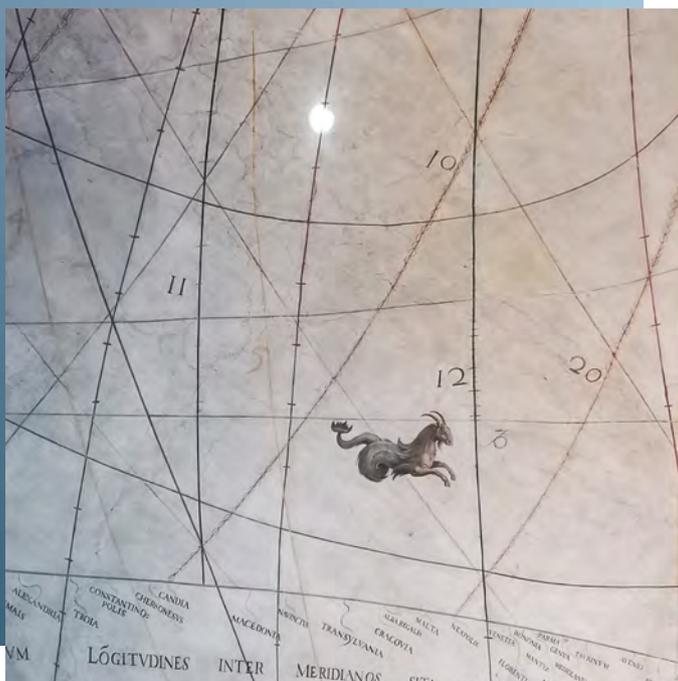


01*2022

RAPPRESENTARE IL TEMPO

Architettura, geometria e astronomia



Atti della prima giornata di studi

Palazzo Spada, Roma → 23 marzo 2022

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 Araldi (Italy); Carlo Bianvchini, *Sapienza Università di Roma* (Italy); Fabrizio Bòboli, *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); Salvatore Esposito, *INFN Sezione di Napoli* (Italy); Laura Farroni, *Università degli Studi Roma Tre* (Italy); Francesca Fatta, *Università Mediterranea di Reggio Calabria* (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, *Museo Archeologico Nazionale di Napoli MANN* (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); Paola Moscati, *CNR* (Italy); Alessandra Pagliano, *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 revisione cieca.

Progetto Grafico

Giulia Pellegrini – variabile comunicazione visiva

Comitato redazionale

Greta Attademo, Stefano Costantini, Marta Faienza, Matteo Flavio Mancini, Gianmarco Mei

Gestione profilo Instagram

Gianmarco Mei

Immagine di copertina: Giovan Battista Magni (progetto Emmanuel Maignan), dettaglio dell'Astrolabio catottrico di Palazzo Spada, 1644 (Fotografia di Matteo Flavio Mancini). Alla pagina seguente: Cortile interno di Palazzo Spada (Fotografia di Matteo Flavio Mancini).

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: 978-88-3359-488-0

Prima edizione: settembre 2022

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

libreriauniversitaria.it
edizioni

atti pubblicati con il contributo di



progetto grafico con il contributo di



organizzazione giornata di studi
con il contributo di



con il patrocinio di



01*2022

RAPPRESENTARE IL TEMPO

Architettura, geometria e astronomia

Atti della prima giornata di studi

Palazzo Spada, Roma 23 marzo 2022

Laura Farroni, Manuela Incerti, Alessandra Pagliano

(a cura di)

Full English texts

REPRESENTING TIME

Architecture, Geometry and Astronomy

Proceedings of the first study day

Palazzo Spada, Roma 23th march 2022

Laura Farroni, Manuela Incerti, Alessandra Pagliano

(editors)



Indice

9	Saluti Solveig Cogliani Pasquale Basilicata Laura Farroni
15	Prefazione Francesca Fatta
17	Architettura, Geometria, Astronomia Laura Farroni, Manuela Incerti, Alessandra Pagliano
22	TEMPO Fabrizio Bònoli
30	Astronomia pre-strumentale Elio Antonello
38	Geometrie intuitive della percezione oraria, dall'Antichità al Medio Evo Mario Arnaldi
54	Penser et figurer le temps dans l'espace : le Zodiaque et les Occupations des mois Angélique Ferrand
70	Un approccio esperienziale al cielo: gli <i>Utotombo</i> della pedagogia del cielo Nicoletta Lanciano
80	Il tempo astronomico e l'impresa eterna nel Mosaico di Alessandro Paolo Giulierini
86	<i>Heliographia mechanica</i>: gli strumenti della gnomonica Filippo Camerota
96	Il ruolo dell'ottica e della prospettiva per lo studio della gnomonica e dell'astronomia: tre casi studio Cristina Cándito
106	Emmanuel Maignan's gnomonic wonders in the project for Villa Pamphilj by Francesco Borromini Alessio Bortot
120	Spazio e tempo nel Roden Crater di James Turrell Agostino De Rosa
132	Rappresentazione del Tempo a Palazzo Spada tra immagini e accadimenti Laura Farroni, Matteo Flavio Mancini
148	Geometrie della luce per il restauro degli orologi solari Alessandra Pagliano
162	Architettura e astronomia: il ruolo del disegno Manuela Incerti
184	Postfazione Ornella Zerlenga
188	Full English texts TIME, Fabrizio Bònoli → 188 / Pre-instrumental astronomy, Elio Antonello → 192 / Intuitive geometries of time perception, from Antiquity to the Middle Ages, Mario Arnaldi → 196 / Thinking and figuring time in space: the Zodiac and the Occupations of the months, Angélique Ferrand → 202 / An experiential approach to heaven: the <i>Utotombo</i> of the Pedagogy of heaven, Nicoletta Lanciano → 208 / Astronomical time and eternal enterprise in Alexander's mosaic, Paolo Giulierini → 213 / <i>Heliographia mechanica</i> : the instruments of gnomonics, Filippo Camerota → 215 / The role of optics and perspective for the study of gnomonics and astronomy: three case studies, Cristina Cándito → 219 / Space and Time in James Turrell's Roden Crater Project, Agostino De Rosa → 224 / Representation of Time at Palazzo Spada between images and events, Laura Farroni, Matteo Flavio Mancini → 228 / Geometries of light for sundials' restoration, Alessandra Pagliano → 233 / Architecture and astronomy: the role of drawing, Manuela Incerti → 238



Il cielo stellato musivo della pseudo cupola del Mausoleo di Galla Placidia. Si ringrazia la Curia Arcivescovile di Ravenna e Cervia per la gentile concessione (foto dell'autrice).

Architettura e astronomia: il ruolo del disegno

Abstract

Il contributo ripercorre alcuni passaggi dello sviluppo della ricerca nazionale e internazionale sul patrimonio culturale con valore astronomico, evidenziando la progressiva affermazione di nuovi approcci interdisciplinari in cui scienze fisiche e scienze umane, congiuntamente, collaborano alla costruzione di nuova conoscenza. Nella seconda parte sono esposte alcune riflessioni metodologiche sul ruolo del disegno sulla base delle categorie individuate dall'iniziativa tematica *Astronomy and World Heritage* (UNESCO).

This paper retraces some steps of the development of national and international research on cultural heritage with an astronomical value. It highlights the progressive affirmation of new interdisciplinary approaches, in which physical and human sciences collaborate for the construction of new knowledge. The second part outlines some methodological reflections on the role of drawing based on the categories individuated in the thematic initiative *Astronomy and World Heritage* (UNESCO).

Parole chiave

Disegno
Rilievo dell'architettura
Astronomia culturale
Modellazione digitale
Comunicazione multimediale

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

L'evoluzione di un ambito di ricerca

Ricostruire i passaggi fondamentali dello sviluppo della tematica *patrimonio culturale e astronomia* può non essere cosa semplice soprattutto a causa del numero di enti, eventi e studiosi coinvolti, la cui produzione scientifica è cresciuta esponenzialmente negli ultimi trent'anni. Un tentativo di sintesi deve tuttavia essere formulato per poter definire lo stato dell'arte e per individuare i possibili sviluppi.

È abbastanza immediato individuare, tra i momenti fondativi della ricerca italiana, i primi convegni internazionali linnei, promossi dall'allora Presidente Sabatino Moscati che, come ricorda Francesco Bertola (Bertola 2001, p. 8), "ha dato grande impulso a questa attività interdisciplinare che vede la partecipazione di soci di entrambe le Classi dell'Accademia, quella delle Scienze Fisiche e quella delle Scienze Morali". I titoli delle giornate - *Archeologia e Astronomia, esperienze e prospettive future* (1° convegno, 1994), *Archeoastronomia, credenze e religioni nel mondo antico* (2° convegno, 1997), *L'uomo antico e il cosmo* (3° convegno, 2000)¹ - attestano come l'impulso principale sia venuto dal confronto tra archeologia e astronomia, e dall'esigenza di iniziare a definire ambiti e metodiche dell'archeostronomia, la cui diffusione in Italia fu avviata da alcuni astronomi tra cui Giuliano Romano². Già nel secondo convegno emerge immediatamente l'apertura dei successivi comitati scientifici alle tematiche appartenenti ad altre epoche storiche con contributi relativi ai periodi medioevale e moderno, all'architettura e ad argomenti non esclusivamente legati agli orientamenti astronomici. Margherita Hack nella tavola rotonda del 2000 (Aa. Vv. 2001, p. 408), pur evidenziando prontamente le possibili difficoltà della ricerca interdisciplinare, sottolineò con forza l'importanza dell'archeostronomia nell'istruzione di base, per riscoprire e sperimentare in prima persona il percorso di conoscenza realizzato dagli antichi: dal puro dato sensoriale (la visione del movimento del cielo) all'astrazione teorica (interpretazione dei corpi e dei moti). Alludeva allo sviluppo del pensiero umano (in particolar modo del pensiero geometrico) che, come ben sappiamo, è stato favorito sino dagli albori della civiltà dall'osservazione dei fenomeni astronomici e dai tentativi di darne un'interpretazione.

Proprio in chiusura al terzo convegno furono presentate la *Società Italiana di Archeoastronomia* fondata a Milano nel dicembre del 2000³, l'intenzione di dare vita alla *Rivista Italiana di Archeoastronomia* diretta dall'Accademico Linceo Gustavo Traversari⁴ e annunciati i Convegni Nazionali SIA, con cadenza annuale, ancora oggi in essere.

È del 2012 l'ultimo convegno *Lo sguardo sugli astri. Scienza Cultura e Arte* (Bertola, Incerti 2016), organizzato dal Centro Linceo Interdisciplinare Benia-

mino Segre, promosso dai membri di due dipartimenti universitari (Dipartimento di Astronomia di Padova e Dipartimento di Architettura di Ferrara), in collaborazione con INAF (*Istituto Nazionale di Astrofisica*), SIA (*Società Italiana di Archeoastronomia*) e SAIIt (*Società Astronomica Italiana*). Elio Antonello in quell'occasione fece il punto della situazione dai primi convegni linnei, con un'approfondita riflessione sul tema dell'interdisciplinarietà (Bertola, Incerti 2016).

Importanti contributi al dibattito sono giunti dunque dai ricercatori dell'INAF (tra cui ricordiamo la luminosa figura di Francesco Maria Polcaro recentemente scomparso) e dalla *Società Astronomica Italiana* SAIIt, antica associazione scientifica (già *Società degli Spettroscopisti*, 1871) costituitasi nel 1920, rinnovatasi nel 1993⁵. Diretta da Roberto Buonanno, la SAIIt cura l'edizione delle *MEMORIE della Società Astronomica Italiana*⁶ e il *Giornale di Astronomia*, nato nel 1975 come "rivista di informazione, cultura e didattica della Società Astronomica Italiana"⁷. Occorre aggiungere ancora la *Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia* (1999, già *Società Italiana degli Storici della Fisica*) associazione che promuove gli studi di Storia della Fisica e dell'Astronomia, persegue la salvaguardia, la valorizzazione e la fruizione pubblica dell'ingente patrimonio storico-scientifico: strumenti scientifici, archivi storici e fondi librari⁸. Sensibilità al tema è infine stata dimostrata dal *Consiglio Nazionale delle Ricerche*, Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale (Dirigente di ricerca Paola Moscati) e dall'ENEA con il *Dipartimento FSN-FUSPHY-SAD* (Divisione Fisica della Fusione).

La ricerca è sostenuta non solo dai ricercatori professionisti, provenienti dalle università o dai centri di ricerca, ma anche da numerosi studiosi indipendenti. Tra le eccellenze deve essere citata l'attività degli gnomonisti italiani, piccola realtà estremamente specializzata, che ha prodotto riviste come *Gnomonica Italiana* e *Orologi Solari*, in questo volume rappresentati da Mario Arnaldi⁹.

In ambito internazionale occorre menzionare l'attività di diverse società scientifiche che organizzano regolarmente convegni e giornate di studio.

- La *European Society for Astronomy in Culture*, SEAC, è stata fondata nel 1992 ed è diretta da A. César González-García (Spagna). Si tratta di una associazione professionale di scienziati che si occupano dell'astronomia nella cultura e dell'astronomia antropologica (compresi gli ambiti interdisciplinari di archeoastronomia ed etnoastronomia, storia dell'astronomia, mitologia, archeologia spaziale o cosmologia). Gli atti dei convegni della SEAC, giunti oramai alla 29a edizione, sono editi dal 1993¹⁰.

- Il vasto ciclo di conferenze internazionali *The Inspiration of Astronomical Phenomena*, INSAP, è nato nel 1994 da un'idea di Ray White (Università dell'Arizona), padre George Coyne (già Direttore della Specola Vaticana) e Rolf Sinclair (già US National Science Foundation), a partire dal tema "cosa accadrebbe se le stelle uscissero solo una notte in mille anni"¹¹.
- La *International Society for Archaeoastronomy and Astronomy in Culture*, ISAAC, è stata fondata nel 1996 e la sua attuale Presidente è Jarita Holbrook (University of Edinburgh). Di respiro transcontinentale la società, già dai suoi esordi, ha inserito tra i propri interessi non solo l'archeoastronomia ma anche l'etnoastronomia¹².

Una tappa fondamentale nello sviluppo di queste ricerche è da individuare nel 2003, anno in cui l'UNESCO World Heritage Center, ha istituito l'iniziativa tematica *Astronomy and World Heritage* coordinata da Anna Sidorenko-Dulom¹³. Poco tempo dopo, durante le giornate di inaugurazione dell'Anno Internazionale dell'Astronomia (IYA09, Parigi 2009) è iniziato un lavoro operativo sulle procedure e le prassi per definire questa nuova tipologia di tutela. Nucleo della sua azione è la necessità di elaborare filoni di ricerca congiunti tra le diverse discipline delle scienze storiche e delle scienze fisiche. Tra gli obiettivi principali si riscontra l'opportunità di raccogliere il maggior numero di dati disponibili non solo per ampliare l'orizzonte conoscitivo, ma anche per migliorare la tutela e promuovere i siti e i beni d'interesse astronomico. Il progetto UNESCO è stato elaborato in concerto con gli Stati parti e l'ICOMOS. Attualmente vi collaborano anche l'Unione Astronomica Internazionale e la sua Commissione 41 in Storia dell'Astronomia¹⁴. L'ultimo incontro è avvenuto nel 2018 a Gran Canaria (Spagna); l'*International Expert Meeting on Astronomical Heritage and Sacred Places* e ha portato al primo sito con ricono-

scimento UNESCO *Astronomy and World Heritage* (Risco Caído e le montagne sacre di Gran Canaria)¹⁵, cui ha fatto seguito nel 2021 l'area di Chanakillo in Perù¹⁶.

