sundial with multiple quadrants (17th century) located on the balustrade of the Scala dello Gnomone (Gnomone Staircase), on the terrace of the Quarto del Priore, Certosa di San Martino (Naples).

3. The camera obscura sundial by Rocco Bovi (1772) in the Museum and Certosa di San Martino (Naples).

4. Plan representation of the library room floor designed by Leonardo Chiaiese, illustrating the relationship between the meridian line and the context in which it is situated (*Disegnare il tempo. Rocco Bovi e gli orologi solari della Certosa di San Martino* by Pagliano, Murolo, Santoro, 2014, p. 8).

5. Detail of the maiolica-tiled floor in the Sala della Meridiana (Meridian Room), depicting the constellation of Andromeda, created by Leonardo Chiaiese.

highlighting the role of the interactions between light, space and time. This approach contributes not only to the preservation and dissemination of heritage, but also to the construction of new narratives that can enrich our understanding of the astronomical knowledge of the time, turning our attention to a subject that is unfortunately disappearing, taking with it an important part of our cultural heritage.

Methodology

Among the gnomonic instruments in the Charterhouse of San Martino, the sundial stands out due to its complexity and distinctive features which allow it to integrate science and art. These unique characteristics made it the central object of analysis, with the aim of demonstrating how digital technologies can overcome some of the inaccessibilities it presents. The sundial does not only present the cultural inaccessibility common to all gnomonic instruments: in fact, in addition to the difficulty of understanding the projective phenomena that determine its functioning, there is also the physical inaccessibility, as it is not possible to approach the sundial for reasons of conservation of the delicate floor that surrounds it. To overcome these inaccessibilities, a virtual tour was designed, integrated with the in-person visit. The aim of the virtual tour is not to replace the in-person visit to the Certosa and its rooms but to use the virtual tour, accessible via smartphone, to clarify certain complexities and prepare visitors for a more mindful experience of the sundial itself. However, the project didn't just stop at creating a simple video explaining the sundial's features. Instead, the design team decided to guide the visitor through an unusual route [fig. 10], discovering parts of the Certosa that are often passed by unnoticed, such as the Small Cloister, also known as the Chiostro dei Procuratori, and the room that precedes the library, a fascinating example of Rococo style. In addition to the choice of a different path, to educate visitors in the understanding of the sundial, it was necessary to make a selection of the key features to highlight. Through careful storytelling and precise graphic devices, designed in line with the most recent recommendations on accessibility and the enjoyment of cultural heritage (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2018), and attempting to adopt an inclusive design-for-all approach⁷, greater emphasis has been placed on highlighting the relationship between the sundial and the pavement, as well as its crucial function as a calendar. The creation of the three videos that make up the virtual tour therefore starts in turn from a conscious and complete knowledge of the characteristics of the gnomonic instrument in question. The study therefore began with a careful physical analysis conducted by means of a delicate photographic survey of the entire Certosa, followed by a special focus on the survey of the places featured

in the videos. High-resolution photographs made it possible to document every detail of the rooms traversed, from the Chiostro dei Procuratori [fig. 11] to the smallest details of the floor and the library hall. Another central aspect of the analysis was the observation of sunlight in the different seasons, to document how this interacts with the architectural structure and define the variations to be reproduced in the virtual environment. The solar disk not only changes position during the year, but also varies in shape and size on a daily basis, providing essential information for determining calendar dates. Among these key moments, the solstices and equinoxes stand out as crucial points when the behavior of light reveals the astronomical alignment of the sundial. During the winter solstice, for example, the rays of the sun reach their furthest point from the heliotropic hole, casting a particularly elongated spot along the meridian line [fig. 12]. This phenomenon has been carefully observed and digitally reproduced, allowing for the visualization of such specific events at any given time and overcoming the limitation of observing only at solar noon. For the realisation of the videos, an extensive selection of 360° photographs was taken, documenting the entire route analyzed to reach the library of the Quarto del Priore. These high-resolution spherical photos, captured with the RICOH THETA Z1 camera featuring a dual fisheye lens, offer an immersive view of the spaces, allowing visitors to explore the antechamber and the library virtually before an in-person visit. After the photographic survey, the design of the virtual tour of Rocco Bovi's camera obscura sundial made use of some post-production software mainly used to edit the images, isolating the visual targets by adjusting the colour through desaturation effects of some areas of the rooms [fig. 13]. In this way, it was possible to direct the viewer's gaze to some of the most important details of the sundial. By editing the photos, it was also possible to simulate the entry of sunlight through the gnomonic hole and the consequent formation of the luminous macula on the sundial, thus overcoming one of the inaccessibilities that could be linked to weather conditions and the time of the visit. A key piece of software was certainly *Stellarium*, through which it was possible to recognise and map celestial elements and use them to create a break-through effect on the ceiling to more easily visualise a correspondence between the Certosa's tiled floor and the celestial vault and [fig. 14] to simulate astronomical phenomena and create an immersive experience. Finally, video editing software was used to assemble all of the works and create the final videos. Additionally, a virtual guide, modeled after Rocco Bovi [fig. 15], the designer of the sundial⁸, was incorporated into the virtual space. This guide, inspired by digital storytelling principles (Olher, 2008), enables interactive navigation through the workings of the darkroom and the symbolic mea-

6. Detail of the floor showing, on the left, the wind rose; on the right, the compass; and at the center, corresponding to the equinox, the painted tiles representing the zodiac signs Aries and Libra.

7. Detail of the meridian line, in the section preceding the summer solstice, where Venus, Saturn, Mars, and the Moon can be observed.

8. Detail of the winter solstice indicated by the elongated ellipse, where we see: the representation of a face, the sign of the Capricorn constellation, the year 1772, and the arc dedicated to the determination of the Easter date.

9. Detail of the names of geographic locations that share the same solar noon as the city of Naples, positioned corresponding to the degrees indicating the angular distance of each place from the Neapolitan capital. In this image, it is possible to read Bito Regnum.

10. Selected path crossing the Chiostro dei Procuratori, the antechamber, and leading to the library of the Quarto del Priore.

ning of time measurement. The decision to make the entire virtual experience autism-friendly was a central guiding principle for the research, influencing the design choices regarding the tour's path, storytelling approach, and the inclusion of the guide figure. This guide plays a critical role as a tangible reference for users within the virtual space, ensuring that the experience is accessible, engaging, and understandable for a wide range of audiences.

Results

Thanks to virtual reality, it has been possible to thoroughly explore and understand the extraordinary complexity and richness of the camera obscura sundial and its multiple functionalities, overcoming the limitations posed by natural conditions and the specificities of the site. The first significant result concerns the ability of digital simulations to make the scientific details engraved on the thin bronze line and the precious details of the surrounding floor more easily comprehensible. The use of 360° virtual reality has made it possible to precisely reconstruct the path of the sunbeam which, through the heliotropic hole, projects the evocative luminous spot onto the sundial. This spot changes shape and size depending on the time of year it is observed, thus overcoming any temporal and meteorological barriers. The clear representation of the functioning of the chronometric system is greatly enriched by the heightened attention with which one can observe and understand every detail of the flooring: from the constellation of Cetus, which dominates the center of the room, to the delicate representations of the zodiac signs that flank the sundial. The majolica flooring, in fact, is not just a decorative element but an integral part of the work itself. The selected, guided, and narrated path by the designer himself leads the visitor to explore the Certosa in an unconventional way, allowing them to discover the beauty of the Rococo decorations in the room that precedes the library.

Conclusions

The integration of digital technologies such as virtual reality and astronomical simulation software has opened up new perspectives for enhancing the camera obscura sundial and, more generally, for the cultural heritage related to astronomy, highlighting the possibility of recovering knowledge that was in danger of being lost. These tools have not only made it possible to overcome the physical and temporal limitations of direct observation, but have also made it easier to convey scientific knowledge, thus making it possible to create educational spaces that invite reflection and promote understanding with respect to our heritage. The 360° video provides, through an immersive and interactive experience, the opportunity to engage the audience in a dialogue that inter-

twines astronomy, history, and architecture, demonstrating how the science of the past can be made alive and relevant to contemporary generations. The progressive dispersion of gnomonic skills is a crucial challenge, but ultimately this work demonstrates how the dialogue between technology and cultural heritage can produce significant results for both the valorisation and dissemination of knowledge, opening up new avenues of enjoyment and education for the public. The camera obscura sundial of the Carthusian Monastery of San Martino represents the potential of digital innovations to reinterpret and make accessible complex and meaningful works. The integrated approach, which combines the use of technology with careful observation in the presence of the artefact, offers a replicable model for enhancing similar cultural assets. This approach not only safeguards the gnomonic, artistic and architectural heritage, but also demonstrates how the past can be studied and enhanced using innovative and future-oriented tools that do not replace the real experience, but rather complement and simplify it, making it even more evocative.

Credits

The research presented in this article was conducted with the scientific consultancy and under the supervision of Professor Alessandra Pagliano, professor of Drawing at the Department of Architecture of the University Federico II of Naples, an expert in descriptive geometry and gnomonics.

Notes

1. <https://www.treccani.it/vocabolario/gnomonica/>
2. For more information on the restoration project of the vertical sundial in the Chiostro Grande, please refer to chapter III 'Le linee del tempo perduto: progetto di rifunzionalizzazione dell'orologio solare verticale nel Chiostro Grande' in the volume *Disegnare il tempo. Rocco Bovi e gli orologi solari della Certosa di San Martino* (Pagliano, Murolo, Santoro, 2014 pp. 93-114).
3. For more details on the project to re-functionalise the sundial as a camera obscura following its tampering in the 19th century, please refer to the contribution by Professor Angelo Triggianese, in paragraph 1.6 of Chapter I entitled "Il restauro dell'orologio a ore italiane nel Chiostro Grande della Certosa di San Martino" dell'opera citata (Pagliano, Murolo, Santoro, 2014 pp. 31-40).
4. The tiled floor presents on the horizontal plane the projection of the curves of the tropics and the equator, together with a particular arrangement of the constellations of both hemispheres, which seems to derive from ancient cosmological representations, including that of the Farnese Atlas globe.
5. For a more detailed description, please refer to Chapter IV entitled "L'orologio solare a quadrante multiplo della Certosa di San Martino" of the cited work (Pagliano, Murolo, Santoro, 2014 pp. 31-40 pp. 115-139).

11. Equirectangular image of the antechamber before post-production.

12. Simulation of the luminous spot (macula) on the day of the winter solstice.

13. Comparison between the equirectangular image of the original meridian room and the image after post-production. The desaturation of the walls reduced the perceptual weight of the frescoes, making it possible to isolate certain visual targets.

14. Equirectangular image of the meridian room post-produced with Adobe Photoshop, to which a representation of the celestial vault was added using the Stellarium software.

15. Rocco Bovi, the guiding character of the path during the video presentation for the visitor.

Image p. 70
Detail of the floor with simulation of the luminous macula during the winter solstice day.

6. Leonardo Chiaiese was a leading exponent of a large family of majolica makers who played a fundamental role in this type of craftsmanship in Campania, together with his contemporaries Massa. He became particularly well-known in Naples thanks to a clearly recognisable personal style. For more detailed information, see the work *Pavimenti e rivestimenti maiolicati in Campania* (Donatone, 1981, p. 58).
7. The case study experimentation adopted an inclusive design-for-all approach, with particular attention to the needs of people with cognitive disabilities. The intervention focused on overcoming the many inaccessibility barriers that limit the enjoyment of the chamber sundial, including the possible perceptual overload caused by the excessive presence of details and decorations, and the difficulty in understanding the geometric processes underlying the science of gnomonics. The project saw the collaboration with Giovanni Minucci's cooperative *Il Tulipano* to ensure an accessible and enriching experience.
8. Rocco Bovi, born in Scilla (1734-1831), was a prominent figure in the years between 1700 and 1800. A multi-disciplinary scholar, he was called to Naples to teach at the chair of experimental physics at the Reale Collegio del Salvatore and was given the chair of mathematics at Salerno. During the drafting of the great Geographic Map of the Kingdom of the Two Sicilies, Bovi collaborated with the geographer Giovanni Antonio Rizzi Zannoni. He returned to Scilla in 1783 following the earthquake in southern Calabria.

The Stars of Schifanoia. Measurements and Interpretations

Manuela Incerti

Key words

Schifanoia
Zodiac
Relief
Measure
Stars

Introduction

The Hall of the Months in the *Delizia* of Schifanoia is one of the most important secular pictorial cycles of the Renaissance. The dating of its program is confirmed by the famous letter from the painter Franc-

esco del Cossa addressed to Borso d'Este, the commissioner of the work, dated March 25, 1470. This document, preserved in the State Archive of Modena¹, attests that Pellegrino Prisciani was among the protagonists of this complex artistic endeavor. A key figure in 15th-century Ferrarese culture, Prisciani held great influence at the court: he was the custodian of the library and the Archive under Borso and Ercole I, an orator, poet, astrology lecturer at the University of Ferrara, a scholar of Greek and classical studies, as well as a historian of the House of Este and the city of Ferrara².

The cycle, commissioned by Borso to celebrate his virtues as a wise ruler, underscores the significance of astrology at the Este court, as highlighted by Aby Warburg and his followers, and more recently by Marco Bertozzi. These studies examine the cultural connections between Manilius' *Astronomicon*³, Abū Ma'shar's *Introductorium in astronomiam*⁴, and the medieval and Renaissance magical tradition of the *Picatrix*⁵, sources that emphasize the mythical and symbolic dimensions of the constellations' imagery⁶.

The Hall

The grand pictorial narrative is divided into three horizontal bands dedicated, respectively, to the gods of Olympus (at the top), the twelve zodiac constellations and the 36 decans⁷ (in the centre), and, finally, to the depiction of Duke Borso's court life (at the bottom). An architectural framework divides the scenes into sections of varying width [fig. 1].

In the past, I have focused on the analysis of certain interpretive issues related to the decorative programme, including⁸: the asymmetry in the distribution of the zodiac signs on the walls of the hall (which does not conform to the canonical astrological opposition of sign pairs); the dimensional differences (with Aquarius and Pisces significantly larger than the other signs); and the possible logic behind the reading path (which begins with the month of January-Aquarius in front of the main door, in disagreement with the classical astrological calendar, which instead starts with Aries).

This contribution aims to explore the theme of the small golden stars, arranged above the figures of the zodiac signs and painted in groups to represent the ancient constellations.

The Zodiac Band

The zodiac band of the *Salone dei Mesi* is one of the most distinctive and studied elements of the entire pictorial cycle. The examination of its measurements revealed that, to define each of the 12 rectangles that make up the band, heights based on whole quantities of 2.5 Ferrarese feet were used⁹. Additionally, thin vertical lines divide each area into three rectangles, whose proportions vary in relation to the total width of the individual sector¹⁰.

1. Overview of the Hall of the Months in Schifanoia (Ph. A. Cesari, Bologna). By concession of the Musei di Arte Antica, Municipality of Ferrara.

The twelve zodiac signs, each surrounded by three decans, are represented according to the vision of the sky observed from within the celestial sphere. From Earth, the Sun, Moon, and planets appear to move along a belt of the celestial sphere called the zodiac. An observer positioned at the centre of the celestial sphere and facing south sees the constellations rotate towards the west (clockwise) due to the apparent motion of the celestial sphere caused by the Earth's rotation. Every two hours, from the east, a zodiac sign rises according to the natural sequence of the zodiac, which can be spatially represented as follows¹¹: Pisces → Aquarius → Capricorn → Sagittarius → Scorpio → Libra → Virgo → Leo → Cancer → Gemini → Taurus → Aries (point γ). Observing from inside, Aries will have Taurus to its left and Pisces to its right. However, if the observer adopts an external point of view relative to the celestial sphere, the arrangement of the signs will be reversed, following this sequence¹²: (point γ) → Aries → Taurus → Gemini → Cancer → Leo → Virgo → Libra → Scorpio → Sagittarius → Capricorn → Aquarius → Pisces. In this case, Taurus will be to the right of Aries, while Pisces will be to its left.

The understanding of these two opposite orientation modes, effectively defined as “celestial mode” and “globe mode” by Dekker (2013)¹³, becomes immediate when observing the map of Ms 5415 from Vienna (1430–1440)¹⁴ or A. Dürer's map dated 1515 [fig. 2]¹⁵: as the viewpoint changes, either from the centre of the ecliptic circle or from its exterior, the relative positions of the figures shift. These two maps, the first of which dates from a period just prior to the creation of the Schifanoia cycle, not only offer a figurative representation of the celestial constellations but also allow the identification of the positions of the numbered stars in relation to the Ptolemaic tradition¹⁶. The polar coordinate system is drawn through the graduated circle of the ecliptic, facilitating the observer's reading of ecliptic longitudes.

The orientation of the zodiacal cycle in Schifanoia follows the first typology described, with a configuration consistent with the actual rising of the stars on the local horizon¹⁷. This is the theoretical model that also underpins the painted celestial sphere on the dome of the scarsella in the Sacrestia Vecchia in Florence, created in the first half of the fifteenth century. The extraordinary Florentine artifact not only presents the astronomical circles but also includes representations of the constellations visible from Florence at a specific ‘moment’ in that century. The constellations are depicted as figures adorned with small golden circles, representing the stars [figs. 3, 4]. A recent interdisciplinary study, conducted using a specially created digital model, revealed that these are the stars from Ptolemy's catalog, positioned with great precision according to the methods of the time¹⁸.

Even in the representations of the zodiacal constellations at Schifanoia, small stars appear, though here they have eight points [fig. 5], some of which are partially preserved, while others are only suggested by material gaps. However, unlike the Sacrestia Vecchia, the surface hosting the paintings in this decorative programme is the flat walls, which necessitates the use of a different reference system.

Methods of Investigation

The iconography of the zodiacal constellations is a vast and complex field of study, refined over time by the contributions of numerous scholars who have thoroughly explored ancient and medieval sources¹⁹. The following analyses do not focus on this aspect, which has already been examined by specialists in the field, including for this case study. Instead, they adopt survey and representation methodologies to investigate the positioning of the painted stars in some of the best-preserved zodiac signs, specifically those on the east and west walls.

The topographic survey data²⁰ made it possible to integrate high-resolution photographic images into a CAD environment, enabling analysis through a measurable grid. The system adopted is similar to that used by the astronomer Paolo dal Pozzo Toscanelli (1397–1482), who, between 1433 and 1472, recorded the positions of comets in the Florentine sky. He employed spherical ecliptic coordinates, which he transposed into a Cartesian grid to simplify graphical operations²¹.

In these drawings, the main axes (ecliptic longitude and latitude) are numbered, allowing for an easy depiction of the comet's daily position relative to the fixed-star sky. The outline of Aries, as represented in chart 240 B [fig. 6], encompasses the 13 stars of this constellation listed in Ptolemy's Catalogue. In this small group of charts – the only autographed ones that have come down to us – Toscanelli depicted all the Ptolemaic stars. However, as Giovanni Celoria discovered and argued, he also added others (though not in this particular sheet)²².

For the sizing of the grid in the March panel of the Schifanoia cycle, the coordinates of the two most distant stars in the Aries constellation – star 1, located on the horn, and star 10, positioned on the tail – were used. The horizontal distance between them was then divided into a number of segments consistent with the degrees of ecliptic longitude²³. The same process was applied to latitude. At first glance [fig. 7], certain peculiarities emerge:

- the number of stars represented in the Schifanoia cycle exceeds that listed in Ptolemy's catalogue, which includes only 13;
- once the reference system is established (using stars 1 and 10), it becomes evident that the measurements of the other stars show little consistency

2. Albrecht Dürer, the Northern Celestial Hemisphere, 1515 (National Gallery of Art, NY. Creative Commons CC0 1.0 Universal)..
3. Dome of the scarsella in the Old Sacristy of San Lorenzo (Florence).
4. Dome of the scarsella in the Old Sacristy of San Lorenzo, detail of the ecliptic over Aries and Taurus.
5. Hall of the Months in Schifanoia, detail of the zodiac sign Aries (Ph. A. Cesari, Bologna). By concession of the Musei di Arte Antica, Municipality of Ferrara.
6. Paolo dal Pozzo Toscanelli, (c. 240 B), National Central Library of Florence. Banco Rari 30 BNCF, former catalog numbers: 9.2.14, Magl. XI.121/3. The post-processed map highlights the 13 stars of Aries.
7. Zodiac sign Aries, CAD overlay with a hypothetical 1° grid. By concession of the Musei di Arte Antica, Municipality of Ferrara.

with the catalogue data;

- while the positioning of some stars partially aligns with Ptolemaic descriptions (red circles)²⁴, others (white circles) cannot be identified even among the five *informate* stars²⁵;

- it is evident that the constellation is depicted in a mirrored form, with the head of Aries positioned on the left instead of the right, as seen in comparison with Toscanelli's drawing [fig. 6] and the dome of the Old Sacristy [fig. 4]. This inversion of the figure is consistent with an external viewpoint and with the placement of point γ (0° of the sign) to the left of the sign rather than to the right (30° of the sign).

Keeping the grid dimensions unchanged, this measurement system was tested on the stars represented in the other zodiac signs. For the sign of Taurus [fig. 8], difficulties immediately arise in projecting the Ptolemaic model onto the painted star group, as this constellation is particularly rich and includes as many as 33 stars according to Ptolemy²⁶.

The key aspects that can be highlighted in this case are as follows:

- the Bull is depicted with its head turned to the left, as seen from the Earth rather than from outside the celestial sphere;

- consequently, the coordinates of its stars are readable from right (0° of the sign) to left (30° of the sign), unlike Aries;

- the animal is shown in profile, and for this reason, stars on the hidden side are not represented, such as the second eye;

- its iconography does not follow scientific models, which typically depict only the front half of the animal [figs. 2, 4];

- the number of visible stars is just over half of those expected, and the dense group of the Pleiades is not recognizable.

- although an attempt was made to identify some of the stars from the Ptolemaic list (indicated with numbered white circles), it is clear that the artists were not aiming for a scientific representation of the stellar catalogue but instead relied on other sources, as previously addressed in the research by Lippincot and Bertozzi.

Continuing with the analysis of the remaining zodiac signs, these contradictions are further confirmed. However, only a few signs, such as Gemini, Cancer, and Leo, preserve traces of the ancient painted stars [figs. 7-9].

The comparison with the scientific iconography of the Vienna manuscript Ms 5415 (1430-1440), the celestial map by Dürer (1515) [fig. 2], and the small dome of the niche in the Old Sacristy highlights that the sign of Cancer [figs. 10-12] is correctly oriented and contains the correct number of stars (9). However, these stars are distributed over an excessively broad longitude interval.

The sign of Leo [fig. 11] shows the direction inverted [fig. 12], that is, as seen from outside the sphere rather than from inside. As with Aries, longitude must therefore be measured from left (0°) to right (30°). In this case as well, there is no real consistency with the astronomical position of the stars, and Regulus, crucial for calculating precession to be applied to the values of the stellar catalogues, is not clearly distinguishable among the stars

In the signs of Virgo and Libra, representations of the stars have not survived. However, it can be observed that Virgo [fig. 13] is oriented inversely compared to the arrangement of the astronomical zodiac as seen from the Earth, while Libra [fig. 14] presents a symmetrical structure relative to a vertical axis, a characteristic shared with Gemini and Pisces.

Figure 15 provides a summary of the distribution of the signs: the information about the orientation of the figures is highlighted on the outer perimeter. The chart also makes use of information obtained from the reconstructions of the lost signs, created by the artist Maurizio Bonora based on models made to align with the surviving fragments²⁷. It is possible to observe that:

- the zodiac signs are arranged in a sequence consistent with a viewpoint positioned at the center of the celestial sphere;

- Gemini, Libra, and Pisces exhibit a symmetrical depiction relative to a vertical axis, without highlighting a preferred direction of reading;

- all other signs, with the exception of Aquarius, have the head positioned to the left, directing the observer toward a single direction of reading;

- this orientation of the signs is not consistent with the Ptolemaic celestial sphere for Aries, Leo, Virgo, Scorpio, Sagittarius, and Capricorn. Consequently, for these sectors, the position of the coordinates (and thus the stars) must be read from left (0° of the sign) to right (30° of the sign), and not the other way around.

The mirrored arrangement of some representations of the decans has not only been investigated in specialized literature but has also been highlighted in the writings of Bertozzi (2012) and Lippincot (2006), who, with detailed and erudite comments, point out some important iconographic testimonies, including a manuscript of the *Picatrix* and the engravings from *Astrolabium planum in tabulis Ascendens* by Johannes Angelus²⁸. By observing the images from the latter source [fig. 16], it is possible to notice that not only do the signs always display the head positioned to the left, but there is also a right-left inversion of the two decans of the month of March. As in Schifanoia, the famous *Vir niger*²⁹ appears here to the left of the sign instead of its right, contrary to what should be the case according to the astronomical maps [fig. 17].

8. Zodiac sign Taurus, CAD overlay with a hypothetical 1° grid. By concession of the Musei di Arte Antica, Municipality of Ferrara.

9. Hall of the Months in Schifanoia, zodiac sign Gemini (Ph. A. Cesari, Bologna, stars post-processed by the Author). By concession of the Musei di Arte Antica, Municipality of Ferrara.