Le categorie individuate dagli esperti UNESCO per il patrimonio astronomico, che consentono di orientarci con maggiore agio sulle possibilità in essere, sono [fig. 1]:

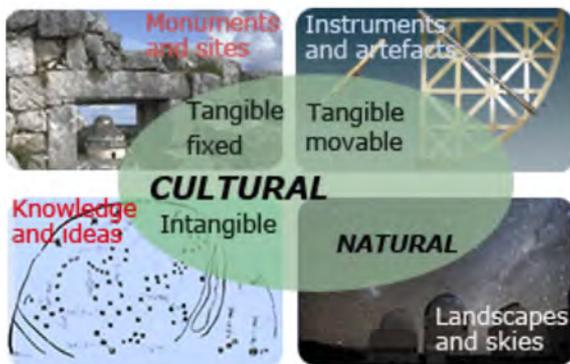
- *Tangible Fixed Monument and sites*;
- *Tangible movable Instruments and artefacts*;
- *Intangible Knowledge and Ideas*;
- *Natural landscapes and skies*.

Può essere significativo ricordare che, negli anni in cui questo ambito di ricerca si sviluppava, l'UNESCO promuoveva anche il progetto *Transdisciplinarity: stimulating synergies, integrating knowledge* (1998): un approccio che "dissolve i confini tra le discipline convenzionali e organizza l'insegnamento e l'apprendimento attorno alla costruzione del significato nel contesto di problemi o temi del mondo reale" (progetto ancora oggi in essere)¹⁷.

Per completare la descrizione del panorama internazionale e nazionale, in questo quadro così ampio e variegato, occorre includere i singoli filoni di ricerca del nostro settore scientifico disciplinare ICAR 17 - Disegno (come testimoniano anche i vari saggi di questo volume) promossi da una serie di giornate di studio e convegni, anche di respiro internazionale, coordinati da alcuni docenti dell'area¹⁸:

- *Imago rerum/03, Seminario Internazionale di studi Tra luce e ombra*, Venezia 2004 (a cura di Agostino de Rosa);
- *Cielo dal mediterraneo all'oriente, VI Forum Internazionale di Studi - Le Vie dei Mercanti*, Caserta/Capri 2008 (a cura di Carmine Gambardella);
- *Mensurā Caeli. Territorio, Città, Architettura Strumenti*, VIII Convegno SIA, Ferrara 2008 (a cura di Manuela Incerti);
- *Disegnare il tempo e l'armonia: il disegno di architettura osservatorio nell'universo*, Convegno Internazionale AED, Firenze 2009 (a cura di Emma Mandelli);
- *Il dentro e il fuori del cosmo. Punti di vista per interpretare il mondo*, XI Convegno SIA, Bologna/Marzabotto 2011 (a cura di Manuela Incerti);
- *IX Convegno Internazionale NEXUS - Relationships between Architecture and Mathematics*, Politecnico di Milano 2012 (a cura di Michela Rossi, sezione sull'archeoastronomia a cura di Giulio Magli);
- *Lo sguardo sugli astri. Scienza Cultura e Arte*, Acca-

1. Portale dell'iniziativa tematica UNESCO Astronomy and World Heritage.



Portal to the Heritage of Astronomy

HOME • ABOUT • THEMES • THE HERITAGE • RESOURCES • CONTACTS • DONATE NOW!

in collaboration with the IAU

demia dei Lincei, Roma 2012 (a cura di Francesco Bertola e Manuela Incerti).

Il ruolo del disegno: un approccio metodologico

Lo scorrere degli eventi e i relativi protagonisti sopra citati consentono di cogliere come la categorizzazione in quattro gruppi delle aree di interesse di questa tematica UNESCO abbia permesso nel tempo di allargare l’orizzonte inglobando progressivamente nuovi ambiti.

La curiosità sull’influenza dei fenomeni astronomici nella cultura materiale e immateriale ha portato progressivamente a declinare il nostro specifico disciplinare nello studio di “monumenti e siti”, “strumenti e artefatti”, “storia della conoscenza e delle idee”, infine a riflettere sugli aspetti percettivi innescati dal rapporto “paesaggio-cielo”. Aspetti storici e contemporanei delle macro-tematiche rappresentazione, geometria, rilevamento, sono stati approfonditi della nostra comunità del disegno che ha progressivamente aggiunto parole chiave più circoscritte come: analisi dei dati, modello digitale, reverse modeling, disegno e grafica digitale, comunicazione, prodotti multimediali, analisi delle immagini. I nuovi strumenti digitali di rilievo e di gestione dei dati, il cui sviluppo negli ultimi venti anni è stato esponenziale, hanno consentito di interrogare gli oggetti con modalità efficaci e realmente potenti, consentendo così di contribuire allo sviluppo del tema, raggiungendo risultati di grande originalità e interesse.

Tuttavia, affinché il Disegno possa continuare a dare il suo contributo innovativo alla ricerca sul patrimonio con valore astronomico, a mio parere, è necessario confrontarsi su tre punti cruciali.

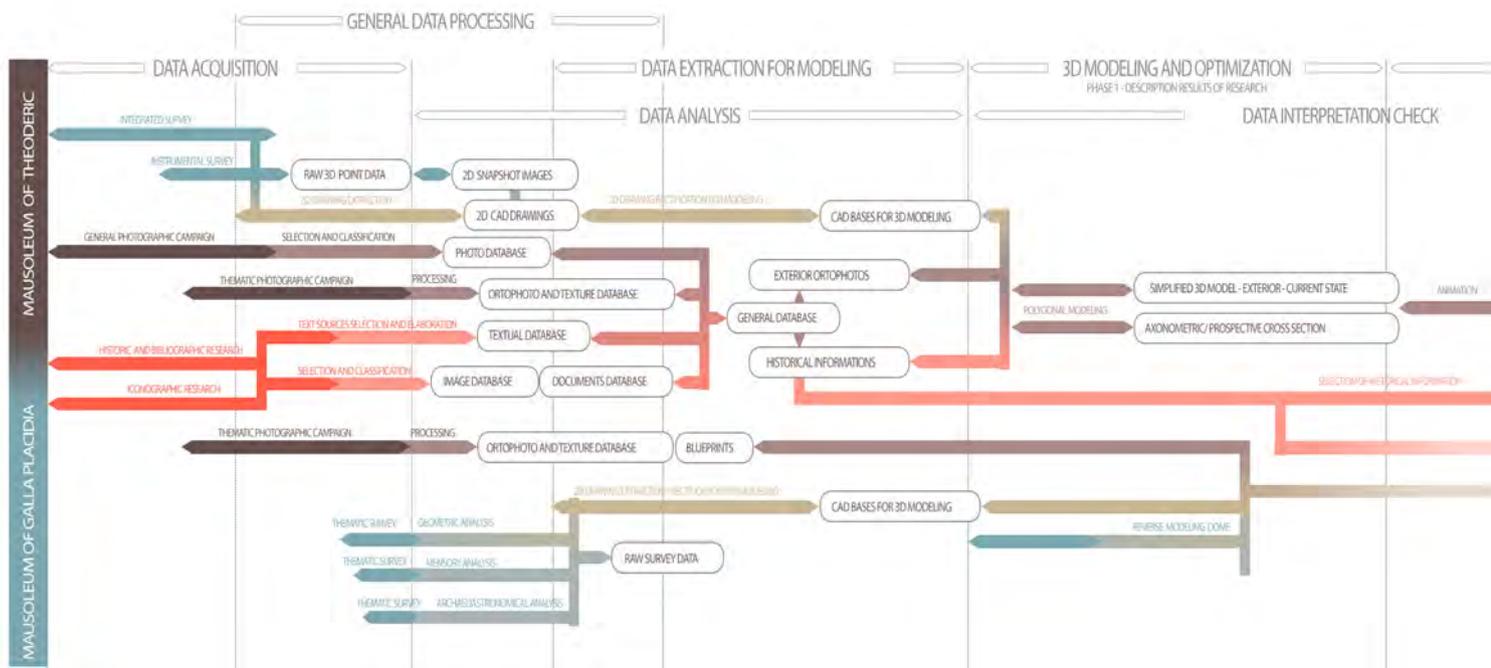
In primo luogo occorre riconoscere, anche in questo ambito, che le azioni in essere possono riguardare sia i fondamenti, sia le applicazioni, quest’ultime realizzate sulla scorta di metodi e processi messi in atto da chi ha preceduto. Questa differenza sostanziale deve consentire di distinguere l’apertura di una nuova linea di ricerca dalla replicazione di percorsi per l’ottimizzazione o la messa a sistema di procedure.

In secondo luogo ciascuno di noi ha sperimentato la complessità di questo tipo di ricerche specialistiche: non è sufficiente avere competenze di base sull’astronomia sferica, ma è indispensabile avere conoscenze sulla cultura astronomica, astrologica, calendariale e gnomonica in essere nell’età storica (pre-storica, antica, medievale, moderna, contemporanea) a cui i beni con valore astronomico appartiene, per riuscire a contestualizzarne il senso ed evidenziarne il valore. Per questa ragione, già dagli esordi delle prime società scientifiche, l’organizzazione dei convegni e delle pubblicazioni inerenti questo tema mantiene saldamente una struttura multidisciplinare, così come è avvenuto in questa giornata di studi.

Per ultimo il rigore del linguaggio diviene un ulteriore, importante, ambito di riflessione da curare con grande attenzione data la necessità di tenere insieme competenze diverse come, per esempio, geometria descrittiva, gnomonica, astronomia.

Le fasi del workflow

Le differenti esperienze condotte in questi anni sul campo¹⁹, in zone di confine e, come tali, spesso



inesplore, hanno consentito di ragionare su questi aspetti epistemologici e di elaborare un flusso di lavoro funzionale agli obiettivi conoscitivi, valorizzativi e divulgativi di volta in volta presenti. La figura 2 delinea, a questo proposito, le relazioni spaziali e temporali tra le diverse fasi e le relative connessioni che possono essere così declinate sui casi studio dei Mausolei di Galla Placidia e di Teodorico²⁰:

1. Acquisizione dei dati. Raccolta dei dati con la campagna di rilievo integrata (laser scanner, campagna fotografica di tipo generale, riprese fotografiche per fotogrammetria digitale, orientamento archeoastronomico), e ricerca dei dati storici, bibliografici e iconografici.
2. Processamento dei dati. Trattamento ed estrazione dei dati finalizzata alle restituzioni 2D e la loro realizzazione, costruzione del data-base delle ortofoto e delle texture necessarie per le restituzioni materiche. Selezione ed elaborazione dei dati testuali ed iconografici ai fini dell'analisi critica.
3. Analisi dei dati 2D. Formulazione delle prime ipotesi interpretative sulla forma, la geometria, l'unità mensoria e sulle eventuali implicazioni astronomiche: le verifiche iniziali sono condotte sulla base dei disegni CAD.
4. Estrazione dei dati per la costruzione del modello. I dati 2D sono ottimizzati per la realizzazione dei diversi modelli 3D.
5. Modellazione 3D e ottimizzazione dei dati. Sono prodotti dei modelli ottimizzati per le diverse finalità della ricerca: dalla lettura critica, alle esigenze della divulgazione.
6. Analisi e verifica dei dati sui modelli 3D. Studio

delle geometrie, reverse modeling, rendering. Alcuni aspetti dell'indagine, per esempio lo studio delle ragioni proiettive del cielo stellato di Galla Placidia, o l'esistenza di effetti luminosi con valore archeoastronomico all'interno dei due edifici, si avvalgono anche delle potenzialità dei modellatori e dei motori di render capaci di simulare il percorso della luce all'epoca di costruzione.

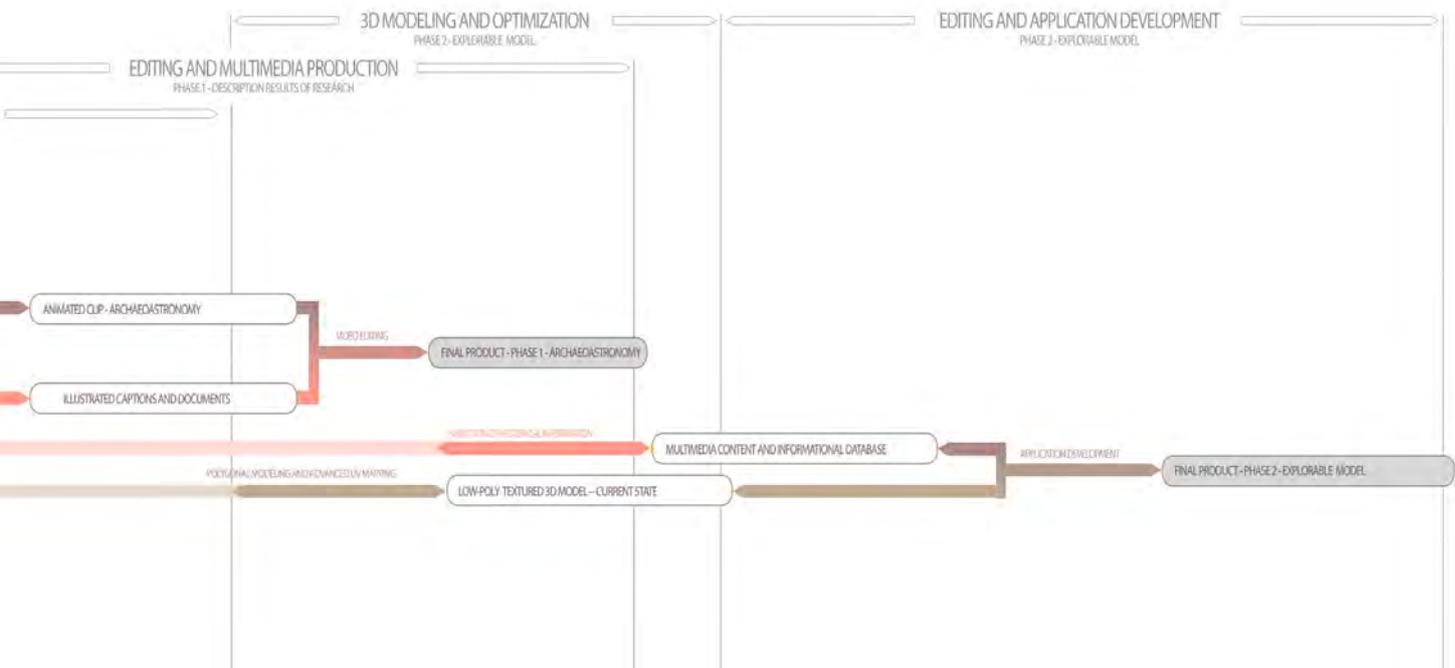
7. Integrazione modelli 3D con software astronomici: il caso di *Stellarium*.
8. Editing e produzione multimedia. I video di studio vengono resi disponibili al pubblico attraverso una interfaccia appropriata, capace di favorire una fruizione semplificata dei contenuti scientifici.
9. Editing e produzione applicazioni. Produzione di applicazioni interattive, come momento più alto della comunicazione, in grado di coinvolgere e di rendere protagonista il visitatore nel suo percorso di conoscenza.