10. Hall of the Months in Schifanoia, zodiac sign Cancer (Ph. A. Cesari, Bologna, stars post-processed by the Author). By concession of the Musei di Arte Antica, Municipality of Ferrara.

11. Hall of the Months in Schifanoia, zodiac sign Leo (Ph. A. Cesari, Bologna, stars post-processed by the Author). By concession of the Musei di Arte Antica, Municipality of Ferrara.

12. Dome of the scarsella in the Old Sacristy of San Lorenzo, detail of the ecliptic over Leo and Cancer.

13. Hall of the Months in Schifanoia, zodiac sign Virgo (Ph. A. Cesari, Bologna). By concession of the Musei di Arte Antica, Municipality of Ferrara.

14. Hall of the Months in Schifanoia, zodiac sign Libra (Ph. A. Cesari, Bologna). By concession of the Musei di Arte Antica, Municipality of Ferrara.

Two other iconographic testimonies cited in the previous studies help us further deepen these observations. In the famous *Planisfero Bianchini*³⁰, the Aries has its head to the right, Taurus to the left, and Scorpio to the right, in line with the sequence of images schematized in the real sky. In this artifact, in addition to the mentioned signs, a fragment of Libra has also survived, depicted as a man holding the weighing instrument in his right hand. The balance plates are consistently arranged according to their shape in the real sky. Therefore, in this artifact, the decan *Vir niger* is correctly placed to the right of Aries, in accordance with the astronomical tradition. Similarly, in the *tablettes astrologiques de Grand*³¹, all signs are correctly oriented (except for Scorpio). Consequently, the *Vir niger* is also correctly positioned to the right of Aries here.

Conclusions

In summary, in light of the findings, it is possible to make several observations.

The measurements of the position of the painted stars in the Schifanoia cycle have shown that their arrangement does not conform to the coordinates of the Ptolemaic catalog, nor is there a numerical correspondence.

All zodiac signs, except for those symmetrically arranged along a vertical axis and Aquarius, are oriented with their head to the left, a condition that implies a mirrored arrangement of the stars in several cases. This orientation is also reflected in the position of some of the associated decans³², as suggested by the page from the *Astrolabium planum* dedicated to Aries [fig. 16]. For these reasons, previous studies have attributed the compositional and distributive choices of the astrological program a predominantly figurative and artistic significance, with this aspect taking precedence over scientific coherence.

A visual research on the image catalog curated by Kristen Lippincot³³ provides representations of the Aries sign oriented both to the right and to the left, showing great variability in the number and position of the stars, which change according to the textual source. These aspects, crucial for understanding the zodiacal iconography and, more generally, for the entire program of the Salone dei Mesi at Schifanoia, must be contextualized within the relevant studies. It will be these studies that will continue, offering increasingly detailed and accurate interpretations, for a deeper and more complete understanding of this extraordinary pictorial cycle.

Acknowledgements

The deepest gratitude is extended to the Settore Cultura e Turismo, Servizio Musei d'Arte del Comune di Ferrara, for granting the necessary permissions; to photographer Antonio Cesari for providing the

images; and to the referees for their valuable contributions.

Notes

1. This letter is preserved at the Modena Archive (del Cossa 1470).
2. On Pellegrino Prisciani (Bertozi 2011, 2020; Folin 2010; Rotondò 1960). His figure is the subject of issue 58-59 of the *Schifanoia* journal, 2020, and the monographic issue of *Quaderni estensi* 1/2024.
3. The poem, divided into five books, represents the first complete work on astrology to have come down to us. There is no certain information about the author, who probably lived during the reigns of Augustus and Tiberius and died around 22 A.D. The work was published in a critical edition divided into two volumes (vol. I 1996, vol. II 2001). Cf. (Manilius 1996, 2001).
4. Abū Ma'shar, a Muslim astronomer and astrologer active in Baghdad in the 9th century, is the author of the *Great Book of Introduction to Astronomy*, a work that was translated multiple times into Latin during the Middle Ages. For this text, see the critical edition with English translation (Yamamoto & Burnett 2019).
5. At the behest of Alfonso X, the Arabic manuscript, written around the mid-11th century in Spain, was translated into Castilian in 1256. The work is a composite collection of magic and astrology, drawing from various sources. An English translation has been published by (Attrel & Porreca 2019), based on the critical edition of the Latin text (Pinegree 1986). See also (Rossi 1999).
6. See (Bertozi 1999; Bertozi 2002; Warburg 1999). Two important works have been dedicated to this building and the wall paintings of the Salone dei Mesi (Settis & Ghiraldini 2007; Varese 1989), to which one should refer for the extended bibliography.
7. The decans are associated with the division of the ecliptic arc corresponding to each zodiac sign. They measure 10° and were used in ancient astronomy and astrology. Regarding the decans of Schifanoia, in addition to Bertozi, who identifies their features and meaning in relation to the sources (1999), see also (Lippincott 1994).
8. I have dealt with this topic several times, see for example (Incerti 2013). A multimedia interactive product was also created on this cycle, which contains 60 video clips, one for each unit of the narrative.
9. The Ferrarese foot measures 0.40038 m (Martini 1883).
10. To complete the information, it is noted that the lower band is 5 Ferrarese feet high, while the upper band is approximately 4 (Incerti 2013).
11. The meaning of the following sentence should be interpreted in relation to the position of the word in space, rather than the reading order of the individual signs.
12. In this case, the spatial reasoning expressed in the previous note must also be repeated.
13. The representation of the starry sky and the individual constellations according to an internal or external perspective of the celestial sphere is widely documented in both classical and medieval traditions. This millennial heritage shows that there have been interferences and mixed orientations even within the same map.

15. Summary chart of the signs' orientations; the arrow indicates the position of the figure's head (left or right), and the symbol above shows the consistency of the orientation with the actual astronomical constellation.

16. *Astrolabium planum in tabulis Ascendens* by Johannes Angelus (1488), zodiac signs Aries and Taurus.

17. Hall of the Months in Schifanoia, month of March (Ph. A. Cesari, Bologna). By concession of the Musei di Arte Antica, Municipality of Ferrara.

18. Hall of the Months in Schifanoia, month of April (Ph. A. Cesari, Bologna). By concession of the Musei di Arte Antica, Municipality of Ferrara.

Image p. 82 Salone dei Mesi di Schifanoia, April (Ph. A. Cesari, Bologna). By concession of the Musei di Arte Antica, Municipality of Ferrara.

14. MS 5415, fol. 168r Österreichische Nationalbibliothek Wien. It is clear that, in this case, the representation of the celestial sphere is observed from the outside, as some figures are shown from behind. A high-definition digital reproduction of this map, with commentary, is available on the website of Felice Stoppa at <https://www.atlascoelestis.com/>; a recent study on this artifact is (Roland 2016). For more on celestial atlases, see also (Dekker 2013; Grimaldi 1905; Gundel 1992).
15. Albrecht Dürer, *Imagines coeli Septentrionales cum duodecim imaginibus zodiaci*, Nuremberg 1515. Available in high resolution at the link: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8444076j#>>.
16. For star catalogs, it is customary to refer to the one contained in Book VII of the *Mathēmatikē Syntaxis* (Mathematical Treatise), more commonly known by its Arabic-derived name *Almagest*. See (Grasshoff 1990; Peters, Knobel 1915; Toomer 1984).
17. The theme of the orientation of the narrative cycle has been discussed by (Bertozzi 2012).
18. For methods, procedures, and conclusions of the work, see (Incerti, Bònoli & Ranfagni 2025), currently in press.
19. Studies on this topic have been produced in Italy by Anna Santoni, among her most recent works see (Santoni 2023a; 2023b), and by Kristen Lippincott with The SAXL Project and its related bibliography published on the website, including (Lippincott, 2006) <https://www.thesaxlproject.com/>.
20. The topographic survey of the entire building and the hall includes a total of 528 points measured with a Total Station (arch. G. Galvani, arch. M. Cecchinato, and M. Incerti 2006).
21. These autograph drawings, along with some notes, are among the few surviving papers of Toscanelli. The comet observations are dated between 1433 and 1472 and are preserved in the manuscript at the Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze, Banco Rari 30 BNCF, old shelf marks: 9.2.14, Magl. XI.121/3.
22. The maps and stars measured by Toscanelli were first studied by (Celorina 1894) and later by many of those who have explored the astronomical domes of Florence.
23. In this simulation, the original coordinates from Ptolemy's catalog were used without accounting for precession, as the focus was on evaluating the relative distances between the stars.
24. Star 1 Aries: *Praecedens duarum quae sunt in cornu*. Long. 6.40, Lat. 7.20, gamma Ari; Star 10 Aries: *Sequens ipsarum* (referring to the last one on the tail). Long. 27.0, Lat. 1.50, tau 2 Ari.
25. Informate stars are those placed outside the representation of the mythological figure of a constellation, and they have their own independent numbering. For the coordinates of the stars, reference is made to (Grasshoff 1990; Peters & Knobel 1915; Toomer 1984)
26. To these, we must also add the 11 informate stars.
27. See (Bonora 1992), some stars are still clearly visible, and their position has been measured through the topographic survey.
28. First published in Augsburg in 1488 (Angeli 1488). In the treatise, all the figures are oriented to the left, except for those that are symmetrical with respect to a vertical axis.
29. The first decan of Aries is a man with dark skin, red eyes,

robust, wearing a torn white jacket and pants. He stands upright in a threatening posture, with a rope around his waist, holding one end with his left hand. The mysterious symbolism expressed in this figure derives from an ancient astrological text, the Indian sphere of the treatise by Al-Buhārī. For the argument on the inversions of position between the decans, refer to (Bertozzi 1999).

30. Bianchini Planisphere, 2nd century, Paris, Musée du Louvre, inv. Ma 540. An image of the table is available at the following link: <https://brunelleschi.imss.fi.it/galileopalazzostrozzi/object/BianchinisPlanisphereZoom.html>.
31. The two diptychs are preserved, one at the Musée Départemental d'Art Ancien et Contemporain in Épinal, the other at the Musée Archéologique National in Saint-Germain-en-Laye. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bf/Tablette_zodiacale_de_Grand_-_MAN.jpg.
32. For the complex analysis on the identity and orientation of the decans, refer to (Bertozzi 1999).
33. In addition to the image catalog on the general website of the Warburg Institute, a selection of representations of the sign of Aries can be accessed at the following link: <https://www.thesaxlproject.com/assets/Uploads/00-Aries-Master-0-R-6-Oct-2023.ptx.pdf>.

A look at the scientific, astronomical, and architectural heritage of La Silla

Cecilia Wolff, Nicoletta Lanciano

Keywords
 Astronomical Observatory
 La Silla
 Scientific Heritage
 Architectural Heritage
 Science Education and Communication

Introduction to the Cultural Heritage present at La Silla
 Chile is a long and narrow country that extends between latitudes 17°29'57" South and 56°32'12" South, with an average width of just 200 km. It has a strong tradition in astronomical observation, thanks to its geographical and atmospheric characteristics, which have resulted in a rich heritage of knowledge, discoveries, technologies, institutions, and infrastructure. From a cultural perspective, this complex is recognized as "Scientific Heritage" (Lanciano 1998; 2018), as it represents the historic pursuit of understanding Nature and the Universe. In parti-

cular, for the development of astronomy, the choices made regarding architectural infrastructure are of fundamental importance and provide an optimal setting for modern observation technologies. Much of this heritage consists of infrastructure developed by international and Chilean institutions, the most important of which include ESO, NSF, AURA, Carnegie, NRAO, OAN and NAOJ¹. Therefore, its significance concerns and involves the global community. Scientific heritage becomes cultural heritage when it is recognized, valued, and protected by society as a whole, as it represents a fundamental part of national identity and contributes to knowledge and sustainable development (Wolff 2015). For this reason, it is acknowledged as a legacy of scientific, cultural, and educational knowledge for the country. Furthermore, the enhancement of architectural infrastructure preserves it from destruction and highlights its importance, recognizing it as works of design and technology in the service of science. This is achieved through the census, evaluation, and appreciation of existing infrastructure, using methodologies developed for the protection of architectural and cultural heritage (UNESCO 2003).

Since the 1960s, particularly at La Silla, complex buildings with highly precise technological instruments have been constructed. However, their value is gradually being lost due to the continuous and rapid advancements in astronomical observation instruments. Many of these instruments are now obsolete, making their management and maintenance increasingly challenging.

Objectives

The general objective of this study is to organize an interdisciplinary research group aimed at recognizing and valuing the "Astronomical and Architectural Scientific Heritage" of Chile, particularly that of the *La Silla Observatory*, which includes infrastructure developed by the European Southern Observatory. This initiative seeks to establish a foundation for scientific collaboration centered on astronomy and architecture, contributing to scientific and architectural education and communication.

The goal of this group is rooted in the recognition and appreciation of the architectural, astronomical, and scientific heritage of *La Silla Observatory* as part of the globally significant Scientific Heritage. This will be achieved through methodologies for conservation and management (DDU 400; UNESCO, 2003), following criteria related to architectural and urban heritage, as well as its contribution to the development of science and culture in Chile and worldwide.

Specific Objectives. The specific objectives to be pursued include the following:

1. Conduct a census of the structures, particularly those related to astronomical observation, that con-

stitute the current architectural heritage of La Silla. This will involve studying their historical context and analyzing their state of conservation, current use, and the obsolescence of some facilities concerning the ongoing work of astronomers. The goal is to assess the potential for repurposing or transforming these buildings into spaces for scientific education and communication. This census has already begun through the work of architecture students for their thesis projects (Montoya 2023; Faba 2022) and through recently initiated research projects funded by the University of Chile (RNIT 2024) and the Comité Mixto 2024-2026 (ESO/Chilean Government).

2. Highlight the intangible scientific heritage linked to the most significant astronomical discoveries made using La Silla's instruments.

3. Propose alternatives to disseminate knowledge about the tangible and intangible astronomical heritage of the La Silla complex. This will be achieved through educational activities in various academic settings, including the Faculty of Architecture and Urbanism and the Faculty of Physical and Mathematical Sciences at the University of Chile. Additionally, outreach efforts will take place in Italy, focusing on cultural astronomy and archaeoastronomy, as well as within the activities of the Research Group on the Pedagogy of the Sky of the MCE (Educational Cooperation Movement) and the Mathematical Workshop of Emma Castelnuovo, among others.

The Chilean Sky: A Natural Heritage

Northern Chile has been a site for astronomical observation for centuries, but the first major observatories arrived in the country at the end of the 19th century. Astronomers working in the Northern Hemisphere needed to observe and analyze the entire sky from pole to pole (Silva 2019). Chile's first scientific observatory was built in 1843 in Valparaíso by swiss watchmaker Juan Mouat, who arrived in the country to manage intercontinental navigation instruments at the port before the opening of the Panama Canal (Bustamante 2025). In 1850, the second observatory was erected in Santiago under the direction of astronomer James Melville Gilliss, who was commissioned by the *United States Naval Astronomical Expedition* to observe the celestial sphere from the Southern Hemisphere (oan.uchile.cl). The third, the *Lick Observatory* (now *Foster*), was built on Cerro San Cristóbal by a mission from the University of California with the same goal of studying the southern celestial hemisphere (Silva 2019).

After 1910, no further observatories were built until the beginning of the space race, when delegations from the United States, Europe, and Russia began to study and take advantage of the exceptional atmospheric conditions and privileged location of the Atacama Desert for contemporary astronomical ob-

1. At the bottom of the photo, petroglyphs attributed to the Molle culture; at the top right, the ESO 3.6-meter telescope (source: ESO/B. Tafreshi).

2. Celestial sphere with the Earth globe oriented, with Chile in the center. (source: Consuelo Montoya, 2022).

3. Map of Chile showing the locations of the most important observatories. (source: <https://slideplayer.es/slide/13819421/>)

4. General view of La Silla (source: ESO.org.).

5. Map of La Silla, showing its telescopes and other buildings (drawing by C. Wolff).

servation. Since then, Chile has become home to the world's most important international astronomical observation agencies.

From a cultural perspective, another significant aspect is that these major observatories share the land with the remnants of native peoples, particularly the Molle culture (Ballereau, Niemeyer 1996), which left behind petroglyphs [fig. 1]. There are hundreds of rock carvings, and while their exact meaning is difficult to determine, it appears that an astronomical alignment can be attributed to a specific artificial stone structure. The archaeoastronomical dating of this alignment coincides with that of the petroglyphs, highlighting a connection to a practical function relevant to the population to which this structure is attributed (Vecchiato et al. 2015).

This complex set of elements represents a heritage where art and history coexist with science, without the separation between the two world - just as indigenous peoples and even Western civilization conceived it before the advent of dualism in Western culture, which until recently prevented a holistic understanding and appreciation of this heritage.

However, the current vision of the concept of "heritage", which evolved from the late 17th-century notion of "monument" proposed by Viollet-le-Duc to the cultural and anthropological concept embraced by American schools (Chanfón 1988), allows La Silla to be considered both tangible and intangible heritage. This includes its material infrastructure, which supports and protects the telescopes, the scientific discoveries made possible by them, and the traces of indigenous cultures.

At the level of UNESCO World Heritage, the idea of including scientific and technological heritage related to space exploration emerged as part of the Global Strategy for a Balanced, Representative, and Credible World Heritage List in 2007. It was later refined in 2009 during the International Conference organized within the framework of the United Nations, where the first proposal for defining categories of space technology sites was introduced (UNESCO 2009).

La Silla: a small "white city" on the hilltops

Among the astronomical observation sites in Chile, we focus on La Silla, an emblem of ESO, located in the southern part of the Atacama Desert at an altitude of 2,400 meters. It is far from sources of light pollution, and its nights are among the darkest on Earth [figs. 2,3]. Here, ESO operates two optical telescopes that have been among the most productive in the world. The agreement between Chile and ESO, signed in 1963, stipulated that once observation sites were abandoned, they should be returned to their original state. However, in practice, this is now impossible due to geological and geographical changes in the area. Additionally, significant invest-

ments have been made not only in the construction of buildings, the site's location, and road accessibility but also in extensive energy production networks through solar farms, as well as hospitality and supply infrastructures for researchers, maintenance personnel, and visitors.

Furthermore, Chile has national and territorial laws (Law 19.300, 2024) to regulate light pollution around astronomical observatories. It is also important to recognize that darkness itself is a heritage of great significance that must be preserved (Vicuña, Sanhueza 2020, p. 53).

La Silla, the first ESO site in Chile, is now a small white city atop the hills, a place that, as astronomers say, "collects light from the universe as raw material". The stark contrast between the white buildings and the surrounding terrain is striking, as is the contrast between nature and technology [figs. 4,5]. The white color reflects solar rays during the day, preventing the instruments and environment from overheating. If the nighttime temperature is lower, the atmosphere distorts images less.

In next-generation observatories, the issue of image distortion is addressed using adaptive optics technology. A laser beam projects an artificial star onto the sodium layer of the atmosphere at an altitude of 90 km. A few decades ago, this issue was instead managed by elevating telescopes above ground level, leading to the construction of tall cylindrical buildings painted white.

At La Silla, around 30 telescopes have been built to house the most delicate and complex optical instruments available at the time [figs. 6,7]. In addition, there are about ten other buildings, including control offices, residences, storage tanks, antennas, and warehouses. The entire complex is organized through a network of roads and pathways that form part of the urban structure. From an architectural perspective, most buildings at La Silla have a cylindrical morphology, with the telescope positioned at the top and covered by a hemispherical dome that opens at the center and can rotate 360° [fig. 8]. Other architectural types exist as well, particularly for experimental observatories, such as the *Swedish-ESO Submillimeter Telescope* (SEST), a precursor to ALMA's antennas, or the *New Technology Telescope* (NTT) [fig. 9], designed to experiment with a model later used for the four *Very Large Telescopes* (VLT) at Paranal. In the case of the NTT, the dome is not hemispherical but features a flat, right-angled termination and horizontal ventilation openings that allow air to pass through without causing distortions that could affect image quality. Additionally, there are smaller observatories like *ExTrA* and *BlackGEM*, which have a spherical shape and are used for interferometric observation of exoplanets and other celestial objects (eso.org). This variety of architectural styles demon-

6. Table of telescope construction dates (elaboration by C. Wolff).

7. Timeline of telescope construction. (source: Belén Faba, 2022.).

8. Interior of the 3.6 m telescope cylinder (photo by C. Wolff).

9. Students of the Master's in Heritage (MIPA) from the University of Chile outside the NTT telescope (photo by C. Wolff).

10. Dismantling of the Bochum telescope and its dome (source: Sebastian Zuñiga 2018).

11. Photographic plates and star maps at La Silla (photo by C. Wolff).

12. Center of the *Milky Way* at La Silla on the day of the Winter Solstice (source: ESO.org.)

13. Diagram of La Silla's meridian (drawing by C. Wolff).

strates that La Silla has served as an experimental ground for new observation methods, with innovations now visible in the observatories at Paranal and ALMA.

Of the nearly 30 telescopes and instruments that La Silla has hosted, 13 have been decommissioned or have fallen into disrepair. Some have been refurbished to continue scientific research, while five have been replaced by new telescopes or transferred to other institutions. At the same time, some telescopes are now used for education and science communication, as they no longer contribute significantly to research. For example, after losing its dome, the *Böschum* telescope was donated to the University of Valparaíso and is now housed at the *Pocuro Observatory* in central Chile (Zúñiga 2018) [fig. 10].

Other valuable assets include documents, photographic plates, manuals, and architectural drawings. Until the 1990s, all building and instrument schematics were designed and stored on paper or glass. Although some order has been imposed, these blueprints remain scattered and only partially digitized. Additionally, over 50,000 glass plates from Chile's oldest observatories - La Silla, El Tololo, and Las Campanas - are still preserved in their original format. However, since 2024, an initiative in collaboration with China has begun digitizing these plates, yielding highly valuable cultural and scientific data. These digitized records allow astronomers to compare the positions of celestial objects from 40 years ago to today (Mejías 2024) [fig. 11].

The sky at La Silla: geographical and astronomical features

The La Silla astronomical complex is located on Cerro La Silla, in the southern Atacama Desert, Chile, about 600 km north of Santiago. The mountain's original name was Cinchado, and it stands at an altitude of 2,400 meters. Its Spanish name, 'La Silla' (meaning 'the saddle'), refers to its double-curved geographical shape.

Among the many scientific discoveries made using La Silla's telescopes are:

- The confirmation that stars in our galaxy orbit a black hole at the center of the *Milky Way*.
- Independent research teams, including those using ESO telescopes at La Silla and Paranal, demonstrated that the expansion of the universe is accelerating, a discovery that led to the 2011 Nobel Prize in Physics.
- The detection of *Proxima b*, an exoplanet within the habitable zone of *Proxima Centauri*, the closest star to the Solar System.

From a meteorological perspective, La Silla's location, relative to the region's orography, ensures an exceptionally clear sky year-round, free from humidity and cloud cover - ideal for astronomical ob-

servations in any season. The sharpness of daytime shadows and the breathtaking images of deep space taken here illustrate this remarkable clarity. Additionally, the area is free from light pollution.

La Silla is located slightly south of the Tropic of Capricorn, at 29°15'40.2"S, 70°43'52.8"W. This latitude is particularly significant from an astronomical standpoint, as it coincides with the declination of the *Galactic Center*. This alignment was first calculated in 1918 by *Harvard Observatory* researchers studying the distribution of globular clusters. The *Galactic Center's* declination, -29°00'28.1" (epoch J2000), places it in the constellation *Sagittarius*, meaning it passes directly overhead at La Silla [fig. 12].

At La Silla, the celestial South Pole is approximately 29° above the horizon, while the celestial equator intersects the local meridian at about 61° North [fig. 13]. As a result, the entire southern celestial hemisphere is visible, as well as northern celestial regions up to 61°N declination. Compared to other major observatories in the Atacama Desert, such as Paranal and ALMA (a radio interferometer located at 5,000 meters altitude), La Silla has played a crucial role in testing instruments later developed on a larger and more powerful scale at these locations.

Radical changes in the use of large Observatories from the 1960s to today

Since the inauguration of the *La Silla Observatory* in 1969, the way professional astronomers observe the sky has radically changed. In the mid-20th century, astronomers had to physically travel to the location of the telescope with the instruments they wanted to use. Observatories that had previously been located in the centers of European cities until the late 19th century were moved to more suitable areas - first to nearby rural locations (such as from Paris to Meudon or from central Rome to Monte Porzio and Campo Imperatore) and later to even more remote sites within the same country.

Eventually, astronomical observatories were built in some of the least light-polluted places on Earth, often outside the nations that designed and operated them, in privileged locations, and through international collaborations. Initially, data was recorded on punched cards or other physical media, and observations were conducted by looking directly through the instrument's eyepiece or using photographic plates. Astronomers had to book specific dates and times for observation, and a single telescope could be used for a few hours for one type of observation with certain researchers, then switch to different users and programs. Despite this, many astronomers did not necessarily 'know' the sky in the sense of recognizing constellations visually - they relied entirely on coordinate tables to locate the celestial regions they wished to study. Later, electronic devices connected

14. Images of the La Silla model for the Expo Exploración ESO: *Tres sitios para la exploración del Universo* (photo by C. Wolff).

15. The 'celestial deckchair' and the 'parallel globe' in Frankfurt (photo by N. Lanciano).

Image p. 98
3.6 m and CAT telescopes and in the background the centre of the *Milky Way* (source: ESO.org.).

to computers began collecting data for analysis. This advancement allowed astronomers to book observation time and receive data without being physically present at the observatory. They no longer had to look through the telescope; instead, they could stay warm in a nearby control room and remotely instruct on-site technicians on how to position the instrument and conduct observations. From a human and emotional perspective, this completely changed the relationship between astronomers, their objects of study, and their work itself. The use of remote or 'virtual' telescopes has also enabled the general public to 'see' the solar corona during an eclipse in real-time or to observe celestial regions that are not visible from their latitude. However, this has also led to certain 'perceptual distortions' - watching the sky through a screen does not provide a full sensory experience. Observers do not feel the cold inside the dome, perceive how quickly night falls at certain latitudes, sense the dryness and clarity of the air, or recognize the height of a celestial object above the horizon.

The ability to use telescopes positioned outside Earth's atmosphere has further increased the distance between the observer and the instrument, but it has also broadened access. Now, multiple researchers - even those conducting vastly different studies - can analyze the same datasets simultaneously.

This raises important questions: what remains today at La Silla from its recent past? what can the general public see? what buildings and instruments are still accessible? how can the history of scientific discovery be preserved, and how can La Silla's facilities be repurposed for education and public engagement?

Various initiatives are already underway to develop models for astronomical outreach and education. Collaborations with ESO, the *Interactive Museum of Astronomy* (MIA) in Santiago, and the University of Chile aim to create exhibits and activities that integrate historical instruments into public programs [fig. 14]. Among the instruments and installations that could be designed for educational purposes - adapted to La Silla's specific latitude and astronomical conditions - some have been tested in other locations (Lanciano 2002). These tools emphasize the visibility of the *Milky Way* and the broad range of the sky's declination throughout the year (150° of the 180° span from pole to pole). They are meant to be used outdoors, creating a direct connection between observers and their celestial environment.

Some potential installations include:

- a large-scale outdoor meridian line and wind rose, featuring traditional and local wind names at the cardinal points.

- a 'celestial recliner' [fig. 15], an inclined platform aligned with the equatorial plane, allowing visitors to lie down and observe the sky toward the South. A vertical pole attached to this recliner would be ai-

med at the *South Celestial Pole* and could serve as the gnomon for an equatorial sundial.

- A 'parallel globe', a model of the Earth positioned in a geographically accurate orientation at La Silla, showing real-time sunlight distribution with the observatory's hill at the top and the poles correctly aligned.

- a 'direction post', featuring geographically accurate arrows pointing toward key astronomical and terrestrial locations.

These ideas, adapted to La Silla's unique geography and sky conditions, could support both educational programs for schools and research on astronomy education. Similar approaches have already been implemented at observatories that, due to light pollution, are no longer fully dedicated to scientific research. Educational efforts could cater to diverse audiences, including students of different grade levels, teacher training programs, aspiring astronomers, and the general public. Additionally, the site could offer specialized programs for tourists, families, and astronomy enthusiasts.

Some historic observatories, like Mount Wilson in the USA, Pic du Midi de Bigorre in France, and Merate and Asiago in Italy, have successfully adapted their facilities for public outreach. A similar approach at La Silla could allow visitors to use advanced telescopes - far superior to those available to amateur astronomers or schools - through scheduled events.

For instance, certain telescopes could be dedicated, at specific times, to live-streamed observations for remote audiences, such as schools or institutions wishing to witness celestial events like lunar occultations, comets, or distant galaxies.

One particularly unique aspect of La Silla's location is its connection to indigenous astronomy. The layout of the observatory complex aligns with the path of the *Milky Way*, and indigenous cultures have traditionally named the dark regions of the sky rather than the bright stars of Greek-Latin constellations. These cultural perspectives could be incorporated into new structures and sky maps that illustrate the southern celestial sphere as seen from La Silla across different seasons and cardinal directions.

Through these initiatives, La Silla has the potential to evolve from a pioneering research observatory into a hub for public astronomy education, scientific outreach, and cultural heritage preservation, ensuring that its legacy remains accessible for future generations.

Notes

1. *The European Southern Observatory* (ESO); *National Science Foundation* (NSF); *Association of Universities for Research in Astronomy* (AURA); *National Radio Astronomy Observatory* (NRAO); *Observatorio Astronómico Nacional*; *National Astronomical Observatory of Japan* (NAOJ); *Carnegie Observatories*.

The *Accommodation* of European Knowledge at the Beijing Astronomical Observatory (17th-18th Centuries)

Matteo Flavio Mancini

Key words
Cultural Exchanges
Astronomical Instruments
Beijing Astronomical Observatory
Johann Adam Schall von Bell
Ferdinand Verbiest

Introduction

In recent decades, scholarly discourse has increasingly emphasised the need to interpret the world as an interconnected whole, examining it through the lens of global connections, exchanges, and the circulation of goods, people, and ideas. This approach seeks to reinterpret historical relationships between regions, cultures, and peoples while situating cultural differences within a broader, integrated framework. Within this context, the cultural relations between Europe and China exemplify how encounters between civilisations can stimulate exchanges that enable knowledge, theories, and technologies to transcend geographical and temporal boundaries, giving rise to new hybrid forms that incorporate elements of both cultures.

This study contributes to the wider field of research on cultural exchanges between the West and East Asia from the sixteenth to the nineteenth century, with a particular focus on the role of treatises and images as vehicles for cultural mediation and the transfer of theories and instruments. Specifically, it examines their function in facilitating the exchange of astronomical knowledge and instruments during the seventeenth and eighteenth centuries, which were activated by the presence of Jesuit missionaries, particularly within the context of the Beijing Astronomical Observatory.

The Jesuits in China and Their *Accommodation* Strategy

Cultural exchanges between Europe and China intensified from the seventeenth century through the action of Catholic missionaries who arrived in China thanks to Portuguese and Spanish ships with the aim of evangelizing the great Eastern empire. Compared to other non-European territories where Jes-

uit missionaries operated, China presented a different context: it was not a militarily occupied territory but a commercial partner for European crowns, and furthermore, it was recognized as having a high economic and cultural level. Here, the Jesuit missionaries chose to establish close ties with the imperial court of the late Ming (1580-1644) and Qing (1644-1912) dynasties and with the class of scholar-official literati who revolved around the court, presenting themselves as ambassadors and teachers of European knowledge. Along with their faith, the Jesuits also introduced European scientific and technological knowledge in various fields to China, including astronomy and the construction of high-precision instruments, thanks to relentless work of translation, "accommodation" and teaching of European sources. For the Jesuit missionaries, the integration of European knowledge into the Chinese cultural context proved to be a process capable of supporting a parallel path of dialogue and integration of elements of the Catholic religion into Confucianism, which was practiced by the highest classes of educated Chinese society at the time (Mungello 2013).

When the Jesuits arrived in China, they managed to insert themselves into the ongoing debate about calendar reform and to exploit the experience gained by their fellow Jesuit Christoph Clavius (1538-1612) in the Gregorian calendar reform. In 1642, the reform of the Chinese calendar, based on Western models and calculation methods, was approved and collected in the *Chongzhen lishu* (Mathematical Astronomy of the Chongzhen Reign). Three years later, with the beginning of the Qing dynasty, the Jesuit Johann Adam Schall von Bell (1592-1666) updated the work and modified its title by adding an explicit reference to the new Western methods to present it to the court of the new dynasty. Johann Adam Schall von Bell was awarded the position of Director of the Observatory and from then until 1775, a Jesuit was at the head of the institution. The new Western methods included the adoption of the geo-heliocentric model proposed by Tycho Brahe (1546-1601) in *De mundi aetherei recentioribus phaenomenis* (1588), which had been followed by the Roman Catholic Church in 1616 following the condemnation of Copernican and Galilean theories. The condemnation of heliocentrism led the Jesuits to prefer the Tychonic model and to present the Copernican one as a pre-Tychonic variant, emphasizing its usefulness for calculating planetary motions but omitting its cosmological value. The way in which the Copernican model was presented had been so misleading that, when it could be discussed openly, it was initially rejected by Chinese astronomers to whom it appeared in contrast with what had been previously stated. The ambiguous attitude maintained by Jesuit astronomers regarding the solar system model did not prevent them from contributing

1. Johann Adam Schall von Bell S.J., telescope images and lunar observations (Schall von Bell, J.A. *Yuanjing shuo*. Beijing, 1626).
2. Ferdinand Verbiest S.J., representation of the Beijing Astronomical Observatory (Verbiest, F. *Liber Organicus Astronomiae Europae apud Sinas Restitutae*. Beijing, 1668).

significantly to the development of Chinese astronomy, proposing innovations such as: the introduction of European methods for predicting eclipses, the exposition of Euclidean geometry and its application for describing planetary motions, the introduction of gnomonic and stereographic projections, the adoption of meridians and parallels to divide the Earth's surface, the introduction of updated astronomical instruments, including the telescope, and techniques for their construction (Elman 2005; Shi 2020a). Indeed, the optical principles of lenses and the use of the telescope were disseminated by Johann Adam Schall von Bell in the *Yuanjing shuo* (Explanation of the Telescope) in 1626, the first widely circulated treatise in Chinese to show the new instrument and telescopic images of the Moon [fig. 1] (Shi 2020b).

The Imperial Observatory

From the Zhou dynasty (1000-256 BCE), astronomical and astrological activities were entirely controlled by the emperor who governed the empire as Son of Heaven (*tianzi*) and was responsible for the management and maintenance of the Imperial Astronomical Observatory (Shy 2015a). The Imperial Astronomical Bureau was tasked with compiling the official calendar and observing, interpreting and predicting celestial phenomena, both periodic ones such as planetary motions and solar and lunar eclipses, and exceptional ones like the passage of meteors, comets and so-called "guest stars." Furthermore, it was responsible for observing day and night meteorological phenomena including winds, clouds, storms and fogs. The importance of these activities was vital for Chinese emperors who demonstrated the harmony between their reign and the Heavens through scientific control of astronomical and meteorological phenomena. For this reason, even before the arrival of Jesuit astronomers, emperors had employed Arab astronomers whose calculation techniques had proven more advanced than Chinese ones to assist their own astronomers.

Beijing was designated as the principal capital of the Ming kingdom in 1406 and was provided with a first astronomical observatory that, in 1439, was equipped with bronze astronomical instruments, modelled on wooden replicas of instruments dating back to the 13th century previously in use at the Nanjing observatory. In 1442 the new and definitive observatory was constructed on a bastion in the southeastern corner of the city walls and its instruments were placed on an approximately square platform (23.90×20.40 metres) positioned about 14 metres high (Deane 1994; Shi 2015b).

The most important transformations of the observatory occurred between 1669 and 1674, when the Belgian Jesuit Ferdinand Verbiest (1623-1688) directed the creation of six new bronze instruments: an equatorial armillary sphere, an ecliptic armillary

sphere, a celestial globe, an azimuthal ring, a quadrant and a sextant. Subsequently, the Jesuit Kilian Stumpf created an azimuthal quadrant (1713-1715), and the Jesuits Ignaz Kogler and Ferdinand Augustin Haller von Hallerstein produced the *Jibeng* armillary sphere (1744-1775), an instrument typical of Chinese astronomical tradition but equipped with European graduated scales and collimation devices (Shi 2015b; Deng 2021).

We know the state of the new observatory after the installation of the first six bronze instruments thanks to the representation that Ferdinand Verbiest had included both in the Chinese treatise *Lingtai yixiang zhi* (Treatise on the Astronomical Instruments of the Imperial Observatory) of 1668, and in the subsequent Latin summary *Liber Organicus Astronomiae Europaeae* from the same year and in the European compilation *Astronomia Europaea Sub Imperatore Tartaro* (Verbiest 1687). These latter works were conceived to publicise in Europe the efforts and successes achieved by the missionaries in China. Besides the instruments, the image also shows the stepped-platform structures in which these were housed, together with other supporting instruments including a sundial (at the centre of the southern side of the platform), an observation tower, a shelter for astronomers and a wind-direction indicator [fig. 2]. The image had great editorial success and continued to be reproduced, with some modifications, in numerous popular works about China published in Europe in different languages (Du Halde 1736, 1741).

European Astronomical Instruments

The precision of the instruments manufactured in 1439 cannot be verified, but considering the available descriptions and the traditional Chinese division into 365¼ degrees (*du*) of the celestial circles they adopted, their theoretical precision is estimated as intermediate between the instruments used by Nicolaus Copernicus (10 arc minutes) and those of Tycho Brahe (1 arc minute). Documentary sources testify to the poor state of preservation of the instruments as early as 1478 and a first request for replacement in 1489, followed by new criticisms regarding their accuracy in 1502. In 1612 it was decided to replace them with new wooden instruments, but this was only implemented between 1629 and 1635 with the contribution of Johann Adam Schall von Bell (Deane 1994). It is possible that the growing criticism of the accuracy of the instruments at the Beijing Observatory depended both on the lack of maintenance and on the fact that the instruments in use were replicas of those conceived for the Nanjing Observatory. Over time, calibration errors or missing adjustments to Beijing's latitude, which differs by 7 degrees from that of Nanjing, may have compromised their accuracy (Deane 1994).

3.

Ferdinand Verbiest S.J., the zodiacal armilla, figure 1 from *Liber Organicus* (left) and its prototype by Tycho Brahe in *Astronomiae Instauratae Mechanica* (right).

4.

Ferdinand Verbiest S.J., the equatorial armilla, figure 2 from *Liber Organicus* (left) and its prototype by Tycho Brahe in *Astronomiae Instauratae Mechanica* (right).

5.

Ferdinand Verbiest S.J., the azimuthal semicircle, figure 3 from *Liber Organicus* (left) and its prototype by Tycho Brahe in *Astronomiae Instauratae Mechanica* (right).

6.

Ferdinand Verbiest S.J., the quadrant, figure 4 from *Liber Organicus* (left) and its prototype by Tycho Brahe in *Astronomiae Instauratae Mechanica* (right).

The increasing inaccuracy of the observations and predictions produced by the observatory was among the causes of the calendar crisis and its reform, which paved the way for Jesuit astronomers. It was in this situation that, during the reign of the Qing Emperor Kangxi (1662-1722), these instruments were melted down and new ones were forged under the direction of the Belgian Jesuit Ferdinand Verbiest (1623-1688), who in those years was head of the observatory. Verbiest was a mathematician and astronomer trained in Leuven, Rome and Seville, who taught mathematics in Portugal before his departure for China, where he arrived in 1658. He had been appointed director of the observatory in 1669 and, by 1674, had six new bronze astronomical instruments of European inspiration made. Furthermore, he described the theoretical principles, construction techniques, instrument use and the renewed observatory in the 1668 volumes *Lingtai yixiang zhi* (Treatise on the Astronomical Instruments of the Imperial Observatory) and *Yixiang Tu* (Illustrations of Astronomical Instruments). With these works, Verbiest demonstrated not only his skills as a mathematician and astronomer but also his knowledge regarding technology and the manufacture of bronze instruments, integrating Eastern and Western techniques.

The prototypes of the instruments designed by Verbiest can be traced back to those illustrated about a century earlier by Tycho Brahe in *Astronomiae Instauratae Mechanica* (Brahe 1598), but they present updates that suggest the Belgian Jesuit's experience and knowledge of the most modern advances in European astronomical instruments, at least until his departure for China (Iannaccone 1989).

The proposed evolutions aimed at simplifying instrument use and improving precision, and derive from the design principles expressed by Verbiest:

“An instrument’s ability to measure astronomical phenomena is decided by calibration and observation. Calibration is all about fine and equal division just as observation requires persistency and accuracy. Those are the essentials in building astronomical instruments.”

(Deng 2021, p. 89)

“The six instruments are transparent in all directions so all the stars in the universe can be clearly seen and matched. The framework is thin and exquisite so it won’t block the view. The whole structure may be larger than the old designs but the rotation is far smoother. The new instruments were built with such sophistication that they can turn to any direction freely, accurate to the smallest detail in astronomical observation.”

(Deng 2021, p. 90)

In the *Yixiang tu*, Verbiest depicts the six new instruments, their construction techniques and their uses in 117 drawings. Unlike Tycho Brahe's plates which often adopt perspective views and architectural settings, Verbiest's plates show the instruments on checkerboard floors, without further environmental definitions, and systematically apply an axonometric representation devoid of chiaroscuro effects, suited to Chinese tradition and to mechanical and technological subjects. Specifically, the instruments made were:

- *Ecliptic Armillary Sphere* (Zodiacal Longitude and Latitude Globe) – This is an armillary sphere composed of 4 overall circles, each divided in the European manner into 360 parts, themselves subdivided into 60 minutes. Verbiest justified the reduction of the circles, and thus of the readable information, as improving the instrument's readability and functionality. It was used to measure the ecliptic coordinates of celestial bodies [fig. 3].
- *Equatorial Armillary Sphere* (Equatorial Longitude and Latitude Globe) – This is an equatorial armillary sphere which, as in the previous case, is simplified by reducing the number of circles to 3. Furthermore, one circle is transformed into a semicircle to simplify instrument orientation and measurement reading. This instrument was used to measure time, right ascension and declination of celestial bodies [fig. 4].
- *Azimuthal Semicircle* (Horizon Circle) – This is a simplification of the altazimuth instrument. It consists of a horizontal bronze circle and reading occurs through collimation of the celestial body with a plane materialized through a vertical rigid element and two diagonal cables connected to a horizontal indicator that rotates around the instrument's center. It was used to measure the azimuth of celestial bodies [fig. 5].
- *Quadrant* – This is a simplification of the altazimuth instrument, and was unknown to Chinese astronomers. It was designed to measure the altitude of celestial bodies and work in synergy with the previous instrument [fig. 6].
- *Bipartite Arc* (Sextant) – This instrument consists of a sixty-degree arc capable of rotating in three directions. To improve instrument stability, Verbiest introduced a support pole and pulleys. It was used to measure the angular distance between celestial bodies [fig. 7].
- *Celestial Globe* – Verbiest indicates this as the reference instrument for all the previous ones. It measures about 1.6 meters in diameter, weighs almost four tons and represents: the meridian plane, the horizon, the equatorial circle and the equinoctial and solstitial circles, the zodiac with the constellations engraved on the globe's surface and a circle for time measurement. Furthermore, sixty different ways of using the celestial globe are illustrated [fig. 8].

7. Ferdinand Verbiest S.J., the sextant, figure 5 from *Liber Organicus* (left) and its prototype by Tycho Brahe in *Astronomiae Instauratae Mechanica* (right).

8. Ferdinand Verbiest S.J., the celestial globe, figure 6 from *Liber Organicus* (left) and its prototype by Tycho Brahe in *Astronomiae Instauratae Mechanica* (right).

9. Ferdinand Verbiest S.J., gear types, figure 62 from *Liber Organicus* (left), and instrument movement using pulleys, figure 89 from *Liber Organicus* (right). The dashed lines indicate interruptions in the drawings due to page binding.

10. Ferdinand Verbiest S.J., construction and verification techniques for instrument circles, figure 43 from *Liber Organicus* (left), and for the celestial globe, figure 44 from *Liber Organicus* (right). The dashed lines indicate interruptions in the drawings due to page binding.

Image p. 110
Portrait of Johann Adam Schall von Bell in Chinese attire (Kircher, A. *China monumentis, qua Sacris quâ Profanis, nec non variis naturae & artis spectaculis, aliarumque rerum memorabilium Argumentis illustrata*. Amsterdam, 1667).

The simplification process of some instruments, which extends to the division of the altazimuth into two independent specialized instruments, also finds correspondences in the methodological recommendations expressed by Verbiest. The Jesuit astronomer suggests always integrating readings from multiple instruments, since combining measurements allows both obtaining all desired information and evaluating errors through comparison of the measurements themselves.

Compared to Tycho Brahe's prototypes, all instruments were entirely made of bronze, achieving greater stability, and have a maximum diameter of about 2 meters to increase reading precision. Furthermore, to optimize calibration and measurement repeatability, the instruments are equipped with individually adjustable feet to ensure horizontality, and could be moved thanks to specially designed gears and helical pins to reduce the energy required (Halsberghe 2011). Additionally, the movement of heavier instruments could be accomplished through the use of pulleys and counterweights [fig. 9]. Finally, it is interesting to note that Verbiest's educational commitment also includes the construction techniques of the instruments and some procedures to verify circle planarity, through a system of cables and weights, and the finishing of the celestial globe's spherical surface, with filing operations [fig. 10].

Conclusions

The experience of accommodating European knowledge by Jesuit missionaries in China concerning astronomy and the construction of observational and measuring instruments represents a long-term cultural exchange that established a shared foundation for communication and research between cultures that had developed with limited prior contact.

The transmission of different cosmological models, geometric principles, and instruments occurred through—and simultaneously generated—an extensive body of published works characterised by the translation and integration of knowledge, in which images played a crucial mediating role. This cultural exchange, in fact, triggered a significant bidirectional movement of treatises as vectors of knowledge, and the illustrations they contained are noteworthy both for their content and for the reinterpretation they offer of their respective figurative traditions and visual cultures.

In this context, the work of the Jesuits Johann Adam Schall von Bell and Ferdinand Verbiest demonstrates the scientific and institutional success of their mediating efforts, while also revealing limitations rooted in profound cultural differences. The geocentric theories that had been revolutionary in Europe—because they challenged a broader framework of established theories and values—were ultimately accepted in China for their practical benefits in producing more accurate

calendars and refining astrological predictions for the emperor. For the same reasons, interest in new astronomical instruments was exceptionally high, enabling Verbiest to hybridise European astronomical and technical knowledge with Chinese craftsmanship and aesthetic traditions. Indeed, his European-style instruments reflect Chinese decorative preferences, incorporating allegorical figures and drawing upon China's expertise in bronze casting, resulting in a sinicisation of European knowledge that remains visible today at the Ancient Beijing Astronomical Observatory.

Light, Shadows, and Architecture in the Perception of Solid Perspectives: The Windows of Palazzo Doria Pamphilj

Marco Fasolo, Flavia Camagni, Elisa Guarino

Key words
Solid Perspective
Shadow
Light
Perspective Illusion
Visual Perception

Introduction

Le Corbusier's renowned statement, "Architecture is the masterful, correct, and magnificent interplay of volumes assembled in light" (Le Corbusier 1973, p. 16), succinctly captures the relationship between architecture and light. The material essence of architecture merges with the immaterial entity of light, producing an exaltation of form that leads the observer to appreciate its three-dimensional reality. Light, as a physical entity, is therefore essential for perceiving and understanding the surrounding world, including architecture. It is specifically the shadows produced by light striking opaque surfaces that create *chiaroscuro* effects, enhancing spatial perception.

Regarding the inseparable relationship between light and darkness, James Turrell notes: "Light is not the only prerequisite for seeing. Darkness is another. True

light and true darkness are, in fact, asymmetric. Light is a prerequisite for seeing everything, whereas darkness (interacting with light) is the prerequisite for seeing something in focus" (Hurtado Campaña 2017). The interplay of light and shadow not only enables vision but also facilitates the assessment of forms, metaphorically bringing them to life, as if they were breathing entities. Juhani Pallasmaa clearly illustrates the effects of light and shadow on architecture: "The extraordinarily powerful impression of focus and presence in the paintings of Caravaggio and Rembrandt arises from the depth of shadow. Shadow gives shape and life to the illuminated object. It also provides the dimension from which dreams and fantasies emerge. In grand architectural spaces, there is a constant and profound respiration between light and shadow; shadow inhales and illumination exhales light" (Pallasmaa 2007, p. 63).

It is evident, therefore, that light and shadows are natural elements that enable the very existence of architecture. Francesco Venezia provocatively stated during a lecture at the Faculty of Architecture in Alghero: "At the equator, there is no shadow; at the poles, there is no light; architecture cannot exist there. At our latitude, light creates the right shadow; only here can architecture exist" (Censi 2014, p. 7).

This paper proposes to reverse the sequence of architecture, geometry, and astronomy characterising the title of this conference to one more functional for our purposes: astronomy, geometry, and architecture. Astronomy refers to the Sun, the parent star of the solar system; geometry pertains to the projective phenomena of shadows it produces; and architecture denotes the physical object—the composition of volumes upon which shadows fall. The existence of the two immaterial elements, light and shadow, enhances the spatial comprehension of architecture, underlining its intrinsic three-dimensionality and enabling observers to better understand it. Shadows—self-cast, cast, and self-supporting—play a pivotal role in visually comprehending space and three-dimensional objects, revealing forms and their spatial relationships.