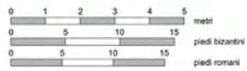
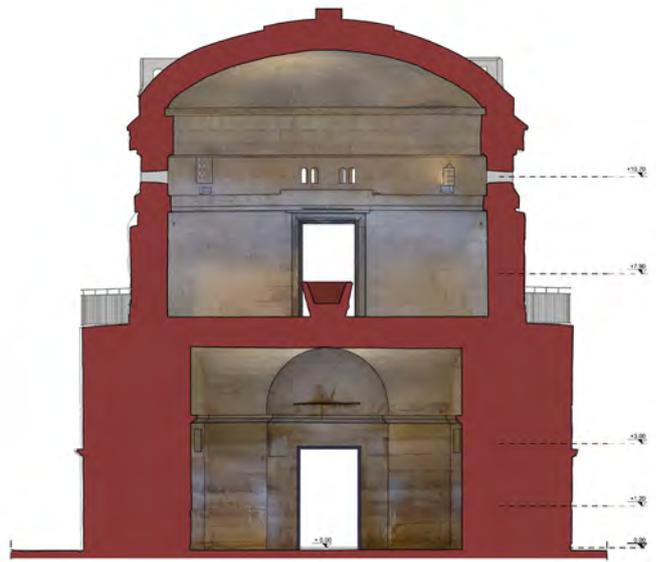
La ricaduta di queste azioni sui quattro gruppi delle aree di interesse della tematica UNESCO, ed in particolar modo sulle prime tre (monumenti e siti, strumenti e artefatti e storia della conoscenza e delle idee) può essere meglio descritta attraverso alcuni casi-studio già condotti.

Monumenti e siti

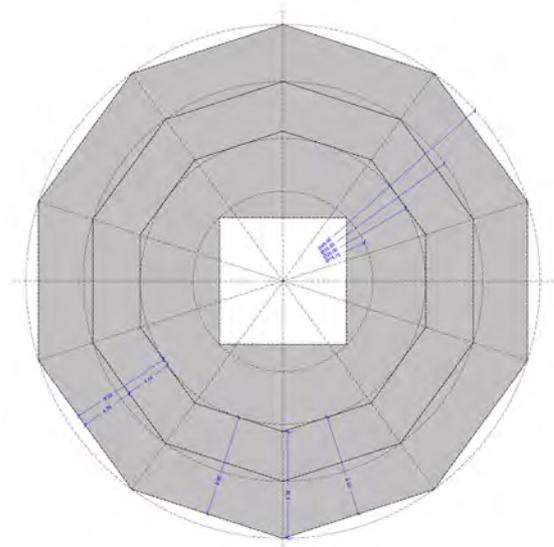
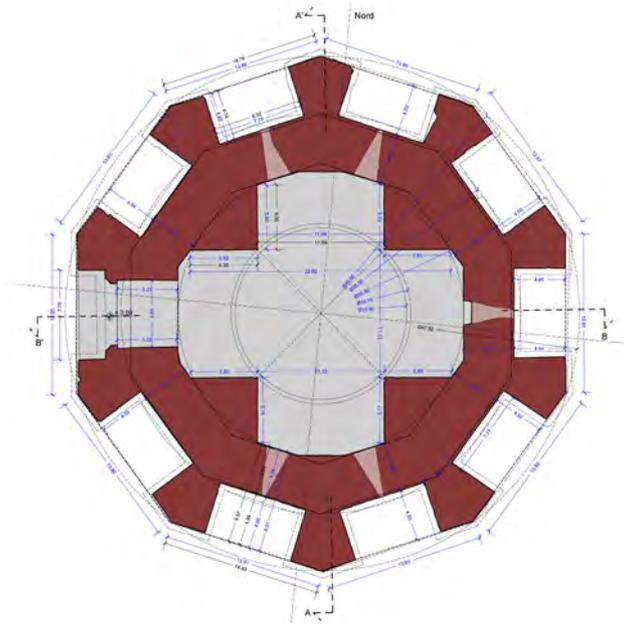
L'analisi archeoastronomica di un bene monumentale deve necessariamente avere come punto di partenza il rilevamento architettonico secondo le metodiche condivise e consolidate nel settore scientifico disciplinare. Particolare cura deve essere posta

2. Schema del flusso di lavoro (immagine a cura di S. Iurilli, rielaborazione dell'autrice).





3.



4.

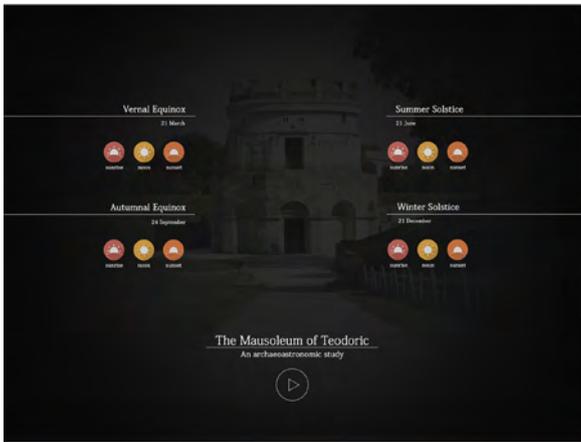
3.
Mausoleo di Teodorico, restituzione materica del prospetto Ovest e di una sezione da fotogrammetria digitale e rilievo laser scanner (G. Lavoratti e dell'autrice).

4.
Mausoleo di Teodorico, pianta di rilievo a quota + 1,20 metri (a cura di G. Lavoratti) con analisi metrica e geometrica dell'impianto (elaborazione grafica dell'autrice).

5.
Mausoleo di Teodorico: modello e render dell'edificio (S. Iurilli).



5.



6. Mausoleo di Teodorico: frames del video con la simulazione della luce all'interno della cella superiore (S. Iurilli).

7. Mausoleo di Teodorico: render dell'edificio con la simulazione della luce all'interno della cella superiore (modello di S. Iurilli, gestione del modello in *Stellarium* di G. Zotti, interrogazione dati a cura dell'autrice).

8. Mausoleo di Galla Placidia: restituzione del rilievo integrato (G. Lavoratti e dell'autrice).

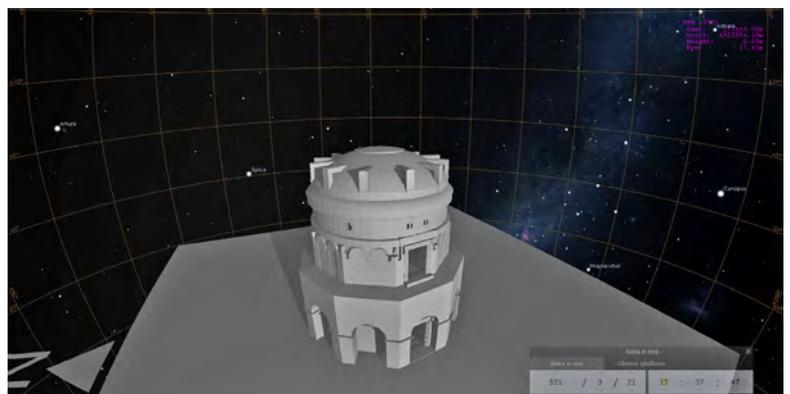
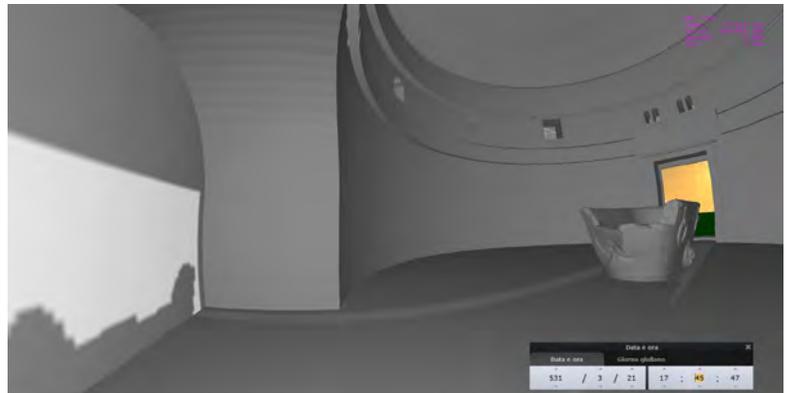
al rilievo degli elementi potenzialmente coinvolti in significati astronomici (finestre, piccole bucatore, porte, altari)²¹. Il rilievo dell'orientamento, con tecniche classiche (cioè astronomiche) o mediante GPS, se svolto con accuratezza consentirà di cogliere la differenza tra la misura teorica e quella reale, ben sapendo che gli strumenti oggi in uso sono estremamente più sofisticati di quelli un tempo disponibili in un antico cantiere.

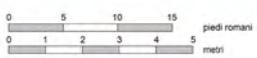
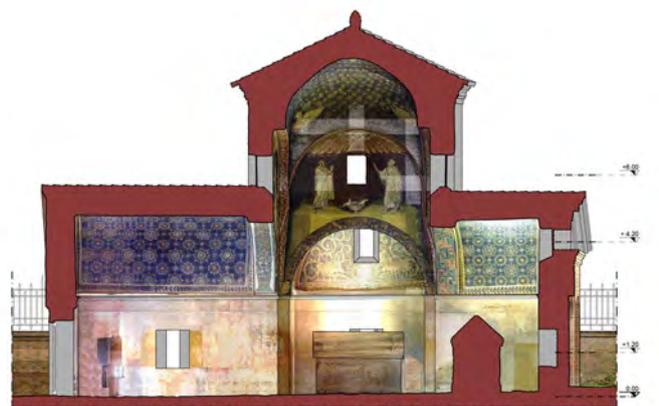
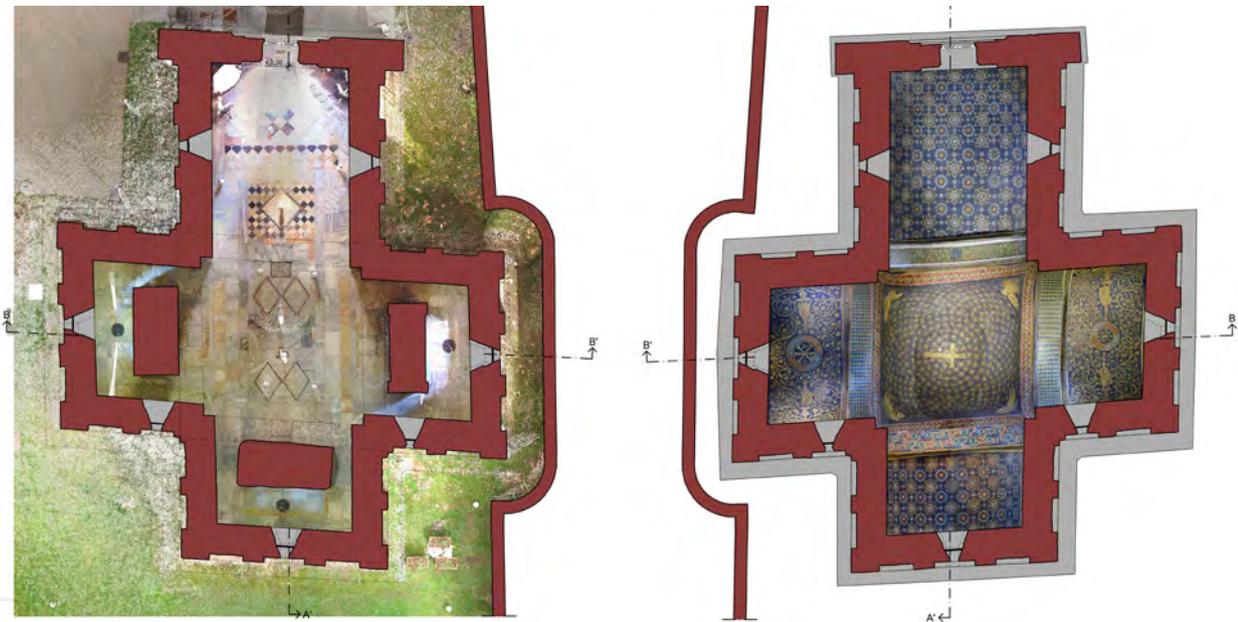
Per entrambi i mausolei ravennati, Teodorico (520) e Galla Placidia (432-450), sono stati realizzati i rilievi laser scanner e fotogrammetrici e, dai dati processati, sono stati estratti gli elementi utili sia per la restituzione nelle viste ortogonali (piante, prospetti e sezioni) [figg. 3-4] sia quelli per la modellazione tridimensionale. L'analisi dei dati 2D ha consentito di identificare, geometrie nascoste, come le tre circonferenze circoscritte ai decagoni di raggio 45-35-25 piedi bizantini nel Mausoleo di Teodorico [fig. 4], allineamenti significativi con elementi morfologici ed effetti di luce in date particolari dell'anno astronomico che coinvolgono l'ambiente superiore (Incerti, Lavoratti 2016; Incerti, Lavoratti, Iurilli 2019).

Grande attenzione deve essere ovviamente posta alle questioni calendariali in relazione all'epoca dell'edificio (date giuliane, gregoriane, liturgiche), al sistema di computo del tempo e all'evoluzione del manufat-

6.

7.



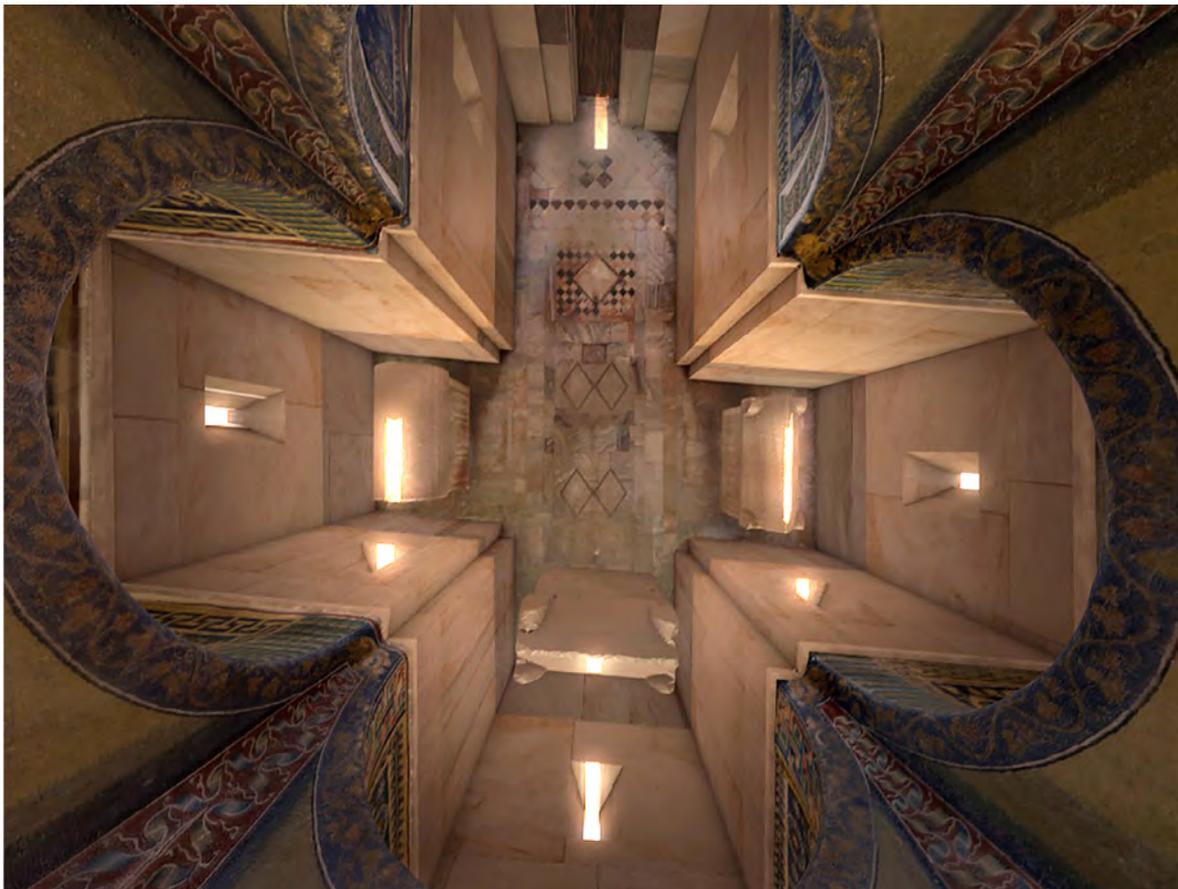




9.
Mausoleo di Galla Placidia: simulazione della luce sull'antico pavimento posto a -1.40 m rispetto alla quota attuale (S. Giannetti).

10.
Pseudo cupola di Galla Placidia: le curve colorate al di sopra degli arconi sono quelle selezionate per l'analisi della geometria (elaborazione grafica dell'autrice).

11.
Analisi della geometria delle curve in Geogebra (elaborazione grafica dell'autrice).



9.

to. L'uso dei modelli tridimensionali (realizzati con modellatori per superfici) in una prima fase consente di ripetere le stesse analisi condotte sul 2D allo scopo di verifica (facendo le opportune attenzioni alle questioni calendariali dei software). In un momento successivo è possibile poi realizzare video per prodotti multimediali utili alla divulgazione di contenuti molto complessi, che divengono indubbiamente semplici se trasmessi attraverso immagini in movimento [figg. 5-6].

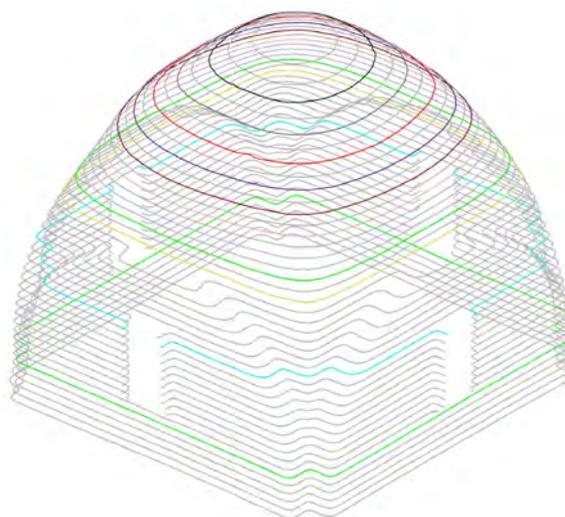
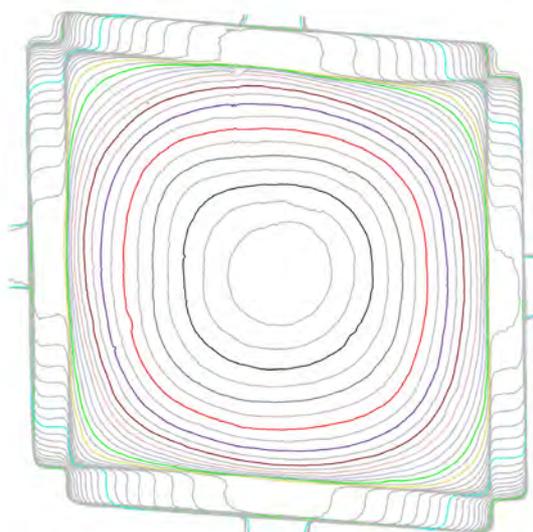
L'inserimento di un modello ottimizzato e correttamente orientato all'interno del software *Stellarium*²², consente un ulteriore livello di controllo e di verifica del dato astronomico [fig. 7], oltre che di rapida visualizzazione dei fenomeni data la possibilità di accelerare la velocità del trascorrere del tempo nelle impostazioni generali previste nell'interfaccia.

Anche per il Mausoleo di Galla Placidia è stato messo in atto il workflow appena descritto: rilievo, processamento dei dati, restituzione [fig. 8], analisi delle geometrie e degli orientamenti attraverso cui è possibile ipotizzare una ragione arqueoastronomica per la rotazione reciproca tra i due bracci della croce latina e alcuni effetti di luce. La costruzione di modelli 3D dello spazio nella sua conformazione originaria (il pavimento era più basso di 140 cm circa) consente di visualizzare gli effetti luminosi [fig. 9] che nel solstizio invernale coinvolgevano la porta di accesso (Incerti, Lavoratti, D'Amico 2020; Incerti, Lavoratti, D'Amico, Giannetti 2018)

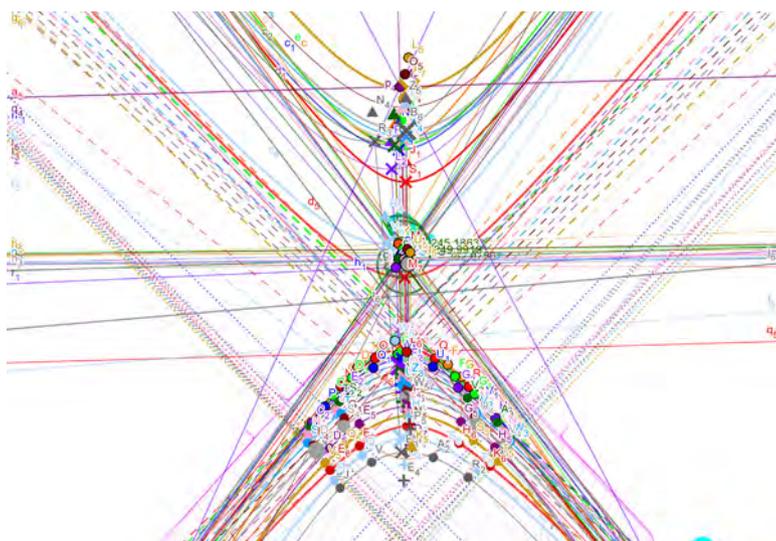
Il rilievo avanzato tridimensionale, morfologico e materico, permette anche di realizzare analisi in passato impossibili da eseguire con le metodiche tradizionali. Apparentemente irregolare, la pseudo cupola di Galla Placidia è impostata su un parallelogramma e non è riconducibile ad operazioni di rivoluzione di una curva, ad una volta a crociera o a padiglione. La sezione della mesh di rilievo con un fascio di piani orizzontali con passo di 10 cm ha restituito un insieme di linee curve, tutte differenti tra loro, che intuivamo comunque connesse da una regola inconsueta [fig. 10]. Una prima analisi ha consentito di verificare che si tratta di porzioni di iperboli, curve di complesso tracciamento, soprattutto nell'ambito di un cantiere edilizio [fig. 11]. L'ipotesi formulata propone l'esistenza di una macchina di cantiere basata sul principio del compasso perfetto (che, anche se codificato nel X secolo, trova i suoi fondamenti teorici nell'ultimo gruppo di proposizioni del Libro I delle *Coniche di Apollonio*) e sulla misura degli angoli attuata da Tolomeo con il *Triquetro*, strumento astronomico che utilizza la *tavola delle corde* (sempre di Tolomeo) [fig. 12]. Questa ricostruzione ipotetica pare compatibile anche con curve che si ottengono sezionando la superficie della pseudo-cupola di Santa Maria di Casaranello (Lecce, V secolo) (Incerti 2022a).

Nell'ambito della tematica "monumenti e siti" un

10.



11.



ultimo cenno può essere fatto alle geometrie e agli orientamenti degli impianti urbani, la cui forma può contenere riflessioni sulla dimensione del cielo²³.

Strumenti e artefatti

Anche aspetti artistici come la composizione di un cielo stellato musivo possono essere oggetto di nuove interpretazioni grazie alle potenzialità del disegno. A Galla Placidia, anche se, ad occhio nudo, i ricorsi delle stelle sembrano descrivere delle circonferenze regolari apparentemente giacenti su piani paralleli, nella realtà il loro andamento segue un motivo "festonato" (curva gobba) risultato di un'operazione di proiezione sulla superficie della copertura da un punto collocato centralmente, circa all'altezza della base delle finestre. La geometria che sottende questo tracciamento si fonda su una serie di coni il cui angolo al vertice aumenta progressivamente, e la cui possibilità di materializzazione è data dalla conoscenza del principio di funzionamento del *Triquetro* [figg. 12-14]. Il medesimo principio sottende il

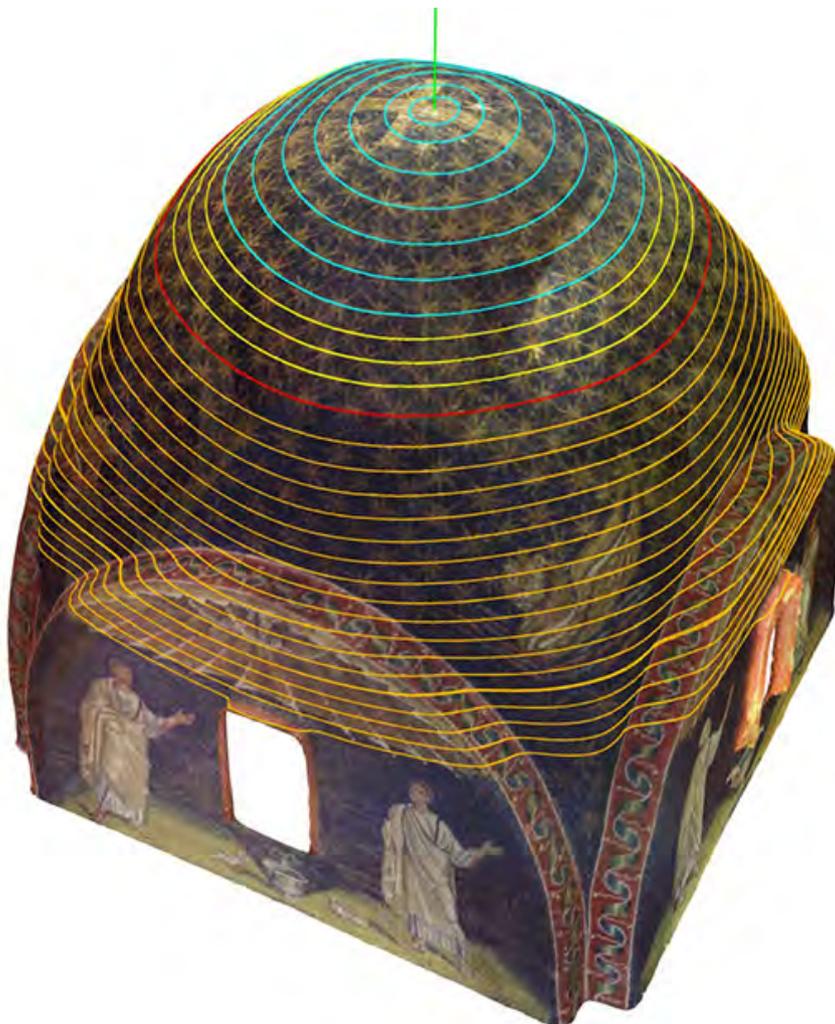


12.

12. Finaeus Orontius, 1544. *Orontii Finaei Quadratura circuli, tandem inuenta & clarissimè demonstrata.* Lutetiae Parisiorum: apud Simonem Colinaeum, p. 84.

13. Vista della pseudo cupola di Galla Placidia: in evidenza l'andamento "festonato" delle curve gobbe che seguono la disposizione dei giri di stelle in mosaico (disegno dell'autrice).