The Role of Light in Revealing the Deception of False Perspectives

We have observed how light and its resulting shadows play a fundamental role in vision and the appreciation of forms. The "static" movements of architectural components projecting outward from facades or recessed into them activate visual mechanisms, creating a dynamic perception enhanced by the interplay of light and shadows. Light penetrates architecture, animating it with planes of light and intersecting surfaces that yield an immaterial yet tangible spectacle. The spatial configuration of forms, whether complex or simple, is discerned by an observer interpreting the interplay of light and shadow, perceiving the fullness

and emptiness that characterise the architectural artefact. The depth of a spherical niche or an entablature of any order, for instance, becomes more apparent through shadows that offer additional cues to emphasise the existing depth.

This raises the question: what occurs when the architectural artefact intentionally simulates depths different from its actual dimensions? We refer to architectural elements that, in their three-dimensionality, suggest a spatiality that is contracted compared to the built reality, such as "false perspective" windows. Can the Sun's action, through the phenomenon of shadows, reveal the true morphology of these geometries? False perspective windows are part of "solid perspective," also known as "relief perspective," though the former term, with its adjective "solid," better describes the three-dimensional nature of this perspective representation. A solid perspective object is designed and constructed to simulate depths greater than those that actually exist.

In isotropic architectures, we have seen how light and shadows emphasise the real depths of physical elements, leading observers to a sculptural appreciation of what they see. But what happens when viewers encounter anisotropic architectures, such as solid perspectives illuminated by light and shadows? Can the Sun's movement throughout the day influence the perception of these objects, revealing the hidden illusory deception?

To answer these questions, we examined the effects of light and shadows on the solid perspective windows of Palazzo Doria Pamphilj in Rome.

Windows in Solid Perspective

To study this phenomenon, we have chosen to analyse the windows located on the first level of the courtyard at Palazzo Doria Pamphilj al Corso. These windows exhibit perspectival features capable of altering spatial perception, appearing to observers as significantly deeper than they actually are [fig. 1]. Illusory architectural solutions of this kind originated during the Renaissance but became more prominent starting in the Baroque period, reflecting its prevailing sense of wonder (Ricci 1904). Among the most renowned and enduring examples are Bramante's fictive choir in Santa Maria presso San Satiro, the Gallery of Palazzo Spada attributed to Borromini, and Bernini's famous Scala Regia in the Vatican. These design devices, aimed at evoking the perception of illusory space in viewers (Paris 2005), are generally classified in the literature as "false perspectives" or "solid perspectives." The latter can be further subdivided into subcategories depending on the relationship between the real, objective space and the space these perspectives suggest.

The windows under examination, as well as portals and niches with the same perspectival basis, fall into the category of solid perspectives that suggest a re-

1. The courtyard of Palazzo Doria Pamphilj on the Corso before the recent restoration. ©Trust Doria Pamphilj. All rights reserved.

2. Detail of one of the perspective windows on the south side before the recent restoration, shown in a lateral view (left) and a frontal view (right). ©Trust Doria Pamphilj. All rights reserved.

duced spatial depth from an already constrained real space. As shown in figure 1, the windows in question have a shallow depth, yet their horizontal architectural elements—such as the mouldings above the jambs of the arch and those delineating the coffers—are inclined inward and converge approximately at a single point. This generates the phenomenon of perspectival acceleration, responsible for the illusion of increased window depth [fig. 2].

The inclination of certain significant architectural elements and their perspectival intent can also be observed in other windows. These may appear as unique features on a façade, such as in the Church of San Stanislao of the Poles or the Church of Saints Celsus and Julian in Rome, or as serial elements at elevated levels, as seen on the uppermost level of the principal façade of Palazzo Barberini. In other cases, they adorn façades with varying alignments, as in the Palazzo di Caccia at Stupinigi in Turin, or characterise all four sides of a courtyard, as is the case at Palazzo Doria Pamphilj al Corso. Unlike the other examples mentioned above, the distinctiveness of the windows under study lies in their placement within a Renaissance courtyard, which, by its nature, consists of four identical façades. This configuration allows for the simultaneous observation of the perspectival elements under varying lighting conditions.

The Courtyard and Windows of Palazzo Doria Pamphilj al Corso

Palazzo Doria Pamphilj al Corso borders the Church of Santa Maria in Via Lata and Piazza del Collegio Romano to the north and, according to Lanciani's *Forma Urbis Romae*, stands on the foundations of the Saepta Iulia. The current configuration of the building results from a series of interventions that, starting with the original nucleus dating back to the early sixteenth century, gradually incorporated the medieval structures of the block bordered by Via del Plebiscito to the south, Piazza Grazioli to the west, and Via Lata (now Via del Corso) to the east. Within the courtyard, both sixteenth- and eighteenth-century elements can be distinguished. Although the initial project envisaged a courtyard, its construction was interrupted: only the eastern and southern sides were completed, with a partial loggia built on the upper level. Two centuries later, between 1731 and 1739, architect Gabriele Valvassori completed the courtyard and enclosed the upper loggia to create the famous Gallery strongly desired by Camillo Filippo Pamphilj. The temporal difference between the two construction phases is evident in the materials and craftsmanship: the sixteenth-century columns, made of *peperino* marble, are adorned with finely worked stone capitals, while the eighteenth-century ones are plastered and topped with more crudely crafted gypsum capitals. The courtyard serves as a connecting element between

the pre-existing structures, providing rational unity in terms of both distribution and style. Despite the termination of Valvassori's relationship with the client, work continued, and the project was completed in 1877 with the intervention of Busiri Vici. However, since Valvassori's contribution, no significant modifications have been made to the courtyard, although it was used for prestigious events in the second half of the eighteenth century, such as the one on 2 April 1769. On that occasion, architect Francesco Nicoletti constructed a wooden structure covered with drapery at the level of the Gallery—an example of ephemeral architecture—which provided a privileged vantage point for observing the perspectival windows.

The effectiveness of the perspectival basis of the windows was partially confirmed by Carandente's surveys in the 1970s, which did not detect the aforementioned inclinations. It is possible that the illusion of greater depth becomes more apparent only under specific sunlight conditions (Carandente 1975).

Analysis of Shadows in Perspectival Windows

The courtyard of Palazzo Doria Pamphilj has a square layout, articulated over two levels: a ground level with a portico featuring arches supported by columns, and an upper level housing the Pamphilj Gallery and the perspectival windows mentioned earlier.

The compositional layout is symmetrically repeated across all four sides of the courtyard. Each module features a double window framed within a harmonious composition: a semicircular arch rests on Corinthian semi-columns, while the upper segment of the window, in a flattened arch form, is accentuated by moulded profiles. The lower aperture, rectangular and vertically oriented, is also framed by mouldings.

Two key elements define the structure: the arch supported by columns and the windows with moulded frames. These systems are arranged on two parallel planes set at different depths. The intermediate space connecting these levels features a slightly inclined surface, a crucial factor in achieving the perspectival effect. At the arch, the coffers are arranged radially, with mouldings converging towards the centre; similarly, the transitional elements between the columns simulate crafted pilasters. In these pilasters, mouldings that would typically be horizontal in an isotropic model are inclined, reinforcing the dynamic three-dimensional perception of the composition. This illusory interplay is further enhanced at the lower section of this element, where the mouldings return to being horizontal and align with the bases of the columns [fig. 3].

The incidence of sunlight plays a fundamental role in accentuating the volumes and mouldings of the perspectival windows, creating a complex interplay of light and shadow that enhances the illusion.

However, the effect of cast shadows varies depending on two main factors: the Sun's position throughout

the day and the placement of individual architectural elements. Since the windows' composition is symmetrically repeated across all four sides of the courtyard, each receives sunlight at different angles throughout the day. This results in a variety of shadows that, at certain times, accentuate the perspectival nature of the frames, while at others, they reveal their artificiality. Such variations in light serve as an effective tool for examining the design intent behind the optical illusion and the spatial perception of observers.

Photographs taken at different times of day of the same window demonstrate how cast shadows significantly alter the perception of decorative elements and, consequently, the perspectival effect. In the early morning, when the façade is shaded and receives no direct sunlight, the illusory effect is at its most effective, preserving the compositional unity. As the day progresses, sunlight begins to reveal the actual depth of the inclined elements, gradually exposing the illusory nature of the representation. At midday, when the Sun is high, the prominent shadow cast by the terminal cornice visually disrupts the balance between the upper and lower parts of the window, resulting in a loss of unity in the overall perception of the architectural element [fig. 4].

This initial observation demonstrates how the intrinsic value of an architectural form lies in the inseparable link between light and volume. Just as light is essential for the perception of architecture, so too is its counterpart: shadow. Indeed, shadows—whether self-cast, cast, or ambient—contribute to the visual understanding of space and three-dimensional objects, revealing their forms and spatial relationships.

This study aims to investigate whether the perception of depth in the window frames is maintained regardless of lighting conditions or whether the shadows naturally present at certain times of day expose the deception. The methodology involves direct observation of the physical phenomenon and photographic documentation. This phase is preparatory to formulating hypotheses about the influence of shadows on the perception of the geometries in the solid perspective model. The next step involves creating a digital model replicating the morphology of the subject under investigation, testing the hypotheses using tools capable of simulating the Sun's direction. The digital system also allows for an explicit representation of the geometric relationships between the Sun and architecture, enabling a detailed description of the projective phenomenon in its complexity.

Explicit Geometry of Shadows

To deepen the understanding of the relationship between the perception of architectural forms and light interaction, the entire system—architecture and light phenomenon—was digitally reconstructed, with particular attention to its geometric component.

As a first step, a three-dimensional model of the courtyard was created using data from an integrated survey campaign based on the Structure from Motion (SfM) technique, verified and cross-referenced with topographical data. This methodology produced an accurate model with reliable spatial and metric information. However, the final outcome is not merely a faithful representation: it is a critical interpretation of the data, designed to construct an idealised model that prioritises morphological and proportional rules over potential irregularities from the original construction techniques [fig. 5]. The courtyard model was then georeferenced and oriented before being integrated into a parametric digital system [fig. 6].

The creation of the parametric system aimed to clarify the geometric construction of shadows, analysing their dynamic behaviour as the direction of sunlight changes throughout the day and across different seasons. The digital simulation enabled precise observation, with geometric and projective accuracy, of the interaction between light and architectural surfaces, highlighting variations in mouldings and the perspectival effect of the windows.

Testing the digital model under different lighting configurations revealed that the western façade is most sensitive to variations in cast shadows, with clearly observable effects [fig. 7]. The parametric system comprises two main components: the first manages the direction of the light source based on geographic location and time; the second handles the representation of the light ray, allowing observation of the projective phenomenon, including its geometric aspects [fig. 8]. This dual structure enables dynamic verification of the relationship between light direction and the perception of simulated depths.

The analysis revealed that when the light direction aligns with the perspectival elements, the shadows do not interfere with the illusion. Conversely, significant variations in light direction can expose the illusory nature of the perspective.

Conclusions

This research confirms the importance of direct observation and digital modelling in understanding the interactions between light, shadow, and the spatial perception of architecture. Moving beyond traditional approaches, as illustrated in Matteo Zaccolini's treatise on shadows (1618–1622), which starts from an object to apply shadows, this study adopts the reverse process: from reality to the geometric definition of the problem. The theory of shadows, while rooted in historical traditions, finds new practical applications in the understanding and management of architectural illusions. “Our eyes are made to see forms in light: shadows and light reveal forms” (Le Corbusier, 1973).

3. Perspective analysis of the second-level window in the courtyard.

4. Courtyard window with shadow effects varying according to the direction of sunlight. ©Trust Doria Pamphilj. All rights reserved.

5. Palazzo Doria Pamphilj al Corso. Digital modeling of a courtyard bay (left) and a window (right).

6. Digital representation of the shadows cast by sunlight on the courtyard under study.

7. West elevation at four different times, recorded during the autumn period.

8. Parametric system for shadow variation, with explicit representation of the light ray's direction.

Image p. 120
The effects of light on the perspective windows of Palazzo Doria Pamphilj.

The Oval of Bernini and Kepler's Ideas: initial reflections on the Geometry at Palazzo Barberini

Stefano Costantini

Key words

Descriptive Geometry
Digital Survey
Kepler
Bernini
Graphical Analysis

Introduction

Palazzo Barberini, likely due to the simultaneous presence of several prominent architects and artists of the time, consists of various spaces of significant architectural and spatial importance, which are widely known and highly regarded. In addition to the introduction of new architectural solutions, the building is filled with metaphorical and theoretical references to themes related to the universe and astronomy. Many of these are found within the Sala Ovale. The design of this room has been associated by some authors (Magnanimi 1984; Colonnese 2014; Velo 2021) with Galilean cosmic theories and the solar system with elliptical orbits described by Johannes Kepler, whose theory was published about twenty years before the beginning of the works in a 17th-century Rome, which was systematically applying this geometry in various religious buildings. This research aims to test the hypotheses formulated in the past, reflecting on the possible influence of new astronomical discoveries in the design process of the papal residence, considering the innovative application of the oval shape within a civil building. Firstly, an effort has been made to outline the historical and cultural context in which the building's construction took place, highlighting both the architectural significance of the elements present in the room and the symbolic references identified by historical critics, whose values are further enriched by the relationship between the patron and astronomy. To verify the realized geometric design, a digital survey was then conducted using range-based technology, with the acquired data being presented in two-dimensional drawings. These were analysed and compared with the various interpretations of

the room's proportions that have evolved over time, as well as with the graphic studies of the oval represented by Johannes Kepler, published in the early 1600s to demonstrate the orbit of Mars.

The Sala Ovale of Palazzo Barberini in Rome

Around 1625, in the heart of a culturally vibrant Baroque Rome, Pope Urban VIII¹ (1568 - 1644) acquired the pre-existing Palazzo Capri-Sforza, along with the surrounding land, to build his city residence. The original palace was incorporated into the new project, becoming a source of structural constraints and the positioning of floor levels. The architectural commission was entrusted to Carlo Maderno (1556-1629), initially assisted by the young Gian Lorenzo Bernini (1598-1680). After Maderno's death, Bernini took over the project, collaborating with Francesco Borromini (1599-1667). The presence of these three prominent figures from the seventeenth century contributed to the creation of a unique civil building in the Roman urban context.

Among the distinguishing features of the complex are its internal position relative to the main street front, the symmetrical layout with two projecting wings and a recessed main façade, and a rear passageway more than 80 meters long. This path, oriented at an azimuth of 65° from the north², thanks to the presence of a ramp approximately 50 meters long, is designed with a solid perspective that significantly alters visual perception, guiding the gaze, from the entrance, toward the statue of Apollo³ [fig. 1]. The allegorical representation of the Sun, visible from the fountain facing the palace when the observer stands along the longitudinal symmetry axis, is not accidental. The Sun allegory can be observed at various points in the complex, expressed through different images, both sculptural and pictorial⁴. This element testifies to Pope Barberini's intention to create an analogy between his own figure and that of the Sun.

Along the main axis, on the first floor, is the *Exedra Ovata* (Teti 1642), now known as the Sala Ovale [fig. 2]. This space, positioned as a link between the Salone d'Onore and the garden behind, was likely completed around 1632. Visually, the Oval Room contrasts with the figurative richness of the frescoed Salone, as it is entirely plastered and stuccoed. The walls are divided by 16 pilasters on pedestals, crowned by Ionic capitals that support a continuous entablature with dentils. A vaulted ceiling rests upon this entablature. Between the pairs of pilasters, there are alternating cylindrical and ovoid niches, with sculptures in the former and marble busts in the latter.

The use of ovals/ellipses within architecture became increasingly frequent during this period, likely due to the dissemination of *Libro I* of Sebastiano Serlio's treatise (Serlio 1545), which proposed various practical methods for drawing these curves⁵. However,

1. Longitudinal section of the palace along the main axis (drawing by the author).

2. Point cloud generated by laser scanning of the Sala Ovale in Palazzo Barberini.

the Sala Ovale represents a unique case, as for the first time, an ovate shape was applied in a civil architecture. Moreover, the choice to orient the room transversely and place it along the palace's longitudinal axis gives it a central role within the overall design of the building.

According to the literature (Magnanini 1983; Magnanini 1984), this space is also imbued with astronomical and cosmological meanings. The white vaulted ceiling, illuminated by diffuse light from the large openings facing the garden, is associated with a symbolic representation of the celestial sphere. Similarly, the whiteness of the surfaces (evocative of divine illumination) and the arrangement of the four niches along the walls, placed in proportional relation, would allude to the tetralogical system upon which the universe is founded. These considerations seem to have led the Pope to use this room to gather his cultural circle for literary exercises (Colonnese 2014), as recalled by Gerolamo Teti in his work, where he states that "...litterariis exercitationibus nempe accomoda, quam et olim ego ad ipso Principe ad hunc usum commendatam nemini..."⁶.

Urban VIII and Astronomy

In December 2004, an important conference titled *I Barberini e la cultura del Seicento* was held at the museum's venue, bringing together many researchers and fostering discussions on various topics. Among the presentations, the essay by John Beldon Scott stands out, as it examines the Pope's interest in astronomy (Beldon Scott 2004). The author highlights the relationship with Galileo Galilei, noting that, in addition to sharing a common cultural heritage⁷, the two maintained an epistolary relationship from 1611 to 1623, during which they commented on and revised each other's writings.

Another emblematic example is the title page of the first part of the *Teatro d'Imprese* (1623), written by Giovanni Ferro for Cardinal Maffeo Barberini. In the title page [fig. 3a], which illustrates the twelve imprese (achievements) of the cardinal, a coat of arms stands out in the lower left, depicting the Sun rising over the ocean beside a castle, accompanied by the motto *preaesignat ad ortu*. On the right-hand side, slightly above, there is another coat of arms depicting a telescope, crowned with the inscription *et remotissima prope*. On page 650 of the same treatise [fig. 3b], a similar representation appears: a coat of arms at the center of the page showing the Sun rising over the ocean, accompanied by the motto *aliusq(ue) et idem*, taken from Horace's *Carmen Saeculare* (v. 10).

Another significant aspect is Pope Urban VIII's interest in the philosopher Tommaso Campanella (1568-1639), which led to his inclusion in the Pope's cultural circle. In 1629, after the construction of the

new papal residence had begun, Campanella published his *Astrologicorum Libri* (Fagiolo 2023). This work, divided into six books, focuses on astrology, the movement of celestial bodies, and their effects on human life.

All of these elements, summarized here, are part of a broader and more complex context that highlights Pope Urban VIII's particular interest in astronomy and the emerging scientific disciplines of the time. Considering this, some authors (Colonnese 2014; Velo 2021) have proposed an initial geometric connection between Keplerian theories and Berninian architecture. This relationship will be explored further in the following paragraphs, with particular attention to Palazzo Barberini and the Room that is the focus of this study.

Kepler and the Ellipse

Until the early 1600s, the geometric structure of the universe was based on the circle and circular motion (Valerio 2006). Already in the previous century, Copernicus, while questioning the Ptolemaic geocentric model, asserted that "only the circle can return a body to its starting position" (Dreyer 1977, p. 293). This conception soon changed, thanks to Johannes Kepler (1571-1630), a German astronomer, mathematician, and philosopher, author of several astronomical treatises and essays. Among these are the *Mysterium Cosmographicum* (1596), *Astronomia Nova* (1609), and *Harmonices Mundi* (1619). In the first, a fusion of Platonic theories on the order of the planets and the new scientific theories of Nicolaus Copernicus, with his revolutionary heliocentric system, is evident. In the second treatise, Kepler presents the theory of elliptical orbits, in contrast to circular ones. In the third, he outlines the three laws of planetary motion. Within the *Astronomia Nova* ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ *seu physica coelestis, tradita commentariis de motibus stellae Martis ex observationibus G.V. Tychoonis Brahe*, published in Prague, Kepler continues the cosmological revolution begun by Copernicus in 1534. Indeed, to define planetary orbits, the astronomer studied the motion of Mars and wrote that "the orbit of Mars is not a circle, but passes inside the circle at the sides, again increasing its size compared to the circle at the perigee. The shape of such a trajectory is called an oval" (Hall 1976, p. 123).

Particular attention is paid to Chapter 59, entitled *Demonstratio, quod orbita MARTIS, librati in diametro epicycli, fiat perfecta ellipsis: Et quod area circuli metiatur summam distantiarum, ellipticae circumferentiae puictorum*. Within this chapter, Kepler represents the elliptical orbit inscribed within a circle and scientifically demonstrates that it is indeed an ellipse, understood as a closed plane curve derived from the intersection of a circular cone with an inclined plane, generally relative to the cone's axis⁸. The demon-

3. Frontispiece of *Teatro d'Impresa* (1623) by Giovanni Ferro, depicting the 12 emblems within shields (left). Page 650 of the work with a full-page representation of the Sun (right).

stration proposed by the author is divided into two parts. The first includes a series of preliminary propositions, called *protheoremata* (which can consist of axioms or concepts stated and often demonstrated synthetically), and it is composed of twelve points. The second part, dedicated to the actual demonstration, is divided into five sections and presented through similar synthetic methods.

The author also publishes a drawing of an ellipse inscribed within a circle [fig. 4], repeated at two-page intervals within the chapter. This representation involves the coexistence of multiple straight lines and square areas, making the image less immediate upon first reading, as it accompanies more than one of the demonstrations presented.

For instance, in the first *protheoremata*, a circle with center H passing through three points, A, E, and C [fig. 5a], is considered. An ellipse passing through two of these points, A and C, and a third point, B, is then traced, resulting in the diameter AC as the major axis [fig. 5b]. Two perpendiculars to the diameter are then drawn, passing through the points E and K on the circle and B and M on the ellipse, intersecting the diameter at points H and L, respectively [fig. 5c]. For any perpendicular to the diameter, such as segment KL, the ratio $BH:HE = ML:LK$ always holds true. Verification using vector drawing software reveals an error on the order of the third decimal place after the zero.

The subsequent points address the relationships between areas, both between the circle and the ellipse and in relation to the squares constructed from the perpendiculars to the diameter AC [figs. 5d, e]. However, the discussion is not about a pure geometric construction: the drawing is mathematically verified through numerical calculations and proportional ratios that confirm the hypotheses presented.

Although Kepler had intuited that every celestial body describes its own elliptical trajectory (where each orbit lies on a plane), whose shape is conditioned by the positions of maximum proximity (perihelion) and maximum distance (aphelion) from the Sun, this study focuses on the motion of Mars. This is because, in addition to the historical coincidence between the publication of the treatise and the start of the construction of Palazzo Barberini, the goal of the research is to outline a methodology for analyzing the possible influence of Keplerian theories on the design process of the Sala Ovale. In order to compare the geometries and formulate the first hypotheses of interpretation, the first step was to retrace the methods of drawing the Keplerian ellipse.

Graphical Analysis of Kepler's Ellipse

Since Kepler did not provide a precise definition for the drawing of this figure, and due to the absence of visible markings on the original drawing that would

aid in this purpose, a graphical analysis of the ellipse was conducted to identify a potential algorithm for constructing the curve. It is noted that the varying thicknesses, as well as the printing process (which involves the transition from the drawing to the engraver and then its transfer onto the printing press), may have introduced an error compared to the original drawing. After importing the image into a CAD vector environment, the first step was to trace the circle passing through three points: A, C, and E.

The ellipse constructed by Kepler passes through two points of the circle and a third point, B, which must be positioned. Once the radius passing through point E was drawn, the segment BE appeared to be about one-eighth of the segment EH, allowing for the determination of point B's position. The ellipse was then constructed (using the software's constrained operation) with the center and the lengths of the two semi-axes. However, the resulting figure did not closely follow the expected path [fig. 6a]. As an additional verification, the ellipse was constructed using Serlio's method⁹. Even in this case, the conic tracing did not, on a macroscopic level, align well with the original drawing [fig. 6b].

Since the terms ellipse and oval were commonly used as synonyms in the Renaissance (Migliari 1995), an investigation into tracing the curve using the construction of an oval was undertaken. The construction method applied is based on the fourth of those proposed by Sebastiano Serlio in the *Libro I* (Serlio 1619). The major semi-axis was divided into eight parts, and a circle with a radius equal to half the length of the segment was constructed. The second center, along the minor semi-axis (which was already divided into eight parts), was identified one-eighth from the center of the base circle. By aligning the centers and symmetrically inserting the other two points, one on each of the major and minor semi-axes, a polycentric curve with arcs of circles in continuous tangency was obtained. When this curve was superimposed on the original image, it was found to be a good approximation [fig. 6c], considering the challenges of interpretation due to the non-constant thickness of the line in the scanned print. The overlap with Serlio's other methods, as with the ellipse, did not seem to align with the base drawing [figs. 6d-f]. The next step is to analyze the geometric layout of the Sala Ovale, in order to determine any potential cultural correlations between Kepler's work and the construction of the space.

Survey and Geometric Analysis of the Sala Ovale

The Sala Ovale has been the subject of numerous studies over the years. It is important to remember that, in practical construction, the adoption of an oval profile allows for a curve that closely approximates an ellipse. Moreover, tracing a parallel to an

4. Drawing from Chapter 59 of *Astronomia Nova*, used by the author to demonstrate the elliptical shape of Mars' trajectory.

5. Algorithm for tracing the elliptical orbit of Mars, according to Kepler, as presented in the first *protheoremata*.

6. Graphical analysis of Kepler's ellipse from *Astronomia Nova*. Demonstration that the curve represented is best approximated by the fourth oval construction proposed by Serlio.

ellipse does not yield a new ellipse, unlike a parallel to an oval, which retains continuous tangency segments resembling circular arcs. This particular property inevitably reflects in the construction phase, whether for walls with a certain thickness made of materials like brick, as in this case, or for stereotomic constructions (Migliari 1995).

Based on the survey conducted, the main tracing and proportional proposals for the floor plan were verified, followed by an analysis based on hypotheses emerging from the comparison with Kepler's theories, and finally, a verification using the constructions described by Sebastiano Serlio. The space was surveyed using laser scanning technology¹⁰, with a total of four scans strategically placed to acquire the cylindrical perimeter surface of the room.

Due to the presence of pilasters with bases, projections, niches, and mirror works with moldings, four horizontal section planes were defined [fig. 7], which are useful for evaluating potential deformations of the vertical walls and clearly reading the profile of the back wall. The center of the room on the floor was taken as the reference point (0.00 m), and the levels were placed at the following heights: +0.70 m; +2.20 m (above the steps leading to the garden); +4.70 m (above the moldings of the four niches with statues); +6.30 m (between the oval niches containing busts and the continuous architrave supported by the pilasters). The reading of each individual horizontal section allows for the observation that the layout does not adhere symmetrically to the axes drawn [fig. 8]; although there is a deviation of up to a Roman palm in the lower right quadrant. While it is difficult to imagine the profile being asymmetrically designed, it is plausible to hypothesize a variation due to site constraints imposed by pre-existing structures or irregularities during construction. Moreover, the superimposition of the sections shows no significant misalignments between the levels [fig. 9].

Since no significant rotation of the vertical walls was noted, the analysis focused on the section set at the height of +6.30 m, as it is the only one capable of providing a continuous profile without interruptions caused by openings or niches. Analyzing a profile closer to the floor would have been more consistent for retracing the process of center and curvature profile tracing; however, the interruptions and point bases under the individual pilasters would have required excessive approximation, compromising the validity of the results.

The first studies conducted (Magnanimi 1983) sought to identify a proportional scheme starting with the construction of a circle inscribed in a square, whose diameter corresponds to the major axis of the Room. However, the tracing sequences leading to these constructions are not clearly described in the reference documents and appear as drawings without

explicit explanations. These drawings have been the subject of interpretation, and the results are presented here. In the first proportional scheme, the centers along the major axis are placed at the midpoint of the semi-axes, similar to the Keplerian ellipse. In the proposed model [fig. 10a], the sides of the square seem to have been divided into twelve parts and intersected by horizontal and vertical lines, as shown in the figure. Two circles with diameters equal to the major semi-axis were drawn, thus imposing their centers as centers for the polycentric construction. Subsequently, concentric circles tangent to the vertical lines were drawn. The outermost circle would identify the ends of the minor axis, but it would not be possible to construct a polycentric curve with continuous tangency, as the identified centers (placed at the midpoints of the major semi-axes and at 4/6 of them from the center) would not be aligned. Similarly, the geometric relationships analysed by architects P. Macoratti and F. Palazzesi also seem to present similar issues [fig. 10b]. In this case, a square would be divided into a 12x6 grid, but the centers (located about halfway along the semi-axes) produce a polycentric curve that does not satisfy the initial constraint, i.e., the alignment of the square's side (and the diameter of the circle) with the major axis of the Room.

After discarding the previously formulated hypotheses, the focus shifted to the comparison with Kepler's geometry. From the profile of the Room, the circle was reconstructed, with its diameter corresponding to the major axis, which is 65 and 1/3 Roman palms, again used as a reference dimension. The first centers were placed at the midpoints of the major semi-axes, while the third center was located one-eighth of the radius from the center of the base circle. However, the traced curve did not closely resemble the Keplerian construction, appearing much narrower. The center was then progressively shifted along the minor semi-axis by one-eighth at a time, tracing the arcs and verifying their overlap with the floor plan profile [fig. 11]. The best match was obtained with the arc whose center is located at the midpoint of the radius of the original circle. Again, as already mentioned, the asymmetry of the built space re-emerges, particularly in the lower-right quadrant.

This model does not seem to have a direct reference to Kepler's ellipse but shows greater affinities with Serlio's methods, as well as with the representation found in Kepler's treatise. Therefore, it is essential to compare the layout with other constructions found within Sebastiano Serlio's *Libro I*. His work certainly influenced many architectural projects during the Renaissance and Baroque periods, thanks to the widespread availability of the printed work, which was easily accessible to architects and builders of the time. For the other oval constructions, the length of

7. Transversal section of the Sala Ovale with the levels chosen for horizontal sections (graphic elaboration by the author).

8. Transversal section of the Oval Hall with the levels chosen for horizontal sections (graphic elaboration by the author).

9. Comparison between the sectioned profiles at different heights.

10. Critical redrawing of the initial geometric proportions of the Hall. The representation using computer-aided design software highlighted the exposed issues. In (a), the centers are not aligned (dashed lines), while in (b), using the centers from the original drawing, the resulting polycentric curve does not pass through the starting endpoints along the major axis. The drawings were scaled using the length of the Hall as a reference and measured in Roman palms (drawings by the author).

11. Superimposition between the section obtained from the point cloud (solid line) and the construction derived from reflections on Kepler's ellipse.

the major axis of the Room was again taken as the reference measure. Visually, in all three cases, however, no one construction appears preferable to the others, as none seem to identify a polycentric curve that accurately approximates the profile of the Room [fig. 12]. Moreover, it is important to consider the evident construction issues and the need to adapt the room to the specific space due to the existing level difference, resolved with a ramp, and the requirement to align with the structural scheme of the plan, constrained by the pre-existing elements.

Conclusions

This research focused on analyzing the relationship between architecture and the cosmological and astronomical connections of the *Exedra Ovata*, one of the most representative spaces of Palazzo Barberini. After reconstructing the cultural context promoted by Urban VIII during his papacy, in relation to the new astronomical theories, a critical reading of the geometric layout of the Oval Room was conducted. Despite the fact that the space has been the subject of numerous studies, the need for further investigation emerged, utilizing advanced technologies now commonly applied to the study of architectural heritage. It is undeniable that there are connections and influences between Kepler's research and Bernini's architecture, which, in this specific environment of the papal residence, take on particular significance. However, based on the current state of research, there is no direct evidence of an explicit application of the Keplerian geometry described in *Astronomia Nova*. In addition to evaluating the geometries of the various orbits identified by Kepler, it would be desirable to further investigate through the analysis of potential construction documents or alternative design versions, which have not been found in the present phase of the research. The examination of the design phases could provide new insights into the theme of asymmetry and lead to further reflections on the geometry of the layout, suggesting the possible existence of tracing systems not yet explored.

It would also be useful to analyse the oval geometry of these spaces not only in plan but also in elevation, through the study of sections along the main axes, following approaches already adopted, for example, for the Oval Temple within *Book V* of Sebastiano Serlio (Zerlenga-Cirillo 2016; Zerlenga-Cirillo 2018) or for the famous oval staircase by Ottaviano Mascarino in Rome (Paris et al. 2016). Comparing these research methodologies will contribute to the development of knowledge on the subject of this study.

Acknowledgments

Special thanks to Professor Marika Griffio for her availability in using the equipment during the survey campaign. Thanks also to Architect Dario Aureli

for his kind permission for the measurement operations. The two referees of this contribution are also thanked for their timely and valuable observations, which have helped refine and enrich the work.

Notes

1. Maffeo Vincenzo Barberini was elected pope in 1623. Two years later, he began the construction of his "Reggia del Sole" (Palace of the Sun).
2. On the day of the summer solstice, at an azimuth angle of 65° and an altitude of $7-8^\circ$ (shortly after sunrise), the statue could be illuminated from behind, also projecting light onto the ramp and into the portico (the ramp has a slope of approximately 5°). This reflection, which will be further investigated as research progresses, was developed in collaboration with M. Incerti.
3. The sculpture is positioned near the main façade of Villa Savorgnan di Brazzà and is known as the "Fountain of Apollo" or the "Fountain of Orpheus."
4. For example, the presence of the Doric frieze on the first level of the external façade (along the palace's longitudinal axis), on the side fireplaces inside the Hall of Honor, and at the center of the fresco of the Divine Providence.
5. In Book I, Sebastiano Serlio presents four methods for drawing closed polycentric curves, based on the identification of centers: the first is based on constructing two equilateral triangles sharing one side; the second involves using three circles of equal radius arranged along the major axis, so that the central one passes through the centers of the two lateral ones; the third is based on constructing two adjacent squares sharing one side, then drawing their diagonals; the fourth consists of positioning two circles so that one passes through the center of the other.
6. In 1642, Gerolamo Teti published *Aedes Barberinae ad Quirinalem*. This work describes the palace and its various rooms, including the Sala Ovale. The narrative does not focus solely on architectural aspects but also on the function of the spaces. In particular, for this hall, it mentions literary competitions held within this space in conjunction with meetings organized by the Pope with his cultural circle.
7. The author highlights how both figures share the same geographical origin, noble lineage, and temperament. He also notes their common interests in art and scientific studies.
8. Kepler discusses conic sections, citing in various passages of his treatise *De conoidibus et sphaeroidibus* by Archimedes (3rd century BC) and *Conics* by Apollonius (2nd century BC; first printed edition in Bologna in 1566). The representation of conic sections is a complex and historically layered topic. On this subject, see for example (Incerti 2025; Migliari 2008; Migliari 2024; Raynaud 2007).
9. Also in Book I, Serlio proposes a method for constructing an ellipse starting from two concentric circles, with radii equal to the semi-major and semi-minor diameters, respectively.
10. The survey campaign, conducted by M. Griffio and S. Costantini, took place on November 25, 2024, using the *Z+F Imager 5016* laser scanner. The operations, completed within a single morning, ensured the complete acquisition of the necessary data.

12. Superimposition between the section obtained from the point cloud (solid line) and the construction derived from reflections on Kepler's ellipse. The second construction more closely matches the planimetric profile of the Sala Ovale.

Image p. 130
Point cloud of the Palazzo Barberini's Sala Ovale (author's elaboration).

Medieval sundials in two 14th-century Tuscan frescoes: discoveries and insights for new studies

Mario Arnaldi

Key words

Middle Ages
Time measurement
Sundials
Canonical hours
Frescoes

Introduction

Numerous pictorial, mosaic and sculptural representations of sundials and time-measuring instruments, set in scenes of everyday life, have come down to us from the past. Many belong to the Greco-Roman (Jones 2016, pp. 171, 182-212, 214) and Byzantine (Olszewski 2009) periods, some to the medieval period and numerous from the 16th century onwards. Hitherto, therefore, it seemed that the Middle Ages had not produced any representations of fixed sundials because the attention of historians of gnomonics had focused exclusively on the images reproduced in illuminated manuscripts, where the repertoire consisted mainly of diagrams and portable instruments (astrolabes, horary quadrants, the cylinder otherwise known as *horologium viatorum*, armillary spheres and optical tubes). More precise graphic representations only began to be seen in manuscripts from the second half of the 15th century. However, the main focus of the miniaturists of that period was on mechanical horology, the real novelty of that century, gnomonics being mainly represented by portable devices. Only after the Renaissance did more dials reproductions begin to appear in paintings, albeit very slowly, but the prevalence was still reserved for mechanical clockmaking. The sundials that are the subject of this study, on the other hand, are unexpectedly real fixed sundials embedded in the urban architecture that forms the background to the scenes depicted in two 14th century Tuscan painting cycles. Both were identified by Giosuè Fabiano, an art historian at the Courtauld Institute in London, who wanted to share their images with me.

The discovery of two sundials in the fresco cycles on display here is certainly significant. It goes beyond simply adding new images to the collection of gnomonic illustrations; it offers valuable insights into the measurement of time during the long historical period known as the Middle Ages.

In ancient Greco-Roman and Byzantine depictions, sundials are often highly stylised or even fanciful. In contrast, Gothic paintings show meticulous details, accurately reproducing even the smallest elements. Italian Gothic art, in particular, is notable for its greater naturalism and realism, acting as a precursor to the Renaissance. Therefore, our two sundials cannot be dismissed as mere props. Both testify to the existence of typologies that are still evident today and help confirm or anticipate the chronology of their presence in the urban fabric.

The painted sundial in the Church of Tau in Pistoia

The church of Sant'Antonio Abate or “del Tau” in Pistoia was founded at the end of 1360 by the Pistoiese friar Giovanni Guidotti, who belonged to the order of the Canons Regular of Saint Anthony¹.

Guidotti was very active in those years in the construction and renovation of other Antonian abbey annexes in Italy (Pisa, San Miniato al Tedesco, Florence and Naples). In 1372, he called the Florentine painter Niccolò di Tommaso (documented between 1346 and 1376) to fresco the great pictorial cycle inside the Tau Chapel, probably with the help of various workers and possibly also the collaboration of the Pistoiese painter Antonio Vite (Gai 1970)².

Up until the 1960s, the paintings were not visible because they were covered by other paintings applied at the end of the 18th century when, following the dissolution of the monastic orders, the church was deconsecrated and sold to private individuals who converted it into civil flats. The Italian state only started procedures to purchase the property after World War II, and the frescoes, although severely damaged and lacerated by previous building work, returned to view after restoration in 1962.

The walls and vaults of the small church revealed the grandiose pictorial cycle arranged in three orders. In the first, the highest in the lunettes under the vaults, are scenes from the Old Testament; in the second, immediately below, are scenes from the New Testament; and in the third, where events from the life of St. Anthony are illustrated, is the scene that interests us: the one illustrating the work of the Antonian monks as healers against ergotism, the so-called ‘St. Anthony's fire’ [fig. 1]. On the left, a group of monks are intent on applying the miraculous ointment made from pork fat to the chest of a sick young man, while on the right, at a shrine dedicated to their saint, other monks show a man in a red tunic a crate full of hands and feet (perhaps *ex voto* for successful

1. Pistoia, Tau Chapel: final scene of the third order of frescoes, illustrating the thaumaturgical activities of the Antonian monks. By concession of the Ministero della Cultura – Direzione regionale Musei Nazionali Toscana – Firenze (Photo by Mauro Agnesoni).

healing or even amputations caused by the disease). The sundial [fig. 2], painted in a portion approximately 25 cm wide, is slightly concave in the hour semicircle, placed on the pitch of the roof of a building at the end of the scene and is distinguished by a distinctive *chalice-shaped* silhouette that is common to many other late medieval sundials that still exist today (Arnaldi, 2020, pp. 175-178). These are artefacts carved in stone, installed in an upright position on or near the ridge of the roof of the monastery. They always consist of a variously shaped pedestal supporting a semicircular portion, sometimes hollowed out and slightly concave, in which the hour lines are engraved, always dividing the space into six equal parts.

Milutin Tadić first identified this model in 1988. He observed similar sundials in several Franciscan monasteries in Dalmatia, once part of the ancient franciscan province of Dubrovnik (Tadić, 1988), including Slano, Badija, Rožat and Orebić [fig. 3]. The sundial in Slano is particularly noteworthy for its engraving of the year 1586, which reflects the longevity of this model even with the introduction of the new time system *ab occasu*³.

All the *goblet sundials* surveyed so far in Italy are found in Umbria [fig. 4] and only one old drawing bears witness to their presence at Verna, in the province of Arezzo (Arnaldi 2020, p. 176). These too can be dated between the 15th and 17th centuries, but now, thanks to the fresco in Pistoia, we know with certainty that the model existed at least as early as the second half of the 14th century in Tuscany⁴.

Although the Franciscan convents in Dalmatia were all built between the 14th and 15th centuries, the sundials surveyed by Tadić seem to be all datable between the 15th and 16th centuries⁵; those in Umbria can be dated between the 15th and 17th centuries⁶.

The painted sundial in the church of San Donato in Polverosa in Novoli (Florence)

The monastic church of San Donato in Polverosa boasts a history older than that of the Tau Chapel in Pistoia, but no less troubled. The church, initially governed by the Augustinian Portuguese Canons, was consecrated on 2 February 1187 with the title of 'Oratory', but around 1239 it was handed over to the Umiliati. About twenty years later, the monastery passed to the Augustinian nuns of St Christine, who later became Cistercians. In 1322, the nuns from the monastery of Santa Maria Maddalena delle Convertite, at Borgo Pinti, moved to San Donato and had the walls of the church frescoed in 1383. In 1814, five years after the suppression of the religious orders, the monastery was bought by Prince Nicholas Demidoff who turned it into his luxurious villa. The church was not touched by the works until 1877, when his nephew Paolo turned it into an annexe and

library. In order to realise the project, architectural changes were made that ruined the 14th-century frescoes, which had long since been hidden under a layer of plaster. During the decoration work, the painter and restorer Gaetano Bianchi (Florence 1819-1892) discovered the medieval frescoes and, as was the custom at the time, integrated them very freely. The paintings were restored again in 1965, detached from the wall and transferred to panels to be hung on the walls of the church, where they can still be found today. Recently, other restorations, carried out by the Superintendency, have restored the paintings to their original state. By a lucky coincidence, the sundial, depicted near the edges of the laceration that includes it, was not destroyed by previous wall interventions (Brunori, 2020).

The author of the frescoes was Cenni di Francesco di Ser Cenni, a painter and talented Florentine miniaturist documented between 1369, the year in which he enrolled in the guild of the medici speciali, and around 1415. The style of his early paintings demonstrates the influence of the Orcagna school, but with an eye more towards two other Orcagna masters, Giovanni del Biondo and Don Silvestro dei Gherarducci. The mastery of Francesco di Ser Cenni excelled above all in miniature work, but he was also in great demand for painting altarpieces and large fresco cycles, such as the one executed in the church of San Donato in Polverosa in 1383⁷.

The scene containing the sundial of our interest is the one depicting the birth of John the Baptist [fig. 5]. The sundial is located in the upper right-hand corner and stands on the top of a crenellated wall above a long, twisted column. Its appearance is unmistakably reminiscent of the sundial that still stands today at the Ponte Vecchio in Florence [fig. 6].

At that time, the city had many publicly displayed sundials, as the fresco at San Donato in Polverosa seems to testify; the one on the Ponte Vecchio was hoisted in 1345, after the reconstruction of the bridge that had collapsed during the devastating flood of the Arno in 1333; another was located on the 13th-century bridge at Santa Trinità and ended up in the Arno with the whole bridge during the flood of 1557⁸. In June 1552, however, it was a violent hurricane that caused the sundial on the Ponte alla Carraia to collapse, shattering it into many pieces. This too was placed on top of a column, but not directly in contact with it; the 'half-wheel' of the hours was supported by the right arm of a genuflected putto, with one knee on the ground and his left hand resting on his raised knee (Morpurgo 1912, p. 6).

The custom of placing a sundial on the top of a column of modest dimensions did not originate in the Middle Ages, nor can it be said to be of Florentine origin. It was already a Roman custom that we find depicted in numerous mosaics and high reliefs on

2. Pistoia, Tau Chapel: the sundial is placed high up on the pitch of the roof of the monastery building. By concession of the Ministero della Cultura – Direzione regionale Musei Nazionali Toscana – Firenze (Photo by Mauro Agnesoni).

3. Dalmatian sundials. From left to right: Slano, Badija, Rožat, and Orebić (graphic elaboration by the author).

4. Sundials in Umbria (Italy). From left to right: Todi, Monteluco and Massa Martana (graphic elaboration by the author).

5. Florence, Church of San Donato in Polverosa at Novoli: Panel with the scene of the birth of St. John (Photo by Mauro Agnesoni; courtesy of Father Giuliano Riccadonna, parish priest of the church of San Donato in Polverosa).

6. Florence, Ponte Vecchio: The medieval sundial (photo by the Author).

many sarcophagi (Olszewski 2015). Iconography that we also find in various Byzantine mosaics and later in an original early 13th century stained glass window in Canterbury Cathedral [fig. 7]. Certainly, sundials of this type continued to be built at least until the 15th century, as is testified by a passage in the compendium on the deeds of the Abbots of the Abbey of Vauchelles written by Gaspard de Soif⁹.

Gnomonic analysis

In addition to the two construction types, concerning their form and location, which have already been written about above, both examples highlight two technical aspects in common:

1. The same subdivision of the hour space (six equal sectors instead of four or twelve)¹⁰.
2. The inclined stylus.

The first point is nothing new, as it has been the subject of study and research for many years¹¹. The second, on the other hand, is gratifying, although we do not yet have any obvious manuscript evidence, because it confirms the hypotheses that Herbert Rau and Karlheinz Schaldach, in 1994, and Manuel Maria Valdès, in 1996, had proposed to solve some problems in reading the hours at a time of transition from the old to the new time system in the late Middle Ages¹².

The same procedure has been used with good success to decipher some anomalous hour lines in many late medieval sundials (Arnaldi 2015). Let us therefore omit the first point because it is already well known and begin to comment on the second.

The inclined stylus

As far as we have written so far and with their realism, the frescoes of San Donato in Polverosa and the Tau Chapel in Pistoia can be considered on a par with a period photo. Convinced of this, we can now move on to describe the last surprising revelation that the images give us: the tilted gnomon.

In both of them [figs. 8, 9], the iron stylus appears very long, as can also be seen in similar sundials still *in situ*, and – something that is not usually the case in medieval sundials of an earlier period or with other number of lines – is tilted downwards. This evidence forces us to revise our entire way of thinking about the reading and construction of a medieval sundial, at least as far as the periods between the second half of the 13th century and the first half of the 15th are concerned.

In our case, we cannot yet speak of a *polar stylus*, i.e. exactly parallel to the earth's axis, but of a simple downward inclination of a certain amount of degrees sufficient to obtain an acceptable reading of the true temporal hours on a radial drawing¹³. The first person to construct a sundial with a polar stylus was the Syrian astronomer Ibn al-Shātir in Damascus, in 1371–72, but it was a long time before the princi-

ples and use of such a dial were acquired in Europe. The perfect realisation of the functioning of a polar stylus did not occur in Europe until the second half of the 15th century, finding application only in those regions where time was measured with equal astronomical hours: the oldest sundials with a polar stylus, in fact, are all from beyond the Alps and date from the second half of the 15th century¹⁴.

This realisation was perhaps arrived at by trial and error, bending the gnomon by eye, whereas today the angle of bend is derived from the simple formula proposed by Herbert Rau and Karlheinz Schaldach (Rau & Schaldach 1994) [fig. 10]:

$$PSW=(180-\varphi)/2$$

where φ is equal to the value of the latitude and *PSW* is the angle of inclination of the stylus.

The same formula would also have made it possible to read the true temporal hours on a medieval sundial but, in both cases, the reading could only coincide perfectly in the two equinoctial periods of the year. Manuel Maria Valdès (Valdès 1996, pp. 31–33, 45–46) proposed a method to correctly read the true temporal hours on a medieval sundial all year round, but his proposal, although mathematically and geometrically simple, was rather inconvenient, because every zodiacal month the inclination of the stylus had to be changed.

The birth of the rules

A question arises at this point: for much of the Middle Ages people relied on the sunray pattern of simple sundials engraved on the walls of churches, believing that these showed the temporal hours of the day, and all was well. Why was it then realised at some point in history that this pattern could not measure them correctly?

The problem has been realised probably travelling, because on the fan of the timelines – whatever their number – the shadow of a perpendicular gnomon did not match the same reading made on an equal sundial placed at a different latitude; the further north one went, the more the difference became evident and significant. The invention of mechanical clocks in Italy in the middle of the 14th century and the adoption of a new time system made the difference between what was read on the sundial and the tolling of the bell even clearer. During this transitional period, gnomonists were not yet able to draw sundials correctly with the new time computation, so practical solutions were sought that would reconcile the chimes of the city tower clock with the shadow of the gnomon on the hour lines of a sundial. In Italy, with the *ab occasu* hour system, everything was much more problematic; in the countries that adopted astronomical hours, the idea was at first simply to change the numbering of the daily hours, replacing the old sequence 1–2–3–4–5–6–7...11–12 with the

7. Canterbury, Cathedral: panel of the stained glass window I of the apsidal chapel known as the 'Corona', with the scene of the miracle on the sundial of Ahaz. (Courtesy of Canterbury Chapter, CCSG-Corona I, 42).

8. Florence, Church of San Donato in Polverosa at Novoli: The sundial depicted in the scene of the birth of St. John (Photo by Mauro Agnesoni; courtesy of Father Giuliano Riccadonna, parish priest of the church of San Donato in Polverosa).

9. Pistoia, Tau Chapel: the sundial. By concession of the Ministero della Cultura – Direzione regionale Musei Nazionali Toscana – Firenze (Photo by Mauro Agnesoni).

10. Geometric demonstration of the inclined stylus. From (Rau & Schaldach 1994).

new 6-7-8-9-10-11-12-1-2...5-6¹⁵, but this solution still did not guarantee perfect concordance with the new time system. It was therefore necessary to bend the stylus downwards until the shadow coincided with the tower clock.