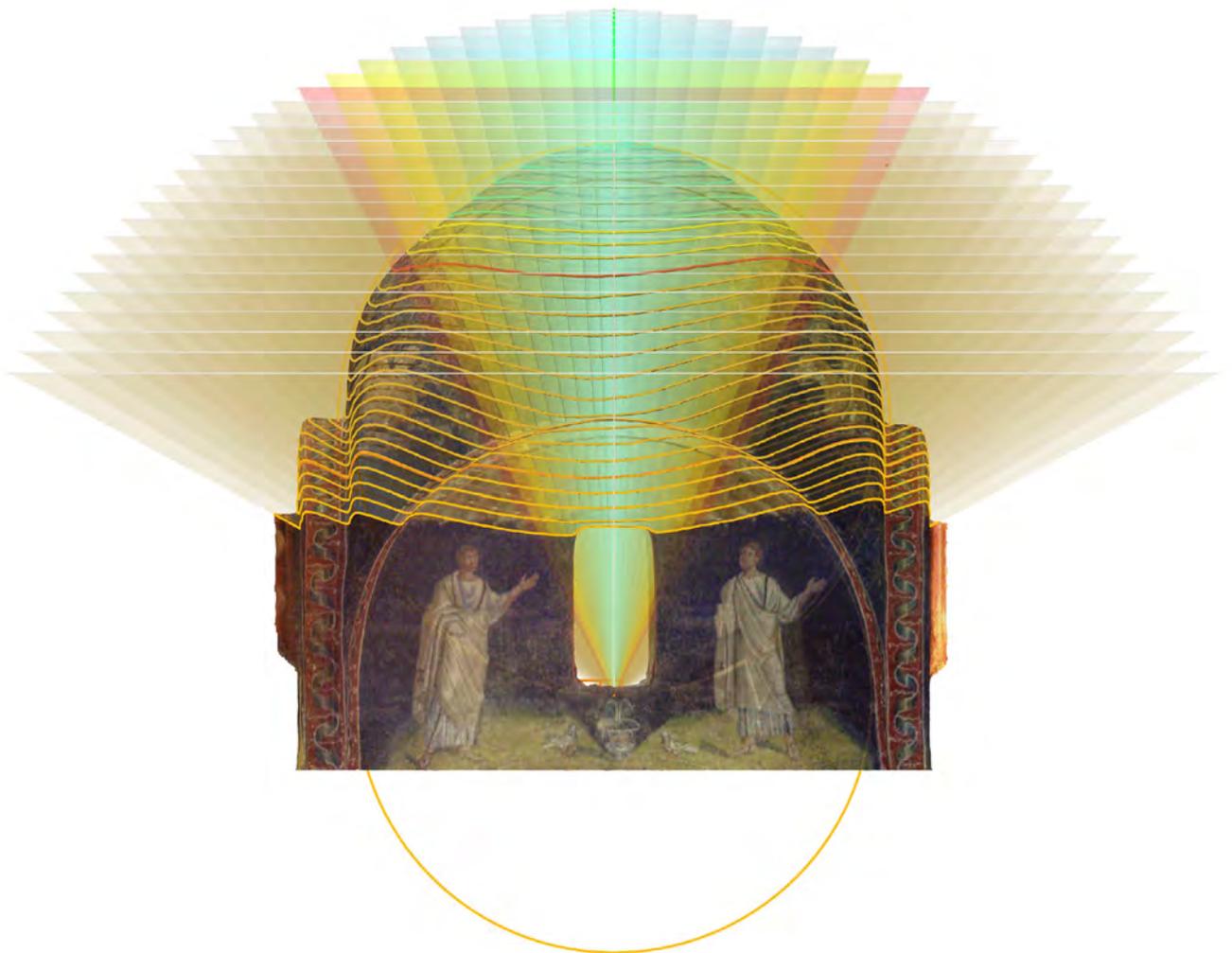
13.

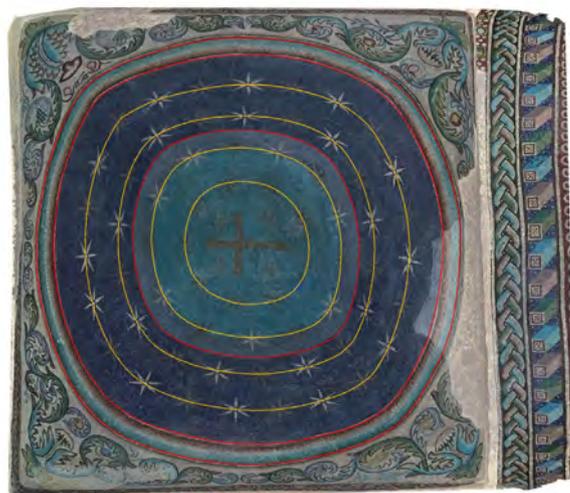


14. Viste ortogonali della pseudo cupola di Galla Placidia. In basso la sequenza di coni che, intersecati con la superficie della copertura, generano le curve gobbe che descrivono l'andamento dei cerchi di stelle (elaborazione grafica dell'autrice).



14.

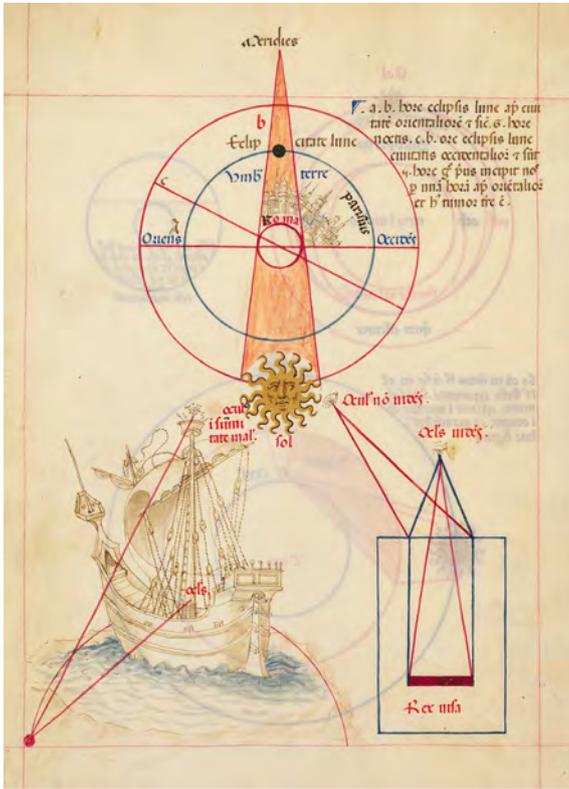




15.
Pseudo cupola
di Santa Maria di
Casaranello (LE);
viste del modello
elaborato con
fotogrammetria
digitale. Sulla
sinistra, in alto, i
coni con angolo al
vertice di 80° dalla
cui intersezione
con la superficie
della copertura
si ottengono le
curve gobbe del
motivo decorativo
(elaborazione
grafica dell'autrice).

16.
Il cielo stellato
musivo della
pseudo cupola
di Santa Maria
di Casaranello
(LE) (foto di G.
Martiriggiano).





17. Le ragioni geometriche dell'eclisse, problemi di visibilità dovuti dalla sfericità della terra nel *Sphaera coelestis et planetarum descriptio*, Modena, Biblioteca Estense Universitaria, lat. 209=Alfa.X.2.14, c. 2v. Su gentile concessione del Ministero della Cultura - Gallerie Estensi, Biblioteca Estense Universitaria.

18. Esempio di Planisfero: Bern, Burgerbibliothek, Cod. 88, f. 11v, *Aratus-Germanicus: Phaenomena*, (inizio del sec. XI, <https://www.e-codices.ch/en/list/one/bbb/0088>). Su gentile concessione della Burgerbibliothek.



19. Esempio di due emisferi: *Aratea*, St. Gallen, Stiftsbibliothek, Cod. Sang. 902 p. 76, versione Latina di Arato (primo quarto-prima metà 9 sec.). Su gentile concessione della Stiftsbibliothek St. Gallen.

20. Esempio di cerchio zodiacale che circonda Sole e Luna o altre figure: manoscritto *Annales* - Cod. hist. fol. 415 fol. 17v (1162), Württembergische Landesbibliothek Stuttgart, Public Domain Mark 1.0.

17. 18.
19. 20.

tracciamento del cielo stellato di Casaranello (Lecce, V secolo) [figg. 15-16] e della Cappella della Pace nella necropoli paleocristiana di el-Bagawat (Egitto, V sec.) (Incerti 2022b; Incerti, Giannetti 2020).

Conoscenza e idee

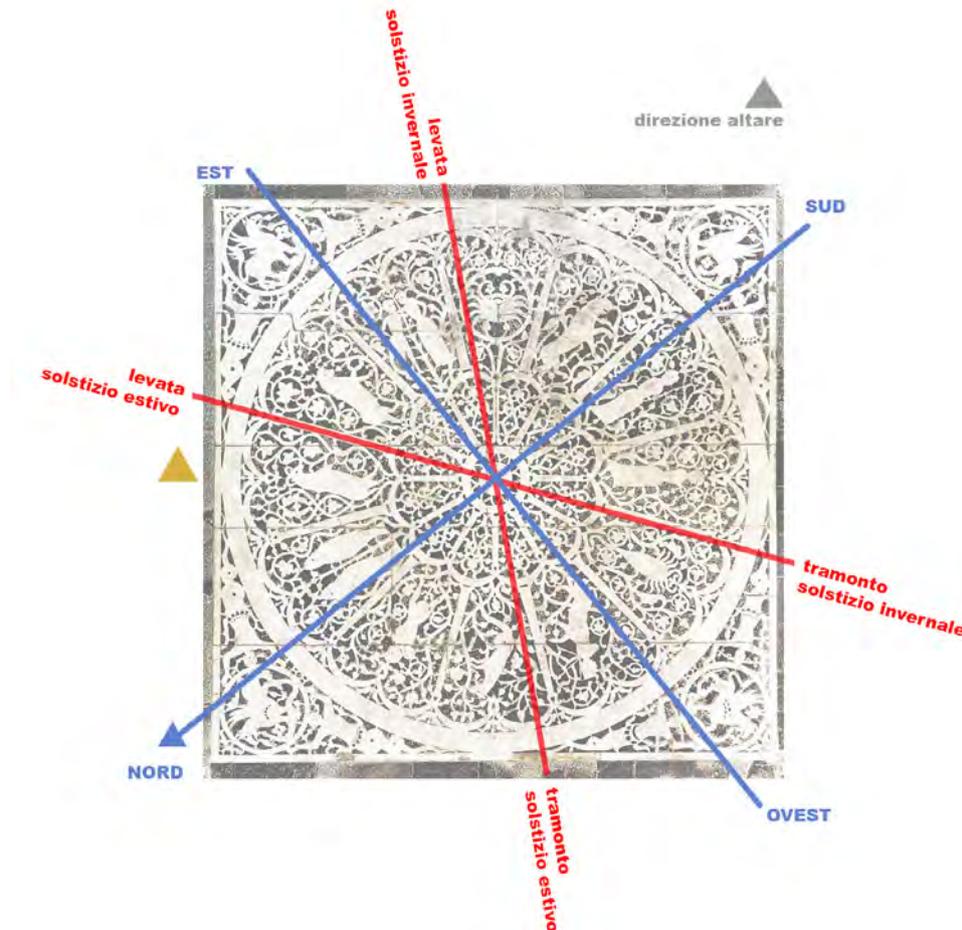
La capacità di decodificare un disegno alla luce delle competenze disciplinari permette di dare un contributo originale riconnettendo i reperti alle conoscenze scientifiche e alle idee che li hanno prodotti. È il caso delle tavole astronomiche del *De sphaera estense*, manoscritto steso sulla fine del XV secolo, composto da disegni sciolti, dotati di sintetiche didascalie ma sprovvisti di riferimenti alle fonti. L'analisi comparativa ha consentito di individuare nel *Tractatus de Sphaera* di Johannes de Sacrobosco²⁴ una possibile fonte delle tavole astronomico-cosmologiche del trattato [fig. 17] affiancate da diagrammi da far risalire invece al *Computus*.

Il disegno diviene ancora uno strumento potente allorché si indaghi sui modelli rappresentativi del cielo. Nel caso particolare dello Zodiaco in età medioevale, secondo gli esperti le sue rappresentazioni sono riconducibili a tre tipologie principali: il planisfero [fig. 18], i due emisferi [fig. 19] e il cerchio zodiacale [fig. 20] che circonda Sole, Luna o altre figure²⁵. La fascia zodiacale ruota da est a ovest (senso orario)

intorno alla terra alla velocità di un grado ogni quattro minuti, completando un giro in ventiquattro ore. La sua rappresentazione sul piano tuttavia può dare luogo a due tipi di orientamento diversi: orario, se il punto di vista è al centro della sfera, e antiorario, se il punto di vista è esterno alla sfera celeste. Lo Zodiaco dell'Atlante Farnese (Museo Archeologico Nazionale di Napoli, II secolo d.C.), oggetto scultoreo tridimensionale, è visto dall'esterno, mentre una serie di altre testimonianze, in particolar modo di età medioevale, la sequenza dei segni procede in senso orario.

È il caso del mosaico pavimentale di San Miniato al Monte, monumento in cui le rilevanze archeoastronomiche sono evidenti e attestate anche da spettacolari eventi luminosi. La disposizione del grande rosone segue la direzione di un asse solstiziale²⁶ e il cerchio zodiacale s'inserisce in una ampia tradizione iconografica, probabilmente di tipo computistico-calendario [fig. 21], in cui la cultura classica si trasfigura nel simbolo cristiano (Incerti 2013).

Due brevi cenni possono essere fatti ancora sulla questione della geometria elementare al servizio dell'iconografia, come strumento di lettura degli apparati decorativi dei cieli stellati (dettaglio e struttura) e infine sull'influenza dei fenomeni astronomici nelle rappresentazioni artistiche. L'analisi statistica



21.

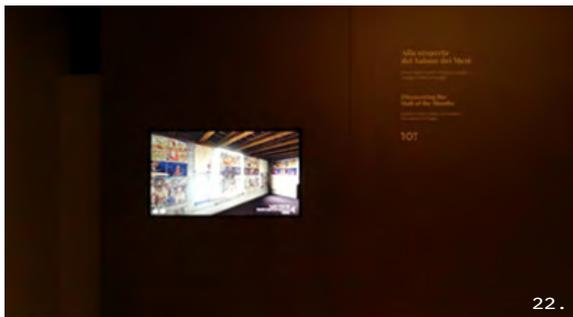
21. Basilica di San Miniato al Monte, orientamento del mosaico pavimentale. La direzione della levata del Sole nel solstizio invernale-tramonto solstizio estivo è contraddistinta dai due segni-limite del cerchio zodiacale: Cancro (verso l'abside, sud-est) e Capricorno (verso la porta, nord-ovest). La freccia gialla indica il segno dell'Ariete e il senso di lettura dello zodiaco (elaborazione grafica dell'autrice).

attesta che l'avvento di alcuni stupefacenti eventi astronomici in alcuni periodi storici ha effettivamente prodotto un incremento di figurazioni della stella nella narrazione dei Magi e, in alcuni casi, una rappresentazione particolarmente sensibile ai dati visivo-percettivi (Incerti, Polcaro, Bònoli 2011).

Conclusioni

Nel corso del tempo il patrimonio astronomico intangibile, come attestano alcuni saggi di questo volume, è stato variamente declinato negli artefatti artistici. Valorizzare e trasmettere questo tipo di contenuti può risultare particolarmente difficile e complesso, in relazione alla loro astrattezza e all'eterogeneità, tuttavia il contributo della rappresentazione può fare la differenza.

Per il Museo di Schifanoia di Ferrara è stato realizzato un prodotto multimediale [figg. 22-23] basato su un modello navigabile e interrogabile in *Real Time* dal visitatore su schermo touch. La complessità e la stratificazione delle informazioni contenute nel programma pittorico del Salone dei Mesi (1469-70) (Bertozi 1999) hanno sempre



22.



23.

reso difficile e impegnativo il racconto del percorso culturale, geografico e iconografico delle immagini astrologiche [fig. 24]: per questa ragione è stato sviluppato un prodotto di facile fruizione, volutamente accessibile solo da un dispositivo presente sul posto a disposizione dei visitatori²⁷.