The first Latin manuscript that taught how to construct a proper sundial according to the ancient parameters was transcribed in the monastery of Klosterneuburg shortly before 1431 (Schaldach 2020; Schaldach 2023), although Robert Stikford, prior at St. Albans at the end of the 13th century, had written a work - *De umbris versis et extensis* - where, along with the construction of equal-hour sundials, he also taught how to draw an unequal-hour sundial¹⁶. And yet these writings were virtually unknown, circulated only among a small circle of people. It was with the advent of printing that these works became accessible to a wider public. Probably the astronomical instrumentation, consisting mainly of quadrants and astrolabes, which was beginning to become more widespread and accessible, made people realise that something was wrong with the old medieval layout¹⁷. Among the many empirical attempts to find a way to make the medieval hours agree with the true temporal hours, a sufficiently structured 'rule' finally emerged in the 14th century, probably devised in Paris by Johannes Danck of Saxony but now called the 'Erfurt rule', from the German city where it was first transcribed in 1364 (Schaldach 2002; Schaldach 2023, pp. 124-132). In reality, due to several fundamental shortcomings, this rule had many flaws. It proposed the values of the angular openings between the different hour lines without informing how they had been found or calculated, nor how to recalculate them to adapt the tracing to other latitudes. This led to the belief that it was a universal rule, whereas the proposed tracing only had a value at the latitude of 48 degrees. No information was given about the stylus (it was assumed that, according to tradition, it should be perpendicular to the plane). The rule was not born to correct the reading on the track of a pre-existing sundial but, by leaving the semi-circular shape and the perpendicularity of the stylus unchanged, it imposed the total modification of the hour path, which in any case would only function correctly at the equinoxes. Erfurt's rule was however the basis that led to the conception of other rules. Fundamental was the inversion of the angular values of the primitive rule, which made it possible to use the hour line design for reading the same hours at declinations close to 48 degrees and throughout the year, provided of course that the stylus was finally polar (Arnaldi 2009).

The perception of bending the stylus downwards just enough to get a better reading of the true time was certainly born before the advent of those methods codified as a 'rule' that in reality, they were little more

than an expedient to adapt without too much trouble to cultural changes and new ways of measuring time. In order for any method to be considered a 'rule', it must be based on a solid mathematical structure and its application must be simple and within the reach of anyone, even without high mathematical skills. Better then, it must also be easy to memorise. A similar rule, applied to every latitude without compromising its effectiveness and without altering the equiangular system of the sundial, could be the one that was identified and then developed analytically a few years ago (Arnaldi & Savian 2021b), because it consists of bending the stylus downwards with a constant increment of 5 degrees for every 10 degrees of latitude. In practice, a ratio of one to two is obtained between the bending of the stylus and the latitude of the location. For example, tilting the gnomon of a medieval sundial in Rome (lat. 42°) down 21 degrees will, at the expiration of each true temporal hour, cause the shadow to lengthen exactly on the medieval time line set for it, and the same will happen by bending the gnomon of a medieval sundial set at a latitude of 50° N or slightly more by only 25 degrees. This approach - empirical at the time - dissimulates, however, a precise gnomonic construction. The basic concept is the same as that identified in Rau and Schaldach's exposition: the folding angle is established with the same formula, but its main quality - i.e. the one that makes it a 'rule' for all intents and purposes - is that the ratio of the angular variation with respect to latitude is constant and therefore easily memorisable.

In this way the shadow approximates or even equals the time shown by the hour line, but even then the exact correspondence only occurs at the equinoxes. However, with the rule of the inclined gnomon, the reading maintains an acceptable approximation even in the two months before and after. Then, although reduced, the error becomes more and more evident as the solar declination reaches its maximum, at the solstices.

At this point, all that remains is to verify the outcome of the hourly reading on a six-parted sundial with a perpendicular style and bent for the height of the pole in Florence (lat. 43°) to draw conclusions.

According to the classical hourly division, the hour lines of a medieval sundial divided into six equal parts correspond, in a counterclockwise direction, to the end of the second, fourth, sixth, eighth, tenth and twelfth hour, but if we accept them as such, we are talking about medieval temporal hours that do not correspond exactly to true temporal hours. In fact, at the equinoxes, at the end of the second true temporal hour, the shadow of a gnomon perpendicular to the plane anticipates the lines of the second and fourth hours by half an hour, while by symmetry it exceeds the lines of the eighth and tenth hours by half an hour. At the winter solstice, however, the

11.
At the end of the true time hours, the shadow (in red) of the stylus orthogonal to the plane of a medieval sundial in Florence, never lies on the designated time lines: A, winter solstice; B, equinoxes; C, summer solstice (graphic elaboration by the author).

12.
During the equinoctial period, at the end of the true time, the shadow (in red) of the 21.5° inclined stylus on the plane of a medieval sundial in Florence lies perfectly on the designated hour lines. The reading error at the winter solstice is reduced and almost disappears at the summer solstice: A, winter solstice; B, equinoxes; C, summer solstice (graphic elaboration by the author).

Image p. 142
Pistoia, Tau Chapel:
The interior, adorned with frescoes by Niccolò di Tommaso, houses sculptures by the artist Marino Marini.

half hour of abundance becomes a full hour, so the shadow reaches the lines of the second and fourth hours one hour later, while in the afternoon it will reach the lines of the eighth and tenth hours one hour earlier [fig. 11a-c].

If we tilt the style by 21.5° - necessary according to the last rule, for the latitude of Florence - we have a perfect correspondence with the hours indicated on the hour lines of the sundial during the equinoxes, a smaller error at the winter solstice and very modest at the summer solstice [fig. 12a-c]¹⁸.

Conclusion

The paintings of Pistoia and Novoli were a singular discovery that nourishes in me the hope of truly important developments for the study of medieval gnomonics. They seem to give us the vision of a fourteenth-century Florence with many sundials for public and religious use, as can also be seen from the testimonies that recall their presence on Florentine bridges. At the end of this long and careful analysis we can summarize in three points what can be said today about medieval sundials divided into six equally spaced sectors:

1. The six-parted sundials were not used to show the hours of the day, but to regulate the liturgy of the Divine Offices.
2. The *chalice shape* of sundials was already used in the second half of the fourteenth century.
3. It is evident from the frescoes that the two artists portrayed exactly the sundials they saw every day, and that the idea of tilting the stylus to read the time more correctly had probably already been considered at the beginning of the 14th century, so much so that it became customary to depict it in paintings as well.

At the moment, we only know of the two frescoes that were the subject of this intervention, and perhaps they cannot yet be considered sufficient evidence to reach irrefutable conclusions. It is true, however, that the inclined style present in both paintings confirms what until yesterday was only a mere hypothesis and offers us a new starting point for research into the correct reading of the hour on a sundial of that time.

It is difficult to predict how much material this new line of research will be able to enrich the study of medieval sundials. The hope is obviously positive and I trust that in the near future we will be able to identify

Acknowledgements

I must first of all thank Dr Giosuè Fabiano for wanting to share with me the discovery of the two sundials painted in the frescoes that were the subject of my talk, and Mauro Agnesoni for the very accurate photographs that allowed me to better read the two sundials depicted in the frescoes. I would also like to

thank the Ministry of Culture - Regional Directorate of National Museums of Tuscany - Florence for granting me permission to photograph the frescoed scene in the Tau Chapel in Pistoia, the Canterbury Chapter for allowing me to publish the 'Corona I' stained glass window, and Father Giuliano Riccadonna, parish priest of the church of San Donato in Polverosa, for allowing me to photograph inside his church. The images 1, 2, 5, 7, 8, 9 contained in this contribution may not be reproduced, in whole or in part, outside of it.

Notes

1. Originally born as a 'Lay Hospitaller Order' in Saint Antoine Abbaye in France at the end of the 11th century, it quickly spread to many European countries and as far as Ethiopia. It became a monastic Order only at the end of the 13th century, when the Pope granted it a priory. It was then that, adopting the Augustinian rule, it changed its name to the *Order of Canons Regular of Saint Anthony of Vienne*.
2. Niccolò di Tommaso was a pupil of Nardo di Cione, brother of Andrea di Cione Arcagnuolo, an important painter, sculptor and architect of the Italian fourteenth century, born in Florence around 1308 and better known by the nickname of Orcagna. Together with his brothers Nardo (painter and architect), Matteo (sculptor) and Jacopo (painter), he was the main protagonist of the Florentine school of Gothic art. His career was influenced by the artistic movements of the time, such as the international Gothic, which he was able to combine with a unique and personal vision.
3. Tadić publicized the presence of these particular sundials several times after that first pamphlet up until 2002 but see in particular Tadić (2011).
4. What makes this model a 'family', a group, is evident: 1) they all have a sculptural element that acts as a pedestal, 2) they are all divided into six equal sectors, 3) they are all placed on the ridge or on the edge of the roofs of convents (Franciscan in particular). The only difference between the existing Dalmatian and Italian sundials lies in the fact that the former are all concave, some more and some less (fig. 3), while the latter (fig. 4) are flat. The two sundials in this study also show that they are both slightly concave, but this is a minimal factor, because in medieval sundials it is not the tip of the shadow that shows the hours on the lines but its entire length, and this makes the course of the underlying plane irrelevant.
5. The Rožat monastery was built at the end of the 14th century, demolished in 1582, then rebuilt and completed in 1585; the one in Slano was also built at the end of the 14th century, the Badija monastery was built between the 14th and 15th centuries, and the one in Orebić in the 15th.
6. The convent of Montesanto in Todi was built in the mid-13th century but abandoned in 1373 due to the plague and wars. It returned to being a convent for the minor friars in 1418, the year in which the sundial in the cloister can be dated. The small convent of Monteluco, near Spoleto, was founded by Francis himself in 1212, but the sundial in the cloister was tampered with, probably during the suppression of the religious orders, when French-style hour

lines were drawn on it, overlapping the original six-parted scheme. The sundial can be dated to 1514 (Arnaldi 2020, pp. 175-178). A third sundial of the same type is found in Massa Martana in the cloister of the Franciscan convent of San Pietro sopra le acque (now a resort) rebuilt in 1614. The friars took possession of it in 1618 and it is between these two dates that we can place the sundial.

7. On the pictorial activity of Cenni di Francesco see (Kanter 1994, pp. 177-186), (Baldini 2004, pp. 17-20).
8. Contemporary sources simply call the sundial a “stone gnomon which shows the time by means of its shadow”. Too vague to understand its shape (Morpurgo 1912, p. 4).
9. “*Erat horologium in medio claustris sub divo positum; trabes videlicet lignea in altum porrecta, habens in summitate sui speram ligneam, habentem inferius xii diei horarum: non solum autem horae, sed etiam puncti ante vel post horas, qui in regula sancti Benedicti leguntur, hoc est hora pene iv, hora quasi vi, plena tertia, decima plena, et illud quod dicitur medietate octava hora, subtiliter in praefata spera habebantur designati: in medio quoque eiusdem sperae virgula ferrea erat posita, per quam umbra solis in lineas puntosque descendens, horas singulas designabat*”; See Du Cange (1885), IV, s. v. «*horologium*», p. 234.
10. The subdivision of the hourly semicircle into six parts was only one of many time variants in the Middle Ages; it was probably the last to survive even after the introduction of the new time systems at the end of the 14th century. The most common partition, apart from the twelve-part partition, was the four-parted one, followed by the eight-parted, not forgetting other less frequent ones, in ten, eleven, thirteen and more parts. One must remember that - as Philippe de Thaon teaches us in his *Comput* (Short 1994) - the hours measured by dividing the diurnal arc into six equal portions were a simple and practical method of remembering them better, even though, whoever wanted to count them correctly, always had to consider twelve (“*Ço est pur le cunter / e pur tost remembrer. / Mais ki dreit volt numbrer, / duze en i pot truver;*”). This was also later pointed out by some medieval sundial makers. On the church in Melslungen, Germany, for example, the stone mason carved (the design is not engraved, but in relief) short lines resting on the outer semicircle, in the exact centre of each of the six sundial's time spaces. The added short lines served to make it easier to read the time, but the full lines were always the most interesting because they indicated the canonical time of the liturgy. In the same way, the sundial painted in the Pistoia pictorial cycle must be read, which is hexapartite, but with the addition of an intermediate point for each section of the score [fig. 9].
11. (Arnaldi 1998); Arnaldi 2000b; Arnaldi 2013).
12. The first insights into the use of an inclined stylus, even if it was not yet polar, date back to the mid-19th century (Way 1858, p. 217) followed in the 1920s and 1930s by (Green 1926, Cole 1935 and Cole 1938).
13. We note that in figure 8, the clock's stylus engages higher than the S-point visible in the graph in figure 10 (i.e. the point from which all the hour lines depart). Gnomonically it is also a mistake when we speak of the Middle Ages. But here we are reading paintings not a treatise on gnomonics that requires much more precision. In paintings even so well defined (our two sundials are small: Pistoia about 25 cm wide, Novoli about 15), the artist's only interest here is to create a convincing and credible setting for the scene to be depicted in the foreground.
14. Weissenfels (Germany), 1446; Klosterneuburg (Austria), 1447; Hall (Austria), 1452; Waldhausen (Austria), 1454; Duderstadt (Germany), 1457; Utrecht (Holland), 1463. (Maes 2003).
15. In Italy this did not happen because of the different time system (*ab occasu*) which did not have a radial layout of the hour lines. The only medieval sundial that shows a certain adaptation to the new method is the one engraved on a wall of the cathedral of Altamura (Arnaldi 2003).
16. The original work by Robert Stikford has probably disappeared but a copy of it was discovered in 2005 in a manuscript (MS Ambr. & 221 bis. Sup.) probably written around the middle of the 15th century and kept in a single copy at the Biblioteca Ambrosiana in Milan (Belletini 2007; Davis 2011).
17. Since the mid-14th century, a copy of the *Libros del saber de astronomia* compiled in Castilian by Alfonso the X in 1276-77 was present in Florence. This codex – now kept in the Vatican Library – was commissioned in Seville in 1341 by Gueruccio Federighi, who wanted it translated into his own language, the Florentine vernacular.
18. The latitude values for Rome and Florence may seem roughly rounded here, but, working on ancient gnomonics, I preferred to move without the mathematical constraints of modern gnomonics. So I took the data from the *Tabula di paesi* (Table of the latitudes of the main cities) contained in Regiomontano's *Kalendarium*, published in Venice in 1476. We are in the Middle Ages and the bending of the stylus was done by eye (degree plus, degree minus, it did not make a big difference; one reasoned by climates. so, again in the *Kalendarium*, we can see that the same latitude given to Florence (43°) is the same as that assigned to both Genoa and Turin - but this last datum must be a printing error because already in the maps of Ptolemy's *Geography*, first translated into Latin in 1406 and printed in 1475, it corresponds to the 44° range. I wanted to leave the degrees of bending of the stylus as faithful as possible to the calculation formula expressed by the bending rule, even though - for Florence - half a degree more would not have visibly altered the shadow path shown in figure 12.

The functional restoration of the vertical sundial in Ferrara's Municipal Square

Clara Coppini

Key words
Midday
Restoration
Verifications
Calculation
Accuracy

Introduction

A vertical sundial at *Tempo Medio di Roma* (i.e., mean time of Rome) is located in *Piazza Municipale* (i.e., municipal square) of the city, between two of the eight three-lobed windows of the north facade as indicated at the top of the dial frame. The motto *Sine sole silet* (i.e., without the sun I fall silent) imprinted on the lower part reminds us that obviously sundials only work when the sun is out. Its significant size (1.40 x 4.70 m approx.) makes it recognizable in the layout on the openings of the long front of the square facing south.

Executed in 1869 by the Ravenna gnomonist Giovanni Zaffi (Barbi & Arnaldi 2007) the sundial no longer fulfilled its original hourly function due to a series of errors of interpretation in line with further interventions¹. It was meant to mark the mean noon referred to the Meridian of Rome at the instant in which the point of light projected by the gnomonic hole intersects the stretch of the figure-eight curve - lemniscate - in correspondence with the month related as well as to mark the real 12 o'clock local time when the light point intersects the vertical line².

It is important to remember that at the time of its construction, the Royal Decree no. 3224 of 22nd September 1866 established that: "...the service of trains on the railways, telegraphs, post offices, messengers and postal steamships in the continental provinces of the Kingdom, will be regulated with the mean time of Rome and that in Sicily and Sardinia islands at a meridian taken in the cities of Palermo and Cagliari".

These three times ceased when in 1870 Rome became the capital of the Kingdom and the mean time of the meridian passed through the church of S.

Ignazio (observatory of the Roman College of the Jesuits), then through the summit of Monte Mario, becoming the reference for the entire nation.

In this phase of the historical journey towards the modern organization of the time measurement Giovanni Zaffi created the sundial at Mean Time of Rome (mean noon).

The functional restoration of this sundial was born precisely from the conscious importance of returning to Ferrara, but also to Italy, a rare gnomonic work. A precious historical testimony of a solar instrument that in the XIX century marked the rhythms of city life (Lolli 2013; Rasconi 2013).

Considering its composite nature, the artifact required scientific, historical and architectural contributions as well as coordination between the various specialized skills. Nevertheless, a sundial is primarily an astronomical instrument and therefore gnomonic knowledge was required to recover its functionality (Anselmi 2019).

The restoration of the original hourly function was carried out in 2012 by the Monumental Heritage Service of the Municipality of Ferrara, with design and works direction by the architect Dr. Clara Coppini (Coppini 2012), based on calculations and graphs elaborated by the gnomonist Renzo Righi of Correggio (Reggio Emilia province) (Righi 2011) and documentary and archival research carried out by Dr. Francesco Scafuri (Scafuri 1999; Scafuri 2008).

The preliminary work on the surface of the sundial and the design of the new graph of the timelines were carried out by the company C.R.C. Restauri s.r.l. of Molinella (Bologna province) - technical director Fabio Bevilacqua -, entrusted with the restoration work.

The entire design-construction process took place under the supervision of the Superintendence for Architectural Heritage and Landscape competent for the territory [fig. 1].

Intervention methodology

After having set up the scaffolding necessary for carrying out the work, the first activity on the site was to proceed with the instrumental measurement for the exact calculation of the quadrant graph and the consequent tracing of significant points based on which the actual control of the passage of the sun was carried out.

These operations were carried out by the gnomonist Righi on 18th September 2012.

Technical operations carried out for surveys, checks and drawing

In the *Technical-Scientific Final Report* of February 2013, Renzo Righi reported the following description.

1. The sundial before the functional restoration intervention (a). The drawing of the right graph: the drawing of the sundial that does not perform the original hourly function is represented with a lowered shade; highlighted in red it is represented the right graph drawn in raw amber color on the dial (b).

"Through a hole (gnomonic hole) made on a metal screen supported by a special structure, the sun's rays, projected onto the painting, generate a point of light that, as in a heliodrome space, day after day over the course of a year travels along the two hour lines (noon in Rome, lemniscate curve and true noon in Ferrara, vertical line) from the winter solstice to the summer solstice and vice versa. The duration and constant precision of the instrument over time therefore depends on the state of stability and wear of the metal parts; to this end, the necessary checks and protection interventions were carried out visually and with due caution. We then moved on to measure the distance of the hole from the wall and establish its projection point on the wall itself. Those are two fundamental data for the calculation and tracing, being the distance or orthostyle, respectively, the scale factor (constrains the dimensions) and the center of the projected hole the origin of the Cartesian coordinates for the construction of the hour lines. The operations were carried out by cross-referencing multiple measurements taken both with traditional tools such as the use of a plumb line, set square, ruler, compass and water levels, and with measurements taken using technologically advanced tools such as a digital reading level and laser pointer; thus identifying, without ambiguity, the area within which the origin point of the Cartesian system falls. A number of point were then calculated and traced on the dial for a direct test in the hours of the Sun's passage over the landmarks using the *Local Equation of Time* table [fig. 3]. That day the transit of the Sun at the meridian of Ferrara- vertical line - occurred at the legal summer time 13:07:37.

The correct overlapping of the light spot (at the expected times) with the calculated points confirmed the quality of the surveys [fig. 4]. With the use of a dedicated software program, we further moved on to the complete calculation.

Finally, with the help of a CAD program, we proceeded to draw the path" (Coppini 2013).

Preparation of the dusting

The file with the graph provided by the gnomonist Renzo Righi allowed the printing of the same in 1:1 scale on glossy paper for the purpose of preparing the dusting.

This was achieved by densely drilling the contours of the drawing represented in real life on the preparatory support with a bit.

Preliminary interventions on the wall surface of the dial

Although recently restored (in 2010) as part of the intervention carried out on the roofs and elevations of the building that defines the north side of Piazza Municipale, the wall surface affected by the decoration of the sundial had in some parts the painted

film raised and some points where the color flaking. The sealing problems are due to the unfavorable climate of Ferrara, but also to the location on a north face where the temperature ranges are higher.

Therefore, a systematic reconnaissance was carried out to identify the areas that had disappeared, checking the state of adhesion of the mortars, the surface deposits of dirt were removed with "wishab" sponges. Some consolidating injections were carried out with acrylic resins in aqueous emulsion in two areas where part of the painted layer showed lifting. The latter treatment was extended to the areas where the pigment was in a state of disintegration, applying several times the product by brush [fig. 5] and completing the intervention with toning and pigments added to lime [fig. 6].

After standardizing the surface, consolidating and fixing the colors, the color tones of the traces of the curvilinear design and the writings that were no longer functional were lowered with a lime milk treatment to preserve their testimony [fig. 7].

Drawing of the new graph of the hour lines

The dusting was placed on the surface to be drawn, and the new layout was transferred to the dial by dabbing the perforated parts with charcoal. The preparatory support was removed, joining the various points with a pencil to complete the lines of the graph.

As for the writing, we proceeded in the same way tracing the existing ones and preparing the relative dustings. The outlines of the characters were then transferred onto the wall surface in the correct position in relation to the new graph [figs. 8, 9].

Checking the accuracy of the sundial

Before finally drawing the new track with a brush, on 3rd October 2012, the actual control of the passage of the sun was carried out again.

That day, the transit of the Sun at the Ferrara meridian - vertical line - occurred at the legal summertime 13:02:30 [fig. 3].

The accuracy of the sundial was confirmed by the overlapping, at the expected moments, of the spot of light with the vertical line of the true noon of Ferrara [fig. 10].

Brush execution of the new graphic

Both the lines and the writings were made with a fine brush using acrylic colors in the shade of raw umber.

In particular, the thickness of the lines (curved and vertical; about 10 millimeters thick) was obtained by keeping the dusting marks as an axis i.e., by making half the thickness to the right and half to the left of the beforementioned marks.

Moreover, shots were made of all the writings of the

2. Preparation of the scaffolding necessary for the execution of all the technical survey operations and the subsequent functional restoration work phases.

3. Local Time Equation
The table refers only to Ferrara and in particular to transform Ferrara's true (local) noon - in the layout of the sundial corresponding to the vertical line - into today's civil time (that of the wristwatch, TMEC). Referring to the leap year, it is highlighted on February 29th.

4. Verification of the correct overlap of the light spot with the points calculated at the passage of the Sun at the meridian of Ferrara - vertical line - on 18th September 2012 at (summer legal time) 13:07:37.

5. Pigment fixation.

6. Tonalisations.

7. Paintings with lime of the track and writings no longer functional.

8. Dusting off the new track.

9. Dusting off the new track.

10. Verification of the accuracy of the sundial performed on 3rd October 2012: transit of the Sun at the meridian of Ferrara - vertical line - at (summer legal time) 13:02:30.

dial of the sundial that remained unchanged. Finally, the surfaces were fixed again with a 5% polyvinyl alcohol treatment [figs. 11, 12].

The “gnomon”

For the metal element of the “gnomon” we first repaired some fractures and small holes with a two-component epoxy filler, then a new coloring was applied both on the support arm as well as on the metal screen with the gnomonic hole.

The latter, after a fixative treatment, was covered with a gilding made with foil (sheet brass) and protected by an acrylic varnish [fig. 13].

On the "longest" day of the year

The Municipal Administration of Ferrara has chosen to publicly present to the citizens the functional restoration of the vertical sundial in Municipal Square on Friday 21st June 2013, on the Summer Solstice day (Celeghini 2013). This happened with a meeting at 1:00 pm in front of the sundial to witness the passage of the Ferrara solar noon which took place when the clocks marked 1:15 pm (in consideration of summer saving time). This was an opportunity to illustrate the intervention carried out and to provide guidance to those interested in knowing how to read this historic instrument of measuring time.

A small plaque affixed to the wall in correspondence with the sundial summarized the following indications expressed in a more exhaustive way.

How to read the vertical sundial at Rome's Mean Time of the Municipal Square

When the light point intersects the section of the figure-eight curve at the month concerned, it is the mean midday referred to the meridian of Rome.

To connect the mean time of Rome with the national civil time read on the conventional clock (which no longer refers to the meridian of Rome but to the meridian located 15° east from Greenwich, which passes through the crater of Etna-Catania, Sicily)³, we must always add the local constant (difference in west longitude expressed in time) between Rome and Catania equal to 10m11s since the Sun, in its apparent motion, passes over Catania approximately 10m before it passes over Rome.

Therefore when the spot of light crosses the curve, or when it marks the mean midday of Rome, the conventional clocks throughout Italy will mark 12h10m11s (when summer daylight saving time is in effect, 1h must be added) [fig. 14].