L'ospite, grazie ad un modello navigabile con texture fotografiche ad alto dettaglio appositamente realizzate, può liberamente muoversi nello spazio virtuale e interrogare le immagini. Avvicinandosi ad uno dei dodici settori si attiva difatti una cornice luminosa che segnala l'esistenza di contenuti esplorabili²⁸. Questo esempio dimostra come le *digital humanities* possono realmente migliorare l'accessibilità e la fruibilità di un bene secondo i criteri della sostenibilità, ovvero proteggere il bene da un uso eccessivo (per esempio accorciando i tempi di permanenza in locali sensibili alla presenza umana), rendendolo nello stesso momento più comprensibile ed inclusivo. Attraverso le possibilità del digitale si amplia dunque il numero dei possibili fruitori e, nel contempo, si aumentano le conoscenze trasmissibili, facilitandone la loro comprensione. In questo contesto quindi il rilievo, la documentazione, l'analisi critica e la comunicazione multimediale acquisiscono un ruolo di primo piano nelle politiche della sostenibilità culturale²⁹.

In conclusione attraverso le riflessioni sopra condotte, spesso frutto di esperienze di ricerca personali, si è proposta una visione sulla tematica *patrimonio culturale e astronomia*, sul suo stato dell'arte, declinandola attraverso lo specifico disciplinare del Disegno. Si tratta di un ambito di ricerca in forte espansione e di grande complessità che richiede, insieme al rigore, anche la capacità di entrare in sintonia con altre competenze dalle quali non è possibile prescindere per raggiungere un reale ampliamento della conoscenza sul tema.

Aby Warburg (Amburgo 1866 - ivi 1929), con la riscoperta e la decodificazione delle misteriose figure dei decani di Schifanoia (Warburg 1999), ci supporta nella conclusione di queste riflessioni testimoniandoci come le immagini - rilevate o create - sono e saranno, incessantemente, icone cariche di significati perché in stretta relazione con la cultura e la memoria della società che le produce.

22. Salone dei Mesi di Schifanoia, virtual tour interattivo, non immersivo, prodotto multimediale in uso nel Museo di Schifanoia. Si ringrazia il Museo di Schifanoia per la gentile concessione.

23. Salone dei Mesi di Schifanoia, Unreal Engine, Epic Games Unreal (Modelli 3D Video e Interattività: S. Iurilli, D. Arnone).

Note

1. Gli Atti dei tre convegni sono editi nei volumi dei Lincei (Aa.Vv. 1995, 1998, 2001).
2. Tra i suoi lavori di più ampia diffusione: (Romano 1994, 1995, 1999).
3. Il prof. Gustavo Traversari con i colleghi prof. Edoardo Proverbio e prof. Giuliano Romano sono stati i principali promotori di questa società scientifica. Presidente: Edoardo Proverbio, già professore ordinario di Astronomia, Università degli studi di Cagliari. Vice-Presidente: Gustavo Traversari, Presidente del CE.VE.SCO. (Venezia), già professore ordinario di Archeologia classica, Università Ca' Foscari, Venezia, Accademico dei Lincei. Membri: Elio Antonello, astronomo, già Vice Direttore dell'Osservatorio Astronomico di Brera, Milano-Merate; Francesco Bertola, professore ordinario di Astrofisica, Università di Padova, Accademico dei Lincei; Pino Calledda, ricercatore presso l'Osservatorio Astronomico di Cagliari; Vittorio Castellani, professore ordinario di Fisica stellare, Università di Pisa, Accademico dei Lincei; Giovanni Lilliu, professore emerito di Archeologia, Università di Cagliari, Accademico dei Lincei; Paola Moscati, ricercatrice presso l'Istituto per l'Archeologia Etrusco-Italica del CNR, Roma; Giuliano Romano, già professore di Storia dell'astronomia, Università di Padova; Rodolfo Striccoli, professore di Archeologia, Università di Bari; Pasquale Tucci, professore ordinario di Storia della fisica, Università di Milano; Nedim Vlorë, professore di Geografia, Università di Bari.
4. Edita tra il 2002 e il 2006 per le edizioni Quasar.
5. Il suo nuovo statuto è stato curato dal Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, attualmente Ministero della Cultura, da cui la società dipende.
6. Rivista trimestrale dedicata alla pubblicazione in lingua inglese di atti di conferenze e articoli su invito nel campo dell'astronomia e dell'astrofisica, è probabilmente la più antica rivista dedicata all'astrofisica.
7. Il *Giornale di Astronomia* è diretto da 25 anni da Fabrizio Bònnoli.
8. Gli Atti della Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia sono giunti al numero 40.
9. Occorre, in questo contesto, ricordare anche Alessandro Gunella, autore della traduzione italiana dell'opera *Perspectiva horaria, sive de horographia gnomonica*, edita a Roma nel 1648 da Emmanuel Maignan. Lo scritto è edito come allegato ad alcuni numeri della rivista *Orologi Solari* (<https://www.orelogisolari.eu/>). Maria Luisa Tuscano ha collaborato nella ricerca storica sull'Astrolabio catottrico di Palazzo Spada edita nel volume di Laura Farroni (Farroni, 2019). Tutti i siti web editi in nota sono stati consultati in data 02/06/2022.
10. <http://www.archeoastronomy.org/content/publications/>
11. <https://insap.org/publications/>
12. <https://www.archeoastronomy.org/publications>
13. <https://whc.unesco.org/en/activities/19/#meetings>
14. I lavori del working group hanno trovato esito nel manuale (C. L. N. Ruggles 2015).
15. Si veda (Belmonte et al. 2018). L'autrice ha partecipato a questo e ad altri meeting del working group, collaborando anche al *Thematic Studies jointly prepared by ICOMOS and the International Astronomical Union (IAU) Commission C4* (Incerti 2010).
16. <https://whc.unesco.org/en/list/1624/>
17. Il *Manifesto sulla transdisciplinarietà* fu elaborato e poi pubblicato nel 1994 ad opera di Basarab Nicolescu, Edgar Morin e Lima de Freitas (primo Congresso Internazionale della Transdisciplinarietà, Convento di Arrabida, Portogallo). Le versioni italiana e francese sono state pubblicate in (Nicolescu, 2014), una recente raccolta di scritti su questo approccio è edita in (Ruta 2021).
18. Tutti hanno pubblicato gli atti dei lavori che sono individuabili attraverso il titolo dell'iniziativa.
19. Ringrazio per i preziosi e originali contributi le persone che nel tempo si sono avvicinate nel gruppo di ricerca e, in particolare, Uliva Velo, Stefania Iurilli, Gaia Lavoratti, Stefano Giannetti. Ringrazio Marco Bertozzi e gli astronomi Elio Antonello, Fabrizio Bònnoli e Vito Francesco Polcaro, per aver condiviso con me l'elaborazione di diversi lavori scientifici. Nella seconda parte di questo scritto verranno elencate alcune ricerche già editate con lo scopo di declinarne gli aspetti relativi alle categorie UNESCO. Le auto-citazioni hanno dunque la funzione di richiamare le singole esperienze a cui si rimanda per approfondimenti sul tema.
20. Queste fasi, qui integrate, sono state esposte anche in (Incerti, D'Amico, Giannetti, Lavoratti, Velo 2018).
21. La scoperta di effetti ierofanici, legati alla luce nelle architetture preistoriche, antiche o moderne, sono oggi

24. Salone dei Mesi di Schifanoia, il primo decano del mese di Marzo (foto di A. Cesari, Bologna).



24.

- numerosissimi e in continua espansione. Questi fenomeni erano collegati alla dimensione culturale dei luoghi, e gli esiti di queste ricerche sono presentati annualmente nei maggiori convegni nazionali e internazionali.
22. Il software per desktop open source *Stellarium* (<https://stellarium.org>) è stato arricchito negli ultimi anni principalmente da George Zotti per soddisfare i requisiti di accuratezza necessari agli studi di astronomia culturale come la ricreazione accurata di viste storiche del cielo, ma anche viste di modelli 3D georeferenziati di edifici e siti archeologici sotto il cielo, inclusa la simulazione di luci e ombre (Zotti, Hoffmann, Wolf, Chéreau, Chéreau 2020).
 23. Si vedano ad esempio (Bartoli 2010; González-García, Magli 2015; Incerti 1999; Magli 2008, Romano 1995).
 24. I tre trattati *Algoritmus*, *De Sphaera* e *Computus* (gli unici a lui attribuiti con certezza) furono quasi certamente scritti come sussidio alle sue lezioni universitarie. In particolare il *De sphaera*, scritto intorno 1230 circa, ebbe una enorme diffusione, così come testimoniano i numerosi commentari stesi già a partire dalla fine del XIII secolo. La prima stampa è del 1472, anno in cui si pubblicarono una edizione a Venezia ed una nella Ferrara del Duca Ercole I (Venturi 2010).
 25. Si rimanda a (Dekker 2013; Grimaldi 1905; Gundel 1992).
 26. La direzione solstiziale è quella segnata dalla levata nel solstizio invernale il tramonto solstizio estivo (molto accurato sullo spartito architettonico del rosone); i due segni-limite del circolo zodiacale, Cancro e Capricorno sono rispettivamente posizionati verso l'abside e verso la porta.
 27. Lo schermo touch è oggi posizionato in una sala che precede il Salone nei Mesi, a disposizione dei visitatori. Gruppo di ricerca: Angelo Andreotti, Marco Bertozzi, Manuela Incerti, Stefania Iurilli, Giovanni Sassu; Modelli 3D Video e Interattività: Stefania Iurilli, Dario Arnone; Fotografie, Settori marzo-settembre: Antonio Cesari, Settori ottobre-febbraio: Archivio Musei di Arte Antica di Ferrara, Ghiraldini-Panini; Voce narrante: Paolo Marchetti; Coordinamento Scientifico: Manuela Incerti.
 28. Cliccando sulle aree si attivano i contenuti resi disponibili attraverso dei video-racconti con base musicale Si veda (Incerti, Iurilli 2018). In totale sono disponibili 60 video (5 per ciascuno dei 12 settori dipinti) della durata massima di circa 2 minuti. I testi sono stati scritti prevalentemente da Marco Bertozzi, mentre le immagini utilizzate per la creazione dei video sono state prodotte dal fotografo Antonio Cesari (Bologna). L'approfondimento possibile è diverso a seconda dello stato di conservazione dei reperti: gli affreschi conservati dalle intese cromie (marzo, aprile, maggio, giugno, luglio, agosto settembre) inevitabilmente hanno una descrizione più esaustiva rispetto ai dipinti perduti ed oggetto di alcune ipotesi ricostruttive (in bianco-nero e a colori) opera dell'artista Maurizio Bonora.
 29. Sul tema della sostenibilità e astronomia culturale si vedano (Antonio César González-García, Belmonte 2019; Urrutia-Aparicio et al. 2022).

Bibliografia

- Aa.Vv. (1995). *Archeologia e astronomia: esperienze e prospettive future*. 1° Convegno internazionale di Archeologia e Astronomia. Atti dei Convegni Lincei 121. Roma: Bardi Edizioni.
- Aa.Vv. (1998). *Archeoastronomia, credenze e religioni nel mondo antico*. 2° Convegno internazionale di Archeologia e Astronomia. Atti dei Convegni Lincei 141. Roma: Bardi Edizioni.
- Aa.Vv. (2001). *L'uomo antico e il cosmo*. 3° Convegno internazionale di Archeologia e Astronomia. Atti dei Convegni Lincei 171. Roma: Bardi Edizioni.
- Bartoli M. T. (2010). In forma dunque di candida rosa. Un disegno gotico per Firenze. In Incerti, M. (a cura di), *Mensura caeli, territorio, città, architetture, strumenti*, pp. 63–74. Ferrara: UnifePress.
- Belmonte J. A., Sanabria J. C., Gil J. C., de León J., Marín C., Ruggles C. L. (2018). The cultural landscape 'Risco Caído and the sacred mountains of Gran Canaria': a paradigmatic proposal within unesco 'Astronomy and World Heritage' initiative. In *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, n. 18 (4 Special issue), pp. 377–385.
- Bertola F. (2001). Introduzione. In *L'uomo antico e il cosmo*. 3° Convegno internazionale di Archeologia e Astronomia. Atti dei Convegni Lincei 171, pp. 7–8. Roma: Bardi Edizioni.
- Bertola F., Incerti M. (a cura di). (2016). *Atti dei Convegni Lincei, 288. Lo sguardo sugli Astri. Scienza, cultura e arte. Convegno organizzato dal Centro Linceo Interdisciplinare 'Beniamino Segre' in collaborazione con: Istituto Nazionale di Astrofisica, Società Italiana di Archeoastronomia, Soci. Lo sguardo sugli Astri. Scienza, cultura e arte*, Vol. 288. Roma: Bardi Edizioni.
- Bertozzi M. (1999). *La tirannia degli astri: gli affreschi astrologici di Palazzo Schifanoia*. Livorno: Sillabe.
- Dekker E. (2013). *Illustrating the phenomena: celestial cartography in antiquity and the Middle Ages*. Oxford University Press.
- Farroni L. (2019). *L'arte del disegno a Palazzo Spada l'Astrolabium catoptrico-gnomonicum di Emmanuel Maignan*. Roma: De Luca.
- González-García A. César, Magli G. (2015). *Roman City Planning and Spatial Organization*. In Ruggles, C. (a cura di), *Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy*, pp. 1643–1650. New York: Springer. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6141-8_164.
- González-García Antonio César, Belmonte J. A. (2019). Archaeoastronomy: A Sustainable Way to Grasp the Skylore of Past Societies. In *Sustainability 2019*, Vol. 11, (8), 2240, pp. 1-17. doi.org/10.3390/SU11082240.
- Grimaldi A. (1905). *A catalogue of zodiacs and planispheres: originals and copies, ancient and modern, extant and non-extant, from B.C. 1320 to A.D. 1900*. (2003). London: Gall & Inglis.
- Gundel H. G. (1992). *Zodiakos: Tierkreisbilder im Altertum*. Mainz am Rhein: Philipp von Zabern.
- Incerti M. (1999). The Urban fabric of Bologna: orientation problems. In *Transformations of urban form from inter-*