The light point intersects the vertical line at 12 true local time (transit of the Sun at the Ferrara meridian). However we have to remind you that for astronomical reasons and conventional choices, the true solar time undergoes daily cyclical deviations compared to today's civil time.

Therefore, to synchronize the true midday of Ferrara to the meridian of Etna, you must add to 12 o'clock the quantities in minutes reported in the following table and expressed in average values rounded for each decade of the month (when summer daylight saving time is in effect, 1h must be added) [figs. 15, 16].

Notes

1. Originally born as a ‘Lay Hospitaller Order’ in Saint Antoine AbbaAs reported in the archival documents, the work drawn by Zaffi was made with oil dyes by the painter Ermete Marini on a cement layer (5 x 2 m) that supports a very “lean” hydraulic lime application. It is probably from this initial construction error that sealing problems follow one another over time, considering first the climate but also the location on a north face where the temperature ranges are high. Right from the start, the decorations and writings were largely erased by heavy rains, so that the sundial became illegible and required restoration, which Zaffi had carried out at his own expense. In 1888 a further restoration was necessary and was completed by the same gnomonist now seventy years old. The subsequent series of interventions and modifications have inevitably compromised also the functionality of the vertical sundial, interpreting its gnomonic layout as if it was any decorative element. Probably because of its almost illegibility, several errors were made during the intervention carried out in 1954, as we learn from the local press of the time. The further intervention carried out in 1989 by the Piella company of Ferrara was instead limited to preserving the existing condition without making any changes as well as the conservative restoration carried out in 2010 by the Ottorino Nonfarmale company of San Lazzaro di Savena (Bologna province) as part of the intervention on the roofs and elevations of the building that defines the north side of Municipal Square.
2. The difference between the mean time and the true time as a function of the declination of the Sun and the day of the year corresponds to the Equation of Time (EqT), which in the ancient meaning of a corrective term indicates the addition or subtraction that must be made to the time indicated by a Sundial to obtain that indicated by a conventional clock, or vice versa. The anamorphosis of the EqT is known as lemniscata (analemma), a figure-eight curve that allows the Mean Time to be read directly on a sundial (in the case of the vertical sundial of Ferrara, the hourly line of the mean noon of Rome which has now become the reference throughout the nation), generally traced (wrapped) on the hour line of 12 o'clock. The solar spectrum generated by gnomonic hole, always marking the mean noon in its daily passage, runs every year along the curved line from top (winter solstice) to low (summer solstice) and vice versa. To know which branch of the curve should be considered, the months of the year are reported; The middle noon coincides with the real weather four times a year, that is, when the vertical line is cut by the lemniscate.
3. The 15° east meridian is the central meridian that regulates the time of the 1st east time where the Central European Mean Time (TMEC) is in force, a time in use for Italian civil life.

11. Brush drawing of lines and lettering.

12. Brush drawing of lines and lettering.

13. Gilding of the gnomon.

14. Longitudes from Greenwich in sexagesimal degrees and local constants expressed in time.

15. Table for reading the vertical meridian at Mean Time of Rome in the Municipal Square of Ferrara: to synchronize the true noon in Ferrara with the meridian of Etna, is it necessary to add to the 12 o'clock hour the quantities in minutes shown in the table and expressed in rounded average values for each decade of the month (when summer daylight saving time is in force, 1h must be added).

16. The vertical sundial set to Rome Mean Time, located in Piazza Municipale, Ferrara, after functional restoration. The photograph was taken on 21 June 2013 at 13:15, corresponding to solar noon in Ferrara.

Image p. 154
The vertical sundial set to Rome Mean Time, located in Piazza Municipale, Ferrara, after functional restoration.

Study and concept of a cylindrical sundial with 'fixed gnomons'

Francesco Di Paola, Manuel Pizarro

Key words

Sundial
Gnomonic column
Parametric model
Fixed gnomon
Divulgation

Introduction

The analysis of the trajectories of the Sun's apparent motion and the graphic restitution of shadows on various surfaces using specific devices requires an in-depth study of projective geometry, the determination of sections and intersections of surfaces, and shadow theory, according to the principles of Representation Science. Since antiquity, sundials, designed to graphically represent, control and measure regular light phenomena, both diurnal and annual, testify to the constant desire to understand and describe the complex real-world celestial system with good precision. The origin of sundials dates back to the ancient civilisations of Egypt and Mesopotamia in the 2nd millennium BC, where they were already used to measure the passage of time through the shadow cast by a gnomon on a surface (Savoie 2021). This particular instrument, specifically referred to as a sundial, has been fundamental for millennia, combining astronomy, geometry and functional design (Turner 1989). Considered one of the earliest astronomical instruments, it was also used to determine the position of the sun and to establish key events such as solstices and equinoxes (Evans 1998); in the 3rd century BC, Eratosthenes used it to measure the circumference of the Earth, establishing its role as a scientific instrument.

Most often they were designed on a flat surface, but sometimes, the builder preferred to design the sundial on a cylinder for aesthetic or functional reasons. In Roman times, sundials were drawn directly on a duly prepared block of hemispherical or conical stone, to which only a piece of metal or gnomon was added, the shadow of which was used to tell the time, after having been appropriately positioned. In the 1st century, the architect and engineer Marcus Vitruvius

Pollonius, in his work *De Architectura*, gives a complete description of the thirteen types of sundials that existed at the time, referring among other things to the "semicircle hollowed out of a square with an inclination to the equator", which was an invention of Berossus Chaldeus, and the concave hemispherical dial attributed to Aristarchus. These two were the most widely used systems for measuring time in Roman times (Pagliano 2021), although portable sundials and other rare examples used at fixed latitudes have been found (Talbert 2017). These include the Este sundial discovered in 1884 (preserved in the Museo Nazionale Atestino), dated to the end of the 1st century A.D. and plotted for a latitude of 45 degrees on a cylinder with two gnomons. Another ancient specimen of the same design appeared in 2006 during excavations of a burial area on the outskirts of Roman Samarobriua (present-day Amiens, France) and was dated to the first half of the 3rd century AD (now in the Picardy Museum in Amiens). In an initial census of sundials of Greco-Latin origin, 263 examples were inventoried (Gibbs 1973), although to date the number of pieces counted is around 600, as stated in the *Catalogue archéologique* of the Paris Observatory (Bonin 2015).

The study explores the type that has a cylindrical surface as its dial. Cylindrical sundials use the projection of the shadow of a gnomon onto a curved surface, usually a cylinder or half-cylinder, to indicate solar time. The design of the sun dial along the surface of a cylinder is presented as a problem of intersection between real and luminous quadric surfaces. Unlike a more traditional flat sundial, the hour lines are arcs of ellipses, different depending on the inclination that the luminous plane determines with the generatrices of the cylindrical dial. Its operation is based on the position of the sun in the sky, which varies throughout the day according to azimuth (direction) and solar altitude. The gnomon, located on the top or side of the cylinder, casts a shadow that moves according to the apparent movement of the sun, intersecting the hour lines drawn on the surface of the cylinder to indicate solar time. For some sundials, accurate time reading also requires the device to be set to the latitude of the location, as the sun's altitude varies with geographic latitude.

Cylindrical column sundials. History and classification

Recent research establishes different classifications for cylindrical sundials (Higgins 1953; Archinard 2007), but fundamentally they differ in those projected on concave or convex surfaces. One of the best-known instruments, dating back to Roman times and surviving to the present day, is the cylindrical sundial (Sonderegger 2009), or erroneously called the 'shepherd's dial' of the Pyrenees due to an incorrect attribution (Savoie 2021), which uses the variation of the

1. Left, Roman cylindrical sundial (1st century BC - 5th century A.D.), bronze, Domjulien (Vosges, France) (Photo: © Musée départemental d'Art Ancien et Contemporain - Epinal, Inv. no. L.IV.D.5); right, Roman cylindrical sundial (1st century A.D.), in bone, Tomba del Medico (Este, Italy) (Photo: © Istituto per lo Studio del Mondo Antico/Guido Petruccioli-Museo Nazionale Atestino di Este, Inv. no. IG MNA 15397).

2. Left, 16th-century cylindrical sundial with two folding gnomons of different lengths (Photo: © Museo Galileo-Ist. and Museo di Storia della Scienza, Florence, Inv. no. 2457); centre, portable sundial on ivory column, displaying Italian hours (lat. 43°), by F.F. Stephanus, 1587 (Photo: Creative Commons Zero (CC0) - Science Museum Group Collection Online, Inv. Num, 1937-832); left, wooden hat sundial with movable gnomon (Photo: © Oberösterreichische Landesmuseen - Dept. of History of Technology, Inv. Num. PH35).

sun's altitude as an operating principle to determine the time [figs. 1, 2]. The pillar or column dial, historically used by travellers, usually consists of a wooden cylinder on which the reading curves are drawn and is surmounted by a cover to which a movable and retractable horizontal gnomon is attached that is adjusted according to the date (month or zodiac sign). It must be oriented towards the sun and the end of the gnomon's vertical shadow indicates the time (Savoie 2001). This portable device has the time scale marked on the surface of the vertical, circular cylinder. The main difference with other sundials lies in the way the time is read. To read the time, it is necessary to rotate the cylinder around its axis while keeping it vertical, together with the gnomon, which remains horizontal and integral to the sundial. To locate the shadow point of a given hour, it is necessary to rotate the cylinder until there is coplanarity between the gnomonic axis and the point on the celestial sphere where the Sun is. The style must always be oriented towards the Sun. This alignment ensures that the shadow is perfectly vertical when reading. The necessary rotation of the gnomon and determination of the correct position could lead to errors, making the reading method uncomfortable.

The *horologium viatorum* was the prototype of the portable sundial for astronomers and scientific instrument makers during the Middle Ages and the Renaissance, and no other was so frequently described. Many images are preserved in medieval manuscripts, woodcuts in early printed books on sundials and two paintings by Hans Holbein the Younger: *Nicholas Kratzer* dated 1528, kept in the Louvre; and *The Ambassadors* dated 1533, kept in the National Gallery in London.

Hermannus Contractus (1013-54) of Reichenau was considered the inventor of the instrument with the first complete description of the cylindrical sundial or cylinder (Kren 1977), as it came to be known. In the Islamic world, al-Marrakushi, in his *opus magnum* compiled in 1282, described variations of sundials on cylinders and cones, highlighting their ability to measure time and azimuthal hours by means of movable gnomons (Savoie 2021).

Although there seems to be older evidence of this type of sundial in the Baghdad treatises of the 9th century (Arnaldi & Schaldach 1997). These innovations directly influenced the construction of fixed column sundials, as seen in European monasteries in later centuries. In fact, cylindrical column sundials are linked to both architectural and monumental contexts, often placed in public spaces such as squares or gardens. They reflect an evolution of technical and scientific ingenuity, combined with a decorative approach that made them symbols of prestige and knowledge.

The Renaissance marked a renaissance of sundials

with more refined geometric designs. Athanasius Kircher documents in the *Ars Magna Lucis et Umbrae* (1646) sundials such as the *chapeau filtrant*, which incorporated a perforated 'hat' or several styles that cast curved shadows on cylinders or columns (Anselmi 2013). Two examples of this type of sundials are found in the towns of Saverne and Lorquin and should be preserved for their historical value, having been built in the 17th and 18th centuries (Rohr 1973; Pizarro 2022). Another of the most important sundials from this period is the Pingré sundial, installed on the Medici column in Paris in the 18th century [fig. 3]. It consisted of 15 horizontal styles that cast their shadows on the network of hour lines and zodiacal arcs drawn on the column (Savoie 2021). The ends of the styles were joined by a curved copper plate engraved with hour numerals, but only one of the styles indicated the exact time. Although its design was technically advanced and represented an extreme variant of a hat sundial, it was difficult to read and was replaced in 1888 due to public dissatisfaction (Savoie 1998).

Also, remarkable and original is the hat sundial from "La Baumette", built in 1884 in the former Angers Convent by the meteorologist Albert Cheux (Pizarro 2010). This gnomonic ensemble combines two multi-styles hat sundials on a column and two vertical southern sundials on a pedestal [fig. 3], designed to cast precise shadows for each season of the year (winter-spring for the upper dial and summer-autumn for the lower dial). The ability to mark the hours in both true solar time and universal time for the Paris meridian, with lemniscates for each hour line, makes it unique (Pizarro 2011; Di Paola & Pizarro 2023).

Monumental sundials have also been built in recent years, such as the Castillon Dam (inaugurated in 2009), which represented a significant innovation in the design of cylindrical sundials, as it uses a curved frame to cast tangent shadows on a 13,000 m² quadrant (Savoie 2014).

The history of column sundials reflects centuries of progress in the understanding of time and solar geometry. In the latest Sundials Atlas census (<https://sundialatlas.net>), of the approximately 59,000 sundials counted worldwide, only 200 are instruments built on cylindrical surfaces, and of these, most are portable altitude sundials belonging to museum collections.

Design variant of the cylindrical sundial

After examining the characteristics, properties, advantages and disadvantages in reading the local exact time of the cylindrical sundial, the study proposes a novel alternative solution of an instrument for reading the time of day that presents functional and aesthetic aspects of the traditional cylindrical column. The geometric constructions were elaborated with *GeoGebra*,

3. Left, Bourse de commerce - Tour de Médicis (Catherine de Médicis dite colonne de l'Horoscope), Paris (Photo: © Ministère de la Culture (France) - Médiathèque de l'architecture et du patrimoine); right, gnomonic ensemble of the former convent of "La Baumette" with its two multi-styled hat sundials, before the restoration of its column base in 2013 (France) (Photo: Manuel Pizarro).

4. Representation in Monge of the design variant of the cylindrical sundial. Solar declination at the summer solstice. Dynamic geometric construction in *Geogebra* (authors' drawing).

5. Explanatory 3D model of the operation of the cylindrical sundial design variant. Solar declination at the summer solstice (authors' drawing).

6. Simulation of the operation of the proposed sundial in the three solar declinations at different times of day. Three-dimensional model of the cylindrical sundial (authors' representation)..

Image p. 164
Design proposal for a cylindrical sundial with "fixed gnomons".

a well-known open-source software for interactive dynamic geometry. The three-dimensional models, algorithmic definitions and simulations were elaborated within the *Grasshopper* plug-in of the well-known *NURBS* modelling software *Rhinoceros*, allowing the procedural flow to be managed and different spatial configurations to be determined and controlled in relation to the structure of the cylindrical quadrant and the set parameters. The prototype is described below. The proposed device has a cylindrical structure with a circular director of fixed height. To ensure a clearer reading, the column consists of three blocks, in relation to the three solar declinations during the apparent annual motion: summer solstice, spring and autumn equinoxes, and winter solstice.

At the end of each block, 12 fixed gnomons (36 in total) are arranged with an angular variation of 15° each, for a time range from 7 a.m. to 3 p.m. At each hour, the corresponding gnomons are constructed to be oriented towards the Sun. This alignment causes the shadow to be perfectly vertical when read, while all other shadows carried by the other styli on the dial are tilted. The length of the styles/gnomons is variable in relation to the time of year and the time of observation [figs. 4, 5]. For the determination of the length to be assigned to each style, the geometric method of 'shadow return' was used (Migliari 1984). In other words, in the design phase of the model, for the three solar declinations, it was imposed that all shadow points of the ends of the style carried by the solar ray on the quadrant (in the model, the ends are materialised by small spheres) belong to a horizontal circumference placed at an assigned height from the circumference from which the style depart. The heights of the three circumferences are determined by the length of the vertical segment, shadow of the style at 12 o'clock at the corresponding solar declination [fig. 6]. The 'fixed gnomon' column model, realised by means of 3D printing technology, made it possible to validate the graphic-theoretical settings. In addition, the scientific collaboration between the Department of Architecture and the Gal Hassin Astronomical Park in Isnello (PA), activated a dissemination project and a didactic activity showing the results of the study.

Conclusion

The cylindrical column sundial remains a fascinating object of study, capable of combining science, art and tradition. Its peculiarities make it a unique typology, which deserves attention for both its historical implications and its design potential in the contemporary landscape. The study and preservation of realised works not only enriches our historical understanding but also inspires new applications in contemporary astronomical education and design. In the modern context, the cylindrical column sundial

can be reinterpreted with an innovative approach, combining tradition and technology. For example, the use of contemporary materials such as glass or metal, together with new design solutions, transforms the sundial into a functional and artistic work. The integration of digital or interactive elements could expand its role, making it not only an indicator of time, but also an educational and cultural tool.

New sundials for the Royal Palace of Portici

Edgardo Filippone

Keywords
Vertical declining sundial
Analemmatic dial
Royal Palace of Portici
Clock tower
Upper Park Castle

Introduction

The Bourbon royal site of Portici was desired by Charles of Bourbon and work began in 1738 (Sauro 2003, pp. 308-313). It consists of the Royal Palace, with attached other buildings such as the Royal Gallop and the Mascabrano Complex, a large park toward the sea in the direction of the Granatello harbor, where the terminal station of the Naples-Portici railway was built in the area, and a large park of 38 hectares toward Vesuvius in which a small castle was built.

There is no historical evidence about the cause that led King Charles of Bourbon to raise a royal site in Portici from existing buildings. According to tradition, the King on a visit with his consort Maria Amalia of Saxony to the Duke d'Elboeuf's villa in Portici was so favorably impressed by the amenity of the place that decided to have a royal palace built there and s to accommodate them as their official residence (Santoro 1959, p. 196).

The architectural project was first commissioned to Antonio Medrano, who was then replaced from 1741 by architect Antonio Canevari, who was recalled to Italy precisely by Charles of Bourbon to follow up, along with other renowned architects of the time, his ambitious program of public and representative works in the Kingdom of Naples. Many artists were involved in the realization of the many works, from frescoes to statues, including the painter Giuseppe Bonito, who decorated the halls of the palace, and the sculptor Joseph Canart who, working with Car-

rara marble, set up the sculptural works in the royal park (De Seta and Perone 2004, pp. 389-421).

A series of pre-existing and expropriated palaces and aristocratic residences served as the architectural basis for the construction of the palace; this also involved a series of excavation works that allowed for the discovery of numerous works of art of archaeological value, including an actual temple with 24 marble columns. These works were temporarily housed in a museum set up for the occasion, the Portici Museum attached to the Herculaneum Academy, a place where artifacts from the archaeological excavations at Herculaneum were stored.

The palace straddles the road to Calabria Region and juts out toward both Vesuvius and the sea, binding the two landscape alternatives into a single perspective axis, oriented with an azimuth of 225°.

The facade of the palace is topped by a tower that houses a mechanical clock with the dial and hands replicated on both sides, so it is visible both from the sea and the Vesuvius side.

Works in the palace and surrounding park continued after 1759, when Charles of Bourbon became King of Spain under the name Charles III. Within the park, his successor Ferdinand IV built the “Castle,” a kind of fortified square, designed in 1775 by military engineer Michele Andrea under the direction of General Francesco Pignatelli with a lot of surrounding walls and moat, which apparently reproduced the Capua fortress in a reduced form. It was also equipped with a small chapel and a tower serving as an observatory. In the Castle area, the King had the troops installed to perform tactical exercises (De Seta and Perone 2004, pp. 389-421).

Following the final fall of the Neapolitan Bourbon Kingdom and with the integration of property into the Kingdom of Sardinia, then Kingdom of Italy, from 1872 the royal palace became the seat of the Royal High School of Agriculture. Today the palace with the park, owned by the Metropolitan City of Naples, houses the Department of Agriculture Sciences of the University of Naples Federico II and the Center of Agricultural Science Museums - MuSA¹. The latter collects the holdings of artifacts and collections of the former Institutes of the Faculty of Agriculture, the Botanical Garden and the Azimuthal-Analemmatic Sundial arranged in the garden towards the sea.

Hypothesis about the presence of a sundial on the Palace Clock Tower

Until the late 19th century, mechanical clocks required frequent adjustments, which were based on comparing the time determined with a sundial, usually plotted on one side of the structure holding the clock machine. The “temperer” was the attendant with the specific task of checking the true time shown

by the sundial and changing in accordance the time shown by the mechanical clock. For example, a similar mechanical clock-sundial configuration is found on the clock tower of the Istituto Convitto Vittorio Emanuele II in Piazza Dante in Naples, built in the second half of the 18th century. Moreover, the nearby Basilica of St. Mary of the Nativity and St. Cyrus of Portici has two bell towers erected in 1767, one bearing a mechanical clock and the other a sundial with a polar gnomon, again serving as a control for the mechanical clock but also as a surrogate in case the latter malfunctioned. However, the presence of a sundial on the clock tower or a nearby position remains a hypothesis in the absence of at least traces on the probable east-facing side of the tower [fig. 1], as the entire area and the tower itself have themselves been subjected to restoration works that have likely obliterated any presence of a gnomonic installation. Moreover, today the access from inside the tower is made particularly difficult as it cannot be done safely; therefore, it is not even certain that the clock machine is still present in the tower.

The analemmatic sundial in the garden of the Palace toward the sea

In 2015, on the redevelopment of the gardens facing the palace, the Author proposed to install a sundial at the central flowerbed in the garden facing the sea, on the extension of the perspective line of the palace and, therefore, on the axis of the access to the palace itself. To avoid any clutter resulting from the installation of a gnomon required in a classical horizontal sundial, which would undoubtedly have been an extraneous element to the architecture of the site, the proposal was to install an azimuth-analemmatic sundial, which involves a movable gnomon. The use of analemmatic sundials was first described by the French mathematician Jean Louis de Vaulezard in 1640 and is traced back to the 16th or 17th century. However, there are no clear reference to their origin or who first used them.

On the dial plate of an azimuth-analemmatic sundial are plotted:

- an arc of an ellipse, on which the hours are shown in local true time;
- a date line shown on the meridian line with an indication of the months, on which to place the gnomon.

Since the gnomon-orthostyle is movable, its function can be taken by a person who must stand straight with his heels on the calendar line at the height of the date. This solution gives the feeling of “entering” the clock and feeling like an integral part of the time-making system, thus giving value to the centrality of Man and, consequently, to his relationship with nature and the fundamental astronomical phenomena that are indispensable for agriculture.

1. The clock tower of the Royal Palace of Portici (photograph by the author).
2. The Royal Palace of Portici and the garden toward the sea. In the foreground, the azimuth-analemmatic sundial (photograph by the author).
3. Explanatory panel of the azimuth-analemmatic sundial (author's photograph).
4. The Castle in the park of the Royal Palace of Portici. The Tower with the observatory and the entrance gate with the bridge over the moat is visible (photograph by the author).

The gnomonic project was developed for the Portici site (lat. 40° 48' 37" N, long. 14° 20' 30" E) in the spring of 2015 by Antonio Coppola and Edgardo Filippone, Gnomonic Section of the Neapolitan Amateur Astronomers Union, by means the software *Sundials*².

The major axis of the ellipse was set at 4.10 m, the minor axis at 2.74 m. The architectural design was developed by arch. Donatella Mazzoleni. Hand-painted ceramic-coated lava stone was used for the rectangular tiles bearing the local true hours in Arabic numerals from 5 o'clock to 5 o'clock and smaller ones for the half-hours, for the calendar line, for the indicators of the months and references of the equinoxes and solstices, and for the motto. Voltaire's phrase "*The Sun is the great clock of the world*" was chosen as the motto reproduced on the sundial. Finally, an explanatory panel was installed in the vicinity of the clock [fig. 2] showing instructions for its use, geolocation data, and the extenders of the gnomonic and architectural design [fig. 3].

The sundial was inaugurated on Sept. 15, 2015, and it is now an integral part of the MuSA museum system. It is visited each year by hundreds of tourists and students from schools of all levels visiting the royal palace as well as students from the Department of Agriculture Sciences.

The vertical declining sundials of the "castle" tower

In the late 1970s, the state of the Castle in the Upper Park of the royal palace of Portici was in complete disrepair and partially vandalized. Thanks to public funding, restoration and redevelopment work was carried out on the structure, starting with the Tower and adjoining rooms, to house the newly established Research Center for the Genetic Improvement of Vegetables of the National Research Council (CNR), Director Prof. Luigi Monti [fig. 4]. On four out the Tower's five facades there was a frame delineating a rectangular area in relief from the surrounding structure, which led the Author to assume that these panels were dials of as many vertical declining sundials. Although there were no known references or bibliographical citations about the presence of sundials on the facades of the Tower, the panels evoked the ones of the Royal Site of Carditello, built around 1787 by King Ferdinand IV, that were drawn and placed on buildings that resembled the Castle Tower. Carditello's vertical sundials were recently restored by Prof. Alessandra Pagliano.

In 1979, the Author, as participant in Prof. Monti's plant genetics research group but also as an enthusiast of Astronomy and sundial design, proposed himself to produce the gnomonic designs for the tracing of sundials in the dial spaces. Once the request was accepted, two vertical declining sundials in the European hour system were designed and then plotted in

1980. A careful inspection on the panels, dials of the sundials measuring 230 x 130 cm, showed faint traces referable to a few barely hinted time lines; the gnomons and their positions and any other indications of the sundials' workmanship were completely missing.