- pretations to methodologies in practice*, Vol. 1, p. FM1.3-FM1.6. Firenze: Alinea.
- Incerti M. (2010). *Heritage Sites of Astronomy and Archaeoastronomy in the context of the UNESCO World Heritage Convention. A Thematic Study*. In Cotte, M. and Ruggles, C. (a cura di), pp. 180–184. Paris: International Council on Monuments and Sites (ICOMOS) and IAU.
- Incerti M. (2013). Lo sguardo di San Miniato al Monte in Firenze. In *Il dentro e il fuori del cosmo Punti di vista per interpretare il mondo Atti del XI Convegno Società Italiana di Archeoastronomia*, pp. 113–123. Bologna: Bononia University Press.
- Incerti M. (2022a). Dal rilievo all'analisi di superfici complesse: il caso della pseudo-cupola di Galla Placidia. In *Archeologia e Calcolatori*, n. 33 (1), pp. 55–72.
- Incerti M. (2022b). La proiezione centrale come sistema di tracciamento sulle pseudo-cupole del V secolo. In *43° Convegno UID 2022 "Dialoghi"*. Franco Angeli (in corso di stampa).
- Incerti M., Giannetti S. (2020). La cupola di Galla Placidia e il suo cielo stellato: geometrie, modelli e tracciamenti The dome of Galla Placidia and its starred sky: geometries, models and tracings. In *Disegnare, Idee, Immagini*, n. 60, pp. 38–49.
- Incerti M., Iurilli S. (2018). Architettura e immagini della delizia estense di Schifanoia: la complessità dei contenuti attraverso il digitale. Architecture and images of Schifanoia's Este delight: the complexity of content through digital media. In Salerno, R. (a cura di), *Rappresentazione materiale/immateriale - Drawing as (in) tangible*, pp. 639–646. Roma: Gangemi.
- Incerti M., Lavoratti G. (2016). All'origine della forma: misura e numero nel Mausoleo di Teodorico. The origins of form: measurement and numbers in Theodoric's Mausoleum. In Bini, M. and Bertocci, S. (a cura di), *Le ragioni del disegno. Pensiero, Forma e Modello nella Gestione della Complessità/ The reasons of Drawing. Thought, Shape and Model in the Complexity Management*, pp. 389–394. Roma.
- Incerti M., Lavoratti G., D'Amico S. (2020). Gli strumenti della rappresentazione per l'astronomia culturale: il caso del Mausoleo di Galla Placidia. In *Ex Oriente: Mithra and the others. Astronomical contents in the cults of Eastern origin in ancient Italy and Western Mediterranean*.
- Incerti M., Lavoratti G., D'Amico S., Giannetti S. (2018). The Mausoleum of Galla Placidia in Ravenna: archaeoastronomy, numbers, geometry and communication. In *Mediterranean Archaeology & Archaeometry. International Scientific Journal*, n. 18 (4), pp. 181–189.
- Incerti M., Lavoratti G., Iurilli S. (2019). *The Mausoleum of Theodoric: Archaeoastronomy, Numbers, Geometry and Communication*. In Magli, G., González-García, A. C., Belmonte Aviles, J., and Antonello, E. (a cura di), *Archeoastronomy in the Roman World*, pp. 169–186. Springer. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-319-97007-3_11
- Incerti M., Polcaro V. F., Bònoli F. (2011). Transient Astronomical Events as Inspiration Sources of Medieval and Renaissance Art. In Corsini, E. M. (a cura di), *Proceedings of The Inspiration of Astronomical Phenomena VI. October 18–23, 2009 Venezia, Italy. ASP Conference Series*, Vol. 441, pp. 139–148. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific.
- Magli G. (2008). On the orientation of Roman towns in Italy. In *Oxford Journal of Archaeology*, n. 27 (1), pp. 63–71.
- Nicolescu B. (2014). *Il manifesto della transdisciplinarietà*. Messina: Armando Siciliano.
- Romano G. (1994). *Archeoastronomia italiana*. Padova: Edizioni CLEUP.
- Romano G. (1995). *Orientamenti ad sidera. Astronomia, riti e calendari per la fondazione di templi e città. Un esempio a Ravenna*. Ravenna: Edizioni Essegi.
- Romano G. (1999). *I Maya e il cielo: astronomia, cosmologia e matematica maya*. Padova: Cleup.
- Ruggles C. L. N. (2015). *Handbook of archaeoastronomy and ethnoastronomy. Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy*. New York: Springer.
- Ruta G. (a cura di). (2021). *Le scienze: dentro, 'a confine', ed oltre...: inter- e transdisciplinarietà: condivisione per una possibile convergenza*. Roma: Editrice LAS.
- Urrutia-Aparicio M., Belmonte J. A., González-García A. C., Urrutia-Aparicio M., Belmonte J. A., González-García A. C. (2022). Land- and Skyscapes of the Camino de Santiago: An Astronomy and World Heritage Sustainable Approach. In *Sustainability 2022*, Vol. 14, (5), 3047.
- Venturi G. (a cura di). (2010). *De Sphaera. Commentario all'edizione in facsimile del codice miniato a.X.2.14 = lat. 209 della Biblioteca estense universitaria di Modena*. Modena: Il Bulino.
- Warburg A. (1999). Arte italiana e astrologia internazionale nel Palazzo Schifanoja di Ferrara. In Bertozzi, M. (a cura di), *Tirannia degli astri: Aby Warburg e l'astrologia di Palazzo Schifanoia*, pp. 81–112. Livorno: Sillabe.
- Zotti G., Hoffmann S. M., Wolf A., Chéreau F., Chéreau G. (2020). The Simulated Sky: Stellarium for Cultural Astronomy Research. In *Journal of Skyscape Archaeology*, n. 6 (2), pp. 221–258–221–258.

Architecture and astronomy: the role of drawing

Manuela Incerti

Key words
Drawing
Architecture survey
Cultural astronomy
Digital modeling
Multimedia communication

The evolution of a research field

The reconstruction of the main steps of the development of the theme of *heritage and astronomy* can be no easy task, especially due to the high number of involved associations, events, and scholars, whose scientific production has exponentially increased over the last thirty years. However, it is necessary to attempt a synthetic outline, to evaluate the state of the art and individuate possible developments. In the framework of Italian research, the foundational moments are certainly the International Lincean conferences, promoted by then-President Sabatino Moscati. As recalled by Francesco Bertola (Bertola 2001, p. 8), that kick-started to this interdisciplinary activity, participated by the members of both the Classes of the Academy, Physical Sciences and Moral Sciences. The titles of the meetings — *Archeologia e Astronomia, esperienze e prospettive future* (1st conference, 1994), *Archeoastronomia, credenze e religioni nel mondo antico* (2nd conference, 1997), and *L'uomo antico e il cosmo* (3rd conference, 2000)¹ — show that the main impulse derived from a meeting point between archaeology and astronomy, and from the need for a preliminary definition of the scopes and methods of archaeoastronomy, which started spreading in Italy thanks to some astronomers, such as Giuliano Romano². The second conference already precluded an opening of the following Scientific committees to other historical periods, as it included contributions concerning the Medieval and modern periods, architecture, and themes that were not exclusively related to astronomical orientations. In the 2000 roundtable (Aa.Vv. 2001, p. 408), Margherita Hack strongly stressed the importance of archaeoastronomy in base education — yet highlighting the possible difficulties in interdisciplinary research — to individually

discover and experience ancient people's knowledge path: from the pure sensorial datum (the vision of celestial movement) to theoretical abstraction (interpretation of bodies and motions). She referred to the development of human thinking (in particular, geometric thinking), which owes a lot to the observation of astronomical phenomena and their tentative interpretations since the dawn of civilization, as it is well-known.

Near the end of the 3rd conference, the *Società Italiana di Archeoastronomia* (SIA) was presented. It was founded in Milan in December 2000³, in order to start publishing the *I Rivista Italiana di Archeoastronomia*, directed by the lincean Gustavo Traversari⁴. Moreover, annual National SIA Conference, which are still being held, were announced.

The last conference dates back to 2012. It was entitled *Lo sguardo sugli astri. Scienza Cultura Arte* (*The gaze on the stars. Science, Culture, and Art*) (Bertola, Incerti 2016), and organized by the Interdisciplinary Lincean Center Beniamino Segre, promoted by the members of two university departments (Department of Astronomy in Padova and Department of Architecture in Ferrara), in collaboration with INAF (*Istituto Nazionale di Astrofisica*), SIA (*Società Italiana di Archeoastronomia*) and SAIIt (*Società Astronomica Italiana*). There, Elio Antonello took stock of the situation since the first lyncean conferences, with an in-depth reflection on the theme of interdisciplinarity (Bertola, Incerti 2016).

Some relevant contributions to the debate were authored by researchers of INAF (among which the enlightening figure of Francesco Maria Polcaro, who has recently disappeared) and of the ancient scientific association *Società Astronomica Italiana* SAIIt (formerly *Società degli Spettroscopisti*, 1871), founded in 1920 and renovated in 1993⁵. Under Roberto Buonanno's direction, the SAIIt curated the edition of *Memorie della Società Astronomica Italiana*⁶ and *Giornale di Astronomia*, published first in 1975 as the “journal of information, culture and didactics of the Italian Astronomical Society”⁷. One more key actor is the *Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia* (1999, formerly *Società Italiana degli Storici della Fisica*), an association that promotes studies in History of Physics and Astronomy, pursues the safeguard, valorization, and public fruition of the wide historical-scientific heritage: scientific tools, historical archives and library collection⁸. Moreover, this theme has also sensitized the *Consiglio Nazionale delle Ricerche* (*National Research Council*), the *Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale* (with Paola Moscati as Research Director), and ENEA, which instituted the *FSN-FUSPHY-SAD Department* (Physical Division of Fusion).

Research activities in this field are not only carried

1. Web portal of the UNESCO Astronomy and World Heritage thematic initiative.
2. Workflow diagram (Image by S. Iurilli, reworked by M. Incerti).
3. Mausoleum of Theodoric, drawing of the material characteristics of the West elevations and of the section, from digital photogrammetry and laser scanner survey (G. Lavoratti, M. Incerti).
4. Mausoleum of Theodoric: survey plan at + 1.20 meters (by G. Lavoratti) with metric and geometric analysis of the figure (M. Incerti).

out by professional researchers from universities or research centers, but also by several independent scholars. Among the excellent works, it is necessary to mention the activities of the Italian gnomonists, a very specialized institution, which has published journals such as *Gnomonica Italiana* and *Orologi Solari*. In this volume, they are represented by Mario Arnaldi⁹.

On the international field, there are several Scientific Societies that regularly organize conferences and workshops:

- The *European Society for Astronomy in Culture*, SEAC, was founded in 1992 and is directed by A. César González-García (Spain). It is a professional association composed by scientists who work in the field of cultural astronomy or anthropological astronomy, including the interdisciplinary disciplines of archaeoastronomy and ethnoastronomy, history of astronomy, mythology, spatial astronomy, and cosmology. They publish conference proceedings since 1993¹⁰ and have now reached the 29th edition.
- The wide cycle of international conferences *The Inspiration of Astronomical Phenomena*, INSAP, originated in 1994 from an idea by Ray White (University of Arizona), Fr. George Coyne (then-Director of the Vatican Specola), and Rolf Sinclair (then-member of the US National Science Foundation), starting from the theme “If the stars should appear one night in a thousand years”¹¹.
- The *International Society for Archaeoastronomy and Astronomy in Culture*, ISAAC, was founded in 1996 and its current President is Jarita Holbrook (University of Edinburgh). The society has a transcontinental scope, and since its foundation, its interests involve both archaeoastronomy and ethnoastronomy¹².

A fundamental step in the development of this research was 2003, the year in which the UNESCO World Heritage Center has started the thematic initiative *Astronomy and World Heritage* coordinated by Anna Sidorenko-Dulom¹³. Shortly after, at the inauguration of the International Year of Astronomy (IYA09, Parigi 2009), one more operational work on the procedures and the praxis to define this new typology of preservation. The core of its action is the need for the elaboration of conjunct research lines between the diverse fields of historical sciences and physical sciences. One of the main objectives is to gather as many data as possible, not only to broaden the horizon of knowledge, but also to improve preservation and promote sites and monuments with astronomical interest. The UNESCO project has been elaborated in concert with the Member States and ICOMOS. Currently, also the International Astro-

nomical Union and its Commission 41 in History of Astronomy collaborate on it¹⁴. The last meeting was in 2018 in Gran Canaria (Spain); that was the *International Expert Meeting on Astronomical Heritage and Sacred Places* and led to the first UNESCO recognition of a site in *Astronomy and World Heritage* (Risco Caído and the sacred mountains of Gran Canaria)¹⁵, followed by the area of Chankillo in Peru¹⁶.

UNESCO experts have established four categories for the astronomical heritage, to allow easier orientation among the existing possibilities [fig. 1]:

- *Tangible Fixed Monument and sites*
- *Tangible movable Instruments and artifacts*
- *Intangible Knowledge and Ideas*
- *Natural Landscapes and skies*

It can be meaningful to remember that, during the years of the development of this research field, UNESCO also promoted the project *Transdisciplinarity: stimulating synergies, integrating knowledge* (1998): an approach that “dissolves the boundaries between the conventional disciplines and organizes teaching and learning around the construction of meaning in the context of real-world problems or themes” (ongoing project)¹⁷. The overall picture of the international and national scenario is compounded by the single research lines in our disciplinary sector ICAR 17 – Drawing (as also proven by the essays in this volume), promoted through national and international workshops and conferences, coordinated by some professors of this area¹⁸:

- *Imago rerum/03, Seminario Internazionale di studi Tra luce e ombra*, Venice, 2004 (organized by Agostino de Rosa);
- *Cielo dal mediterraneo all'oriente, VI Forum Internazionale di Studi - Le Vie dei Mercanti*, Caserta/Capri 2008 (organized by Carmine Gambardella);
- *Mensurā Caeli. Territorio, Città, Architettura Strumenti*, VIII SIA Conference Ferrara 2008 (organized by Manuela Incerti);
- *Disegnare il tempo e l'armonia: il disegno di architettura osservatorio nell'universo*, AED International Conference, Florence 2009 (organized by Emma Mandelli).
- *Il dentro e il fuori del cosmo. Punti di vista per interpretare il mondo*, XI SIA Conference Bologna/Marzabotto 2011 (organized by Manuela Incerti);
- *IX NEXUS International Conference - Relationships between Architecture and Mathematics*, Polytechnic School of Milan 2012 (organized by Michela Rossi, section on archaeoastronomy curated by Giulio Magli);
- *Lo sguardo sugli astri. Scienza Cultura e Arte*, Lincean Academia 2012 (organized by Francesco Bertola and Manuela Incerti).

5. Mausoleum of Theodoric: model and render of the building (S. Iurilli).

6. Mausoleum of Theodoric: some frames of the video with the simulation of the light inside the upper cell (S. Iurilli).

7. Mausoleum of Theodoric: rendering of the building with the simulation of the light inside the upper cell (model by S. Iurilli, management of the model in Stellarium by G. Zotti, data interrogation by M. Incerti).

8. Mausoleum of Galla Placidia: plans and elevations with integrated survey (G. Lavoratti, M. Incerti).

The role of drawing: a methodological approach

The outlined course of events and their protagonists allow understanding how the UNESCO categorization of this theme in four areas of interest has led to the expansion of the horizon of this field and the progressive incorporation of new research areas.