For the design of the sundials, it became necessary to determine the declination of the two walls of the Tower, that is, their deviation from the cardinal point South, by the method of false stylus at true local noon, employing boards placed next to the wall. It thus turned out that one wall was declining by 36° W and the other by 29° E. With these values, two scale models were drawn to study the time lines of the two clocks. For the calculation of the gnomonic elements (equinoctial, hour lines, solstitial, equation of time at 12 o'clock on the first day of each month) the formulas published by Gangemi were applied (Gangemi 1869, pp. 15-18). For the drawing, these formulas were translated into an RPN language program for HP97 programmable calculator (Filippone 1980), with which it was possible to determine the positions of the gnomonic elements for plotting the two sundials. For each sundial, the gnomon (orthostyle) was made from a 10 mm diameter steel rod. After their implantation in the wall, in the resulting position according to the models, the two orthostyles were found to protrude from the dials by 24.7 cm and 25.1 cm, respectively. The final declination survey of the two panels using the orthostyles was then carried out. The new values, not far from those previously surveyed, turned out to be 32.1° W and 27.4° E. With these values, the elements of the two sundials were drawn on paper on 1:1 scale [figs. 5, 6] so that the workers could trace these elements directly on the plaster put in place over the vertical panels.

The elements drawn on each quadrant were as follows:

- the vertical line indicating local solar noon;
- the hour lines, indicated in Roman numerals, and the half-hour lines;
- the equinoctial line;
- the two solstitial curves.
- the analemma or lemniscate drawn on the noon line to indicate the local mean time. On the same were shown, in Roman numerals, the months of the year.

The design of the sundials was completed with the initials of the Author of the project and the year the sundials were made in Roman numerals near the motto in Latin.

A story itself was the choice of the two mottos, intended by the Author as typical elements of sundials. However, the Director of the CNR Research Center placed the constraint that they also must be relevant to the purposes of the research activities in genetics that would be carried out in the Castle. For the sundial declining to the SSE, the choice was Lucretius' phrase from *De rerum natura: Nihil ex nihilo*, nothing

5. Vertical sundial drawing for a declining plane 32,1° W (author's drawing).

6. Vertical sundial drawing for a declining plane 27,4° E (author's drawing).

7. Status of the two vertical declining sundials (author's photograph).

Image p. 172
The Royal Palace of Portici and the garden towards the sea (photograph by the author).

from nothing, which is well suited to the sundial as well as to genetics.

More difficult was the choice of motto for the sundial on the Tower at the entrance to the Castle. The resulting phrase *Diei Naturam Acclaro*, I clarify the nature of the day, was written by the Author and placed on the dial in small capitals to bring out the initials, which give the acronym DNA, the fundamental biological basis of life and genetics studies, thus solving a rather unusual case of the marriage of Astronomy and the science of Life.

Unfortunately, forty years after the clocks were traced, the current condition shows severe deterioration of the plaster [fig. 7], and it is necessary to restore them as soon as possible before the plaster completely peels off. The best solution would be to retrace the sundials on an engraved stone panel using numerically controlled machines.

Notes

1. <<https://www.centromusa.it/it/>> (consulted on December 10, 2024).
2. <<https://www.sundials.eu/download/download.html>> (consulted on December 10, 2024).

The measurement of time in the Charterhouse of Calci: the survey for gnomonic knowledge, restoration and valorisation

Alessandra Pagliano, Marco Giorgio Bevilacqua, Piergiuseppe Rechichi

Key words
Sundial
Solar clocks
Survey
Geometry of light
Pisa

Introduction

The Charterhouse of Pisa in Calci represents one of the most important examples of monastic architecture in Tuscany [fig. 1]. Founded in 1366 on the initiative of several noble Pisan families, the Char-

terhouse has undergone significant extensions and alterations over time, which today reveal a complex system of buildings organized in accordance with the typological schemes of the Carthusian rule. Within this system, spaces are arranged to define a progressive ascent towards the desertum and the separation of the Carthusian Fathers from the world. The great main courtyard separates the *correria* from the *coenobium* and the church, which, placed in a central position, highlights the axis connecting the entrance vestibule to the great cloister and the cells of the Fathers. On the southern side of the church, the spaces dedicated to the life of the religious community - refectory, chapter house, and chapel of the colloquium - and those of the noble guest quarters, including the grand ducal apartments, are distributed around the sequence of the minor cloisters. These spaces are then connected to a series of structures originally intended to house the agricultural production activities of the Charterhouse [fig. 2]. The current layout of the Charterhouse is attributed to Prior Giuseppe Alfonso Maggi, who promoted a radical stylistic renovation of the monastery between 1764 and 1797. Among the most significant works are: the complete rearrangement of the wings along the great courtyard, with the main façade composed of two symmetrical wings on either side of the church, whose marble façade was enlarged, raised, and completed with statues; the construction of the loggia on the northern front of the courtyard; the construction of new quarters for the procurators and lay brothers, and the noble guest quarters in the southern part of the complex; and the expansion and rearrangement of the workshops, the pharmacy, and the construction of the grandiose granary on the northern side. The 18th-century works during the Maggi priory concluded a process of continuous renovation and expansion, which had already been recorded since the early Renaissance, a clear reflection of the monastery's growing wealth and prosperity. In the following century, the Charterhouse, like other religious institutions, suffered two successive suppressions, the first by the French government in Tuscany in 1808 and the second decreed by the Italian government in 1866. From the middle of the century onwards, the spaces were gradually converted for different uses. With the definitive closure of the monastic community in 1969 by the General Order of Grenoble, the convent passed into state ownership. Since 1972, the complex has housed the National Museum of the Monumental Charterhouse of Calci and, since 1978, the Natural History Museum of the University of Pisa.

Although the monastery today represents an important museum center, some of its areas are in a state of significant degradation. To address this situation, in 2018 the University of Pisa financed the two-year

1. The Charterhouse of Pisa in Calci. View of the Church from the Main Courtyard (photo by M. G. Bevilacqua).

2. Plan of the Charterhouse. Highlighted some of the most important spaces: 1) entrance vestibule, 2) main courtyard, 3) church, 4) cloister of the Fathers, 5) cloister of the Chapter, 6) cloister of the noble guesthouse, 7) noble guesthouse-first floor, quarters of the Lay Brothers-second floor, 8) Prior's Cell, 9) granary. (graphic elaboration by M. G. Bevilacqua).

3. Top, the dense cloud realized in Agisoft Metashape. Bottom left, one of the markers placed for reference points; coordinates were extracted from the existing TLS survey data. Bottom right, the combined dense clouds from the existing TLS survey and the FSM integration. (graphic elaboration by P. Rechichi).

project 'Cognitive studies and research for the restoration, conservation and valorisation of the Certosa di Calci Complex and its Museum Complexes'. Twenty-two research teams took part in the project, engaged in mutually coordinated multidisciplinary investigations aimed at defining an exhaustive cognitive framework of the complex, as well as providing guidelines for future restoration and valorisation interventions.

Already in those years, the state of advanced degradation of the important heritage of the Carthusian complex's sundials was highlighted, although it was considered secondary in the broader picture of critical issues detected. Following the project, the present contribution intends to focus on this important heritage with the intention of presenting the first results of a study aimed at documenting them, understanding their functioning, and proposing interventions for their restoration.

To this end, the results of the historical research developed by the research group coordinated by Ewa Karwacka - partly published in Bandinelli et al. 2016, Bevilacqua et al. 2018, Karwacka and Stiaffini 2023 - were particularly significant. Although they do not provide specific information on the realization of the sundials, they do allow us to hypothesize the years of their construction for some of them. Equally significant for the purposes of the present study is the widespread digital survey campaign carried out by the ASTRO Laboratory of the University of Pisa using an integrated terrestrial laser scanner and drone photogrammetric technique, supplemented for the purposes of the present study by a widespread photographic documentation campaign of still visible sundials. In the more complex case of the dark-room sundial located on the second floor of the lay brothers' quarters, a three-dimensional photogrammetric survey was conducted, aimed at describing in greater detail the floor surface on which the trace of the sundial line is still visible¹.

The digital and direct survey of the dark-room sundial

In order to conduct an in-depth analysis of the dark-room sundial of the Charterhouse of Calci, a digital and direct survey of it was conducted, integrating the already existing digital survey data. The point clouds obtained by means of a terrestrial laser scanner survey in the context of the aforementioned knowledge and valorisation project are characterised by significant decimation due to the need to manage a large amount of data because of the wide size of the Charterhouse, and by an insufficient quality of colour management for a reading of detailed elements such as the sundial line (a Leica P20 was used). The use of photogrammetry was limited, during the course of the project, to only a few areas of

major value, excluding the environment in which the sundial is located.

Preliminary analysis of the existing digital data verified the impossibility of reading the geometry of the sundial on the pavement and the difficulty of correctly identifying the position of the gnomonic hole. Furthermore, it was only after the completion of the digital survey activities that a brass line tracing the sundial line was recently realized. For these reasons, a ground photogrammetric integration of the existing digital survey was carried out, with the specific intent of creating a more accurate and readable digital model, which would allow the study of the geometric characteristics of the sundial.

After acquiring a set of photographs of the pavement and the surface on which the gnomonic hole is located, Agisoft Metashape software was used to proceed with the alignment of the images and the creation of a point cloud of the surveyed space. The survey context was characterised by poor lighting conditions and a sub-optimal spatial configuration [fig. 3]. In fact, the sundial line runs on a terracotta floor within a narrow and long corridor. To facilitate the correct alignment of the images, it was necessary to use a strong overlap of the consecutive frames and targets on the floor and walls of the corridor. Five homologous points were used to ensure that the integration of the digital survey was scaled and correctly oriented with respect to the reference system of the 2018 project, making the outcome of this integration usable within the broader framework of the digital documentation of the Charterhouse. The point cloud thus realized was exported in .e57 format and imported into Rhinoceros to allow drawing operations and geometric analysis of the sundial's function. The realization of a textured surface of the pavement with a high level of detail will allow further evaluations regarding the possible identification of dispersed or delocalized decorative elements on the ground. Considering the elevated position of the gnomonic hole and the angle of the photogrammetric capture on the wall, the digital survey would not have allowed a precise identification of the center of the hole with ground photogrammetry alone. For this reason, a detailed verification of the position of the gnomonic hole and the distances of the ground projection of the hole to the sundial on the pavement was carried out by direct survey.

The Sundials of the Certosa: Geometries of Light for Conservation and Restoration

The Charterhouse of Calci presents a very rare concentration of sundials of different shape, typology, and manufacture, which testify to the attention of the religious community towards the measurement of time to mark the diurnal activities of each monk, characterized by the "rule of silence". With scarce

4. Building orientation and declination of the walls containing the sundials, derived from orthophotos of Regione Toscana (graphic elaboration by A. Pagliano).

5. Gnomonic geometries of the sundial with French hours, featuring a digital restoration of the lost polar style and verification of the shadow projection for the noon line (graphic elaboration by A. Pagliano).

6. Remains of the vertical French-hour solar clock along the wall adjacent to the "H" cell. We note the presence of an additional upper orthostyle that cast its shadow along a vertical sundial line, which is barely visible today (photo by A. Pagliano).

7. Portion of solar quadrant collapsed as a result of plaster detachment (photo by A. Pagliano).

8. The solar quadrant still intact in 2014 (source: <https://cartusialover.wordpress.com/2014/03/28/the-sundials-in-the-charthouse-of-calci/>).

9. Vertical sundial clock, at French hours, in the cloister of the Chapter House (photo by A. Pagliano).

occasions for socialization, the individual awareness of the flow of time was of fundamental importance to carry out the prayers and the works of the day. The exclusive aim of the Carthusian life is, in fact, contemplation: the Carthusian monk seeks God in solitude, but this solitude is not the final purpose of life but rather the means to find a greater connection with God through the contemplative dimension (cf. De Leo 2003; Brunel 2008).

The separation from the external world, but also from the other inhabitants of the Charterhouse, was ensured by the enclosure: consequently, the cell ended up being a small world apart, autonomous, in which to spend most of the day dedicating oneself to daily activities, meditations, and prayers. Only on Sundays and during religious festivities are moments of community sharing allowed, such as, for example, lunch in the refectory or a free walk to be able to converse. The Charterhouse, with its shape and its spaces, contributes to harmonizing the solitary life of the monks and the moments of common life, thus determining the conditions of a “community of solitary individuals.” Relations with the external world are held only by the Prior, as the Carthusians are not obliged to pastoral activities. The moments of community life are usually three, marked by the diurnal cycle of sunlight: the morning, at vespers (that is thirty minutes after sunset when from twilight one passes to darkness), and midnight.

This link with the variability of diurnal sunlight and with the agricultural activities to be carried out autonomously in the garden of the cell or in the community vegetable gardens has determined over the centuries a particular attention of the Carthusian monks towards the measurement of time through the shadow and, therefore, with the aid of sundials (cf. Pagliano et al. 2014).

The very inclination of the building, with respect to the cardinal points, has allowed over the centuries the design and construction of sundials almost perfectly oriented towards the south, called “non declinanti”, for which the time line of the astronomical noon (astronomical noon is defined as the moment in which the Sun is to the south on the main meridian of the place, which passes through the poles and through the cardinal points north and south). Such sundials are much simpler in design since the noon line comes to be in a vertical position and constitutes the orthogonal axis of symmetry of the grid of the time lines.

Along the southern boundary wall of the complex that allowed access to the agricultural cultivation area, a first sundial is located, engraved in the plaster of the wall itself [fig. 5]. It presents only 5 hour lines converging towards the point of insertion of the gnomon, no longer present today, but which must certainly have been a polar style, inclined parallel to

the Earth's axis (cf. Pagliano 2022). This hypothesis is also supported by the presence of a second hole visible on the wall, which traditionally served to block the inclined gnomonic rod at its lower end. The wall declines towards the east by an angle of 4.5° [fig. 4], and the measurement of this orientation is found with an approximation of the decimal degrees in the slight inclination of the noon line with respect to the perfectly vertical position it would have had if the wall had been perfectly oriented to the south [fig. 5]. The five hours measured by the shadow of the gnomon range from 9:00 to 13:00, presumably in relation to the activities that the monks had to carry out in the gardens and vegetable gardens adjacent to the boundary wall of the Certosa. The manufacture of the dial is of an artisanal nature, without hour indications: initially, a semicircle was traced (still visible), with the center at the insertion point of the gnomonic rod. This curve was divided into portions subtended by angles of 15° in order to define the first two hour lines, converging at the insertion point of the gnomon since we are in the presence of a chronometric system with French hours (the current ones). This angular subdivision was carried out starting from the vertical (traced only as a reference and, therefore, barely visible in the plaster), which should have been the noon hour line if the wall had been perfectly oriented towards the south (non-declining wall). Starting from this vertical, the 4° of the wall's declination are recorded, minus the decimal degrees, and therefore the noon line is inclined by approximately 21° with respect to the previous one that measures 11:00.

These small inaccuracies with respect to the well-known rule of the 15° angle between two successive hour lines demonstrate the artisanal manufacture of the dial, in any case well-founded by basic knowledge regarding the declination angle of the dial's wall. The sundial, which has already lost its gnomon, but of which the insertion and stabilization holes in the wall are preserved, is today at risk of disappearing due to the degradation of the plaster in which it is engraved. The collapse of a further portion could lead to the definitive loss of the engravings: therefore, a direct and photographic survey was carried out, from which it was possible to record the current state and propose a digital restoration, repositioning the polar style and verifying its shadow projection using the Rhinoceros software [fig. 5].

A further sundial at serious risk of loss is the one found next to the cell called “H”, on the south-facing wall of the private garden, which houses two other gnomonic instruments, rather summarily scratched on the plaster: a meridian line, barely visible due to the advanced state of degradation of the plaster, and a sundial with French hours that appeared incomplete in the site inspection carried out in 2024, due

10. Other horizontal sundials in the Charterhouse (photo by A. Pagliano).

11. Stone slab with the superimposition of numerous sundials and gnomons: the lines engraved in the stone present multiple chronometric systems. The slab is rotated with respect to the Carthusian monastery wall to achieve the perfect southern orientation of the dial (photo by A. Pagliano).

12. The gnomonic (or heliotropic) hole of the camera obscura meridian line (photo by A. Pagliano).

13. Detail of the brass rod set into the floor that traces the meridian line: the point of intersection with the second brass rod marks the position of the equinoxes (coincident) of spring and autumn. (photo by A. Pagliano).

14. Annual geometries of light along the meridian line. Note the discrepancy of approximately 20 cm between the measurements highlighted: the two dimensions show respectively the beginning of the brass rod as from the direct survey in situ and the point where the summer solstice geometrically falls based on the celestial sphere drawn for the latitude of Calci (graphic elaboration by A. Pagliano).

to the detachment of a substantial part of the surface on which it had been engraved [fig. 6]: a portion was recovered and preserved following the detachment, and it is the one that contains the hours 10 and 11 [fig. 7], measured according to the French hours chronometric system, but from other documentary sources consulted dating back to the year 2014 (<https://cartusialover.wordpress.com/2014/03/28/le-meridiane-nella-certosa-di-calci/>) it can be observed that the dial measured time up to 4 p.m. [fig. 8]. In the Chiostro del Capitolo, we find the largest sundial of the charterhouse, whose vertical dial was painted along the south-east facing wall, declining by approximately 5 degrees east. The sundial features a horizontal style and was designed according to the French hours chronometric system, as demonstrated by the convergence of the hour lines at a point above the orthostyle positioned along the line onto which the local horizon is projected [fig. 9]. Its position in proximity to the bells, as in many other Italian charterhouses (cf. Certosa di San Martino), has led many historians of gnomonics to hypothesize that it could also have been useful for the regulation of the nearby mechanical clocks, whose still rudimentary gears frequently tended to lose synchrony.

Also in this sundial, more monumental than the private ones of the individual cells, the declination of the wall is recorded, as evident from the inclination of the equinox line with respect to that of the horizon. The dial, decorated with the symbols of the zodiac constellations corresponding to the curves of the solstices and equinoxes, at which the passage between one season and another occurs, also features a motto above the horizon line which reads in Latin the warning *DE VITAE CURSU QUAE LIBET HORA RAPITUR* (Every hour is snatched from the course of life) on the fleeting nature of human life compared to the passage of time. Numerous other small sundials can be found while strolling in the cloisters and among the cells of the Certosa, which have also undergone restorations, as demonstrated by the modern gnomons that have been repositioned in place of the lost ones. However, the advanced state of material degradation of the surfaces along which the hour and day lines are engraved is a severe threat to the conservation of their very existence and also to the memory for any future restorations. Therefore, a superficial cleaning and a detailed survey of the dials are considered urgent [fig. 10].

Of particular historical interest is the horizontal stone sundial [fig. 11] as it features three vertical gnomons and three sets of hour lines belonging to different chronometric systems: the oldest one with Italian hours (*ab occasu solis*) and the more modern one with French hours, which testify to the important changes that occurred in the 17th-19th centuries regarding the measurement of time, both

in the abandonment of such devices when Mean Time, that is, that of mechanical clocks, was officially adopted (Pagliano 2022). The sundials of the Certosa di Calci are a cultural asset capable of narrating the internal life of the Certosa, the architectural modifications following internal changes and restorations, the chronometric and calendrical changes that occurred in those centuries in Europe, as well as providing astronomical information of scientific interest and great didactic value. The internal rooms located on the second floor near the *fratelli conversi* quarters, also contains a meridian line, a *camera oscura* type, set into a terracotta tiled floor of brown color, barely highlighted thanks to a recently made brass line that traces it, without any further calendrical or astronomical indication. For this environment, the digital and direct survey described in the previous paragraph was carried out, following which it is possible to make some gnomonic and geometric considerations. The meridian line – whose construction probably dates to the years of the Maggi priorate – is illuminated by sunlight passing through a gnomonic (or heliotropic) hole with a diameter of 1.4 cm [fig. 12] located on the southern wall of the room, at a height of 4.63 m from the floor. These geometric relationships allow the creation of the *camera oscura* effect upon the entry of light through the hole, with the consequent formation of the inverted image of the Sun along the floor, in the shape of an ellipse whose major axis is approximately 26 cm. The meridian line begins with its first extremity corresponding to the summer solstice at a distance of 1.6 m from the base of the wall and extends for a length of 9.6 m up to the winter solstice at the opposite extremity, the end of the portion of the line that can be illuminated by the Sun's projection at the latitude of Calci (43.72N). The point on the line corresponding to the two equinoxes of spring and autumn, characterized by the same position of the Sun on the celestial sphere used as a geometric model of study, is marked by the intersection with a further brass line set into the floor and is located 4.4 m from the wall containing the heliotropic hole [fig. 13]. The gnomonic analysis of the point cloud [figs. 14,15], aided by an extremely detailed direct survey carried out by P. Rechichi, has allowed us to verify the good annual functioning of the meridian line, identifying on it the solstitial and equinoctial points, as well as geometrically positioning the other points where, month by month, the Sun enters the next zodiac constellation, which correspond approximately to the 20th-21st of each month.

Along the meridian line, the indications for these intermediate months are currently absent. However, from the direct analysis of the floor tiles, carried out during the site inspection in 2024, some traces of possible housings for decorative plaques were iden-

15. Axonometric section of the point cloud with the celestial sphere relative to the latitude of Calci for the identification of the light cones entering the heliotropic hole. (graphic elaboration by A. Pagliano).

16. Detail of the meridian line at the summer solstice: note the engraved trace in the floor exactly corresponding to the position of a potential indication of the zodiac constellation of Cancer (photo by A. Pagliano).

17. Traces of a possible decoration next to the meridian line (photo by A. Pagliano).

Image p. 178 Interior perspective of the sundial hall (point cloud by P. Rechichi)

tified, particularly evident at the summer solstice, where the constellation of Cancer should have been depicted on the floor [figs. 16,17].

Conclusions

Unique among cultural assets in not benefiting from specific protections in conservation and restoration, many sundials in Italy are in poor condition, and some are at risk of total disappearance due to dangerous phenomena of material degradation of the dials and gnomons. Sundials are a precious cultural testimony of the lifestyles of the ancient populations who built them to mark the diurnal and annual time of their activities. In particular, meridian lines are also a testimony to the astronomical knowledge of the time, when, in the absence of technologically advanced sky observation instruments, positional astronomy was based entirely on the geometries of light. These assets must therefore be urgently saved with restoration actions. At the same time, saving a sundial is an action closely connected to its valorization, an indispensable action given the progressive dispersion of knowledge in the field of gnomonics.

In the specific case of the Certosa di Calci, the survey of the sundials is a necessary and urgent action for the safeguarding of these precious works of cultural heritage, which lays the scientific foundations for the interpretative reading of the historical stratifications of these assets for the purposes of conservation and restoration. In fact, further possible housings for decorative plaques have been found along the meridian line, while others, very similar, are found in accidental positions: the intention is, therefore, to further analyze the material traces present in light of

the analysis of the gnomonic functioning of the meridian line in collaboration with archaeologists and specialized restorers, in order to understand whether the tiles that contain them may have undergone improper removals over the centuries, in the absence of expert knowledge in gnomonics to guide their relocation.

Credits and Acknowledgments

Although the essay is the result of a joint research, Marco Giorgio Bevilacqua is the author of the "Introduction," Piergiuseppe Rechichi is the author of the paragraph "The Digital and Direct Survey of the Camera Obscura Meridian," and Alessandra Pagliano is the author of the paragraphs "The Sundials of the Certosa: Geometries of Light for Conservation and Restoration" and "Conclusions."

Notes

1. "Studi conoscitivi e ricerche per il restauro, la conservazione e la valorizzazione del Complesso della Certosa di Calci e dei suoi Poli Museali", research project financed by the University of Pisa, principal coordinator Marco Giorgio Bevilacqua. For the purposes of this study, reference was made to the outcomes of the following Work Packages developed within the research project activities: WP.02. Historical Critical Analysis, responsible Ewa Karwacka, with the collaboration of Paolo Bertoncini Sabatini, Laura de Salvo, Denise Italia, Elisabetta Pozzobon, Daniela Stiaffini; WP.05. Architectural survey and topographic monitoring, responsible Marco Giorgio Bevilacqua, Gabriella Caroti, Andrea Piemonte, with the collaboration of Andrea Bedini, Isabel Martinez, Claudio Iozzia Maddaleno, Massimo Casalini, Roberto Rinaldi, Valeria Croce, Giammarco Montalbano, Piergiuseppe Rechichi.

Esiste un patrimonio culturale visibile e intangibile, rintracciabile in opere di architettura, siti archeologici e manifestazioni artistiche, fortemente connesso all'evoluzione del pensiero scientifico di carattere astronomico. La geometria e il disegno, attraverso l'elaborazione del pensiero astratto, hanno contribuito potentemente allo sviluppo delle capacità di misurare il tempo, di comprendere il movimento dei corpi celesti nello spazio e di rappresentarli in terra. La collana vuole essere luogo di riflessione delle varie discipline nello sviluppo di questi ambiti della conoscenza. La pubblicazione di ogni ricerca è subordinata all'accettazione da parte del comitato scientifico e ogni contributo è sottoposto a revisione cieca.

ISBN: 978-88-3359-786-7