The curiosity on the influence of astronomical phenomena on material and immaterial culture has progressively led to the articulation of our research sector into the study of *monuments and sites, tools and artifacts, history of knowledge and ideas*, and finally the reflection on the perceptive aspects produced by the *landscape-sky* relationship. “History of representation, (historical and contemporary) geometry, gnomonic, survey, data analysis, modeling, reverse modeling, drawing and digital graphic, communication and multimedia products, image analysis” are only some of the keywords employed by the community of drawing. New digital tools for survey and data management, which have had an exponential development in the last twenty years, have allowed us to query objects in effective and powerful modalities, contributing to the development of the theme and achieving deeply original and interesting results.

However, I think that it is necessary to discuss three crucial points, so that Drawing will be able to provide an innovative contribution to research on astronomical heritage.

First, it must be acknowledged that actions can be performed both on the foundations and on the applications of this research field. These latter are realized through methods and processes established by predecessors. This substantial difference must allow distinguishing between the opening of a new research line and the replication of routes for the optimization or the systematization of procedures.

Secondly, each of us has experimented the complexity of this type of specialized research: base knowledge on spherical astronomy is not enough, as it must be compounded with knowledge on the astronomical, astrological, calendrical, and gnomonic culture of the historical period (pre-history, ancient age, Middle Ages, modern age, contemporary age) of constructions of each artifact with astronomical value, to contextualize their meaning and highlight their value. For this reason, since the dawn of the first scientific societies, the organization of conferences and publications on this theme has always kept a firm multi-disciplinary structure, as it has happened in this workshop.

The last item concerns linguistic rigor, which represents an additional, important area for reflection, and must be managed with great attention, considering the need to keep together different knowledge, such as, for example, descriptive geometry, gnomonic, and astronomy.

Workflow phases

The various field experiences of the last years¹⁹, carried out on often unexplored boundaries, have allowed reflecting on these epistemological aspects, and elaborating a suitable workflow for the specific goals of knowledge, valorization, and dissemination. On this regard, Figure 2 reports an outline of the spatial and temporal relationships between the different phases, and the related connections, which can be articulated as follows²⁰:

1. Data acquisition. Data collection with an integrated survey campaign (laser scanning, general photographic campaign, photographic shots for digital photogrammetry, archaeoastronomical orientation), and search for historical, bibliographic, and iconographic data.
2. Data processing. Data treatment and extraction, aimed to 2D output and to their realization, construction of the orthophoto database and of the textures for material visualization. Selection and elaboration of textual and iconographic data for critical analysis.
3. 2D data analysis. Formulation of initial interpretative hypotheses on form, geometry, measurement units and astronomical implications, when present: initial verification are carried out based on CAD drawings.
4. Data extraction for model construction. 2D data are optimized for the realization of the various 3D model.
5. 3D modeling and data optimization. Optimized models are produced for the various research purposes: from critical interpretation to dissemination.
6. Data analysis and verification on 3D models. Geometrical study, reverse modeling, rendering. Some aspects of the verification, such as the study of the projective reasons of the starry sky in Galla Placidia, or the existence of luminous effects with archaeoastronomical values inside the two buildings, are also supported by the possibility of modeling and rendering engines to simulate light paths at the time of their construction.
7. 3D model integration with astronomical software: the case of *Stellarium*.
8. Editing and multimedia production. Study videos are made available to the public through a suitable interface, which can provide simplified fruition of scientific contents.
9. Editing and application development. Development of interactive applications as top communication products, to engage visitors by making them protagonists of their knowledge experience.

The repercussion of these actions on the four groups of areas of interest, according to the UNESCO subdivision,

9. Mausoleum of Galla Placidia: simulation of the light on the ancient floor located at -1.40 m with respect to the current position (S. Giannetti).

10. Pseudo dome of Galla Placidia: the colored curves above the arches are those selected for the geometry analysis.

11. Analysis of the geometry of curves in Geogebra.

12. Finaeus Orontius, 1544. Orontii Finaei Quadratura circuli, tandem inuenta & clarissimè demonstrata. Lutetiae Parisiorum: apud Simonem Colinaeum, p. 84.

13. View of the pseudo dome of Galla Placidia: in evidence the “festonato” pattern of the space curves that follow the arrangement of the circles of stars in the mosaic.

14. Orthogonal views of the pseudo dome of Galla Placidia. Below the sequence of cones which, intersected with the surface, generate the space curves that describe the pattern of the circles of stars.

and in particular on the first three (monuments and sites, tools and artifacts, and history of knowledge and ideas) can be better described through some previously completed case studies.

Monuments and sites

The archaeoastronomical analysis of a monument must necessarily start from architectural survey, carried out according to the shared and consolidated methods of this scientific sector. The survey of the elements with an astronomical meaning (windows, small openings, doors, altars)²¹ must be carried out with strong attention. The survey of the orientation, through classical techniques (that are astronomical) or GPS, when accurately performed, allows viewing the difference between the theoretical and the real measurement, as contemporary tools are far more sophisticated than those available in ancient construction sites.

Laser scanning and photogrammetric surveys were performed in both mausoleums in Ravenna, Theodoric (520) and Galla Placidia (432-450). Then, the processed data allowed extracting useful elements for orthogonal views (floor plans, elevations, and sections) [fig. 3-4] and 3D modeling. 2D data analysis allowed identifying hidden geometries, such as the three circumferences circumscribed to the decagons of radius 45-35-25 Byzantine feet in the Mausoleum of Theodoric [fig. 4], significant alignments with morphological elements and light effects in particular dates of the astronomical year, involving the upper level (Incerti, Lavoratti 2016; Incerti, Lavoratti, Iurilli 2019).

Great attention must be obviously paid to calendrical aspects in relation to the age of the building (Julian, Gregorian, liturgical dates), the time counting system, and the evolution of the building. The use of 3D models (realized with surface modelers) allows, first, repeating the same analyses carried out on 2D models as a verification (paying opportune attention to the calendrical aspects of the software). Then, they are also useful for the realization of videos for multimedia products, serving for the dissemination of very complex contents, which can be made much simpler by using moving images [figg. 5-6]. Importing an optimized and correctly oriented model onto the *Stellarium* software²² also allows a further level of verification of astronomical data [fig. 7].

The same workflow has also been implemented for the Mausoleum of Galla Placidia: survey, data processing, drawings [fig. 8], analysis of the geometries and orientations that allow formulating hypothesis of an archaeoastronomical reason for the reciprocal rotation of the two arms of the Latin cross and some light effects. The construction of 3D model of the initial layout of the place (the floor was around 140

cm lower) allows visualizing the light effects [fig. 9] on the entrance door on the winter solstice (Incerti, Lavoratti, D'Amico 2020; Incerti, Lavoratti, D'Amico, Giannetti 2018).

Advanced morphological and material 3D surveys also allowed analyses that were not possible with traditional methods. The apparently irregular pseudo-dome of Galla Placidia has a parallelogrammatic impost, and cannot be reconducted to revolved curves, nor to a rib vault or a cloister vault. The section of the survey mesh, characterized by a bundle of horizontal planes with a span of 10 cm shows a set of curved lines, all differing from each other, which appear to be connected by an unusual rule [fig. 10]. A preliminary analysis allowed detecting that it is composed by portions of hyperboles, that are hard-to-trace curves, especially in a building construction site [fig. 11]. This led to hypothesize the existence of a construction machine based on the principle of the perfect compass (though it was codified in the 10th century, its theoretical foundations had already been enunciated in Book I of Apollonius's *Conics*) and on the angle measurement proposed by Ptolemy with a *triquetrum*, an astronomical tool that makes use of the *table of chords* (conceived by Ptolemy as well) [fig. 12]. This hypothetical reconstruction also seems compatible with the curves that appear in the section of the surface of the pseudo-dome of Santa Maria di Casaranello (Lecce, 5th century) (Incerti 2022a). Finally, it is useful to mention the geometries and orientation of urban layouts, whose form can withhold reflection on the dimension of the sky²³.

Tools and artifacts

Even artistic aspects, such as the layout of a starry sky, can be subjected to new interpretations through the potential of drawing. At Galla Placidia, even though the stars are apparently arranged in regular circumferences lying on parallel planes, their alignments follow a "festonato" (space curve) pattern. This form results from an operation of projection on the surface of the roof from a central point that is located around the height of the base of the windows. The geometry underlying these traces is based on a series of cones with progressively increasing vertex angles, whose representation is allowed by the practical knowledge on the *triquetrum* and *table of chords* [figg. 12-14]. The same principle underlies the trace of the starry sky of Casaranello (Lecce, 5th century) [fig. 15-16] and the Chapel of Peace in the early Christian Necropolis of el-Bagawat (Egypt, 5th century) (Incerti 2022b; Incerti, Giannetti 2020).

Knowledge and ideas

The capacity to decodify a drawing through the skills of this sector allows providing an original contribu-

15. Pseudo dome of Santa Maria di Casaranello (LE: views of the model elaborated with digital photogrammetry. On the left, above, the cones with a vertex angle of 80° which, intersecting the surface, generate the space curves of the decorative design.

16. The mosaic starry sky of the pseudo-dome of Santa Maria di Casaranello (Le), (photo by G. Martiriggiano).

17. The geometric explanations of the eclipse, problems of visibility due to the sphericity of the earth in the *Sphaera coelestis et planetarum descriptio*, Modena, Biblioteca Estense Universitaria, lat. 209 = Alpha.X.2.14, c. 2v. Courtesy of the Ministry of Culture - Estense Galleries, Estense University Library.

18. Example of a planisphere: Bern, Burgerbibliothek, Cod. 88, f. 11v, *Aratus - Germanicus: Phaenomena*, (beginning of the 11th century, <https://www.e-codices.ch/en/list/one/bbb/0088>). Courtesy of Burgerbibliothek.

19. Example of two hemispheres: *Aratea*, St. Gallen, Stiftsbibliothek, Cod. Sang. 902 p. 76, Latin version of Arato (first quarter-first half 9th century). Courtesy of the Stiftsbibliothek St. Gallen.

tion by relating finds to the scientific knowledge and ideas that have produced them. It is the case of the astronomical tables of *De sphaera estense*, a manuscript written in the late 15th century, consisting of loose drawings with synthetic captions but without bibliographic references. Comparative analysis allowed identifying *Tractatus de Sphaera* by Johannes de Sacrobosco²⁴ as a possible source of the astronomical-cosmological tables of this essay [fig. 17], while the diagrams can be traced back to *Computus*. In this case as well, drawing is a powerful tool to investigate celestial representation models. Specifically, concerning the medieval Zodiac, according to experts its representations belong to three main typologies: the planisphere [fig. 18], the two hemispheres [fig. 19] and the zodiac circle [fig. 20] that surrounds the Sun, the Moon, or other figures²⁵. The zodiacal belt rotates from East to West (clockwise) around the Earth at a speed of 0.25°/min, hence completing a rotation every twenty-four hours. However, its planimetric representation can produce more than two different types of orientation: clockwise, if the viewpoint is in the center of the sphere, and counterclockwise, if the viewpoint is external to the celestial sphere. Of course, in the Farnese Atlas (National Archaeological Museum of Naples, 2nd century AD) the Zodiac is represented as seen “from outside”, while in many other cases, especially from the Middle Ages, the sequence of signs moves clockwise. The mosaic on the floor of San Miniato al Monte, a monument with strong archaeoastronomical evidence, also confirmed by spectacular light events, is the case. The representation on the great rose window follows the direction of a solstice axis²⁶ and the zodiac circle is part of a wide iconographic, probably accounting-calendrical tradition [fig. 21], in which classical culture is transfigured into Christian symbolism (Incerti 2013).

Two more items need to be mentioned: one is on the theme of elementary geometry in support of iconography, as a tool for the interpretation of the decorative apparatuses of starry skies (detail and structure), while the other concerns the influence of astronomical phenomena on artworks. A statistical analysis reports that the arrival of some astonishing astronomical events in some historical periods has indeed produced an increase in the number of representations of the star within the story of the Magi, and, in some cases, emphases on visual perceptive data in representations (Incerti, Polcaro, Bònoli 2011).

Conclusions

As shown by some essays in this volume, the intangible astronomical heritage has been represented in artistic artifacts in several ways. The valorization and communication of this type of contents can be quite difficult and complex, due to their abstraction and

heterogeneity. However, the contribution of drawing can make a difference.

A specific multimedia product [figg. 22-23], based on a real-time navigable and queryable model that visitors can use through a touch screen, has been developed for the Schifanoia Museum in Ferrara. The complexity and information stratification of the pictorial cycle of the *Hall of Months* (1469-70) (Bertozzi 1999) has always been an obstacle to the narration of the cultural, geographic, and iconographic route of its astrological images [fig. 24]. For this reason, it was decided to develop an easily usable product, which can be accessed through an on-site device, available to users²⁷. Thanks to a navigable model with specifically realized high-detail photographic textures, users can freely move in the virtual space and query images. In fact, when approaching one of the twelve sectors, a luminous frame activates and signals the existence of explorable contents²⁸.

This example shows that *digital humanities* can really improve the accessibility and fruition of heritage in a sustainable logic, that is to protect it from intensive exploitation (for example, by reducing visitors' permanence in spaces where human presence produces more decay), making it more understandable and inclusive at the same time. The goal is to increase the scope of the possible public, and at the same to increase transmittable contents, easing their obtainment. In this perspective, digital documentation, analysis, and communication have a substantial role in the challenge of sustainability²⁹.

In conclusions, the reflections above, which in many cases derive from personal experience, propose a viewpoint on the theme *cultural heritage and astronomy*, on its state of the art, articulating it according to the specific discipline of Drawing. This research field is experiencing wide expansions, but at the same time is characterized by huge complexity, which requires both rigor and capability to find synergies with other skills, which cannot be overlooked for real knowledge expansion.

Aby Warburg (Hamburg 1866 - there 1929), who rediscovered and decoded the mysterious figures of the deans of Schifanoia (Warburg 1999), supports us in the conclusion of these reflections by witnessing to us how the images — detected or created — are and will be, incessantly, icons full of meanings because they are closely related to the culture and memory of the society that produces them.

Notes

1. The Proceedings of the three conferences have been published in (Aa.Vv. 1995, 1998, 2001).
2. Among his most notable works: (Romano 1994, 1995, 1999).
3. Professor Gustavo Traversari and his colleagues Prof. Edoardo Proverbio and Prof. Giuliano Romano have been

20. Example of a zodiacal circle surrounding the Sun and Moon or other figures: *Annales* manuscript - Cod. Hist. fol. 415 fol. 17v (1162), Württembergische Landesbibliothek Stuttgart, Public Domain Mark 1.0.

21. Basilica of San Miniato al Monte, orientation of the floor mosaic. The direction of the rising of the Sun in the winter solstice-sunset summer solstice is characterized by the two limit signs of the zodiacal circle: Cancer (towards the apse, south-east) and Capricorn (towards the door, northwest). The yellow arrow indicates the sign of Aries and the reading direction of the zodiac.

22. The Hall of the Months of Schifanoia, an interactive, non-immersive virtual tour, a multimedia product in use in the Schifanoia Museum. Thanks to the Schifanoia Museum for the kind concession.

23. The Hall of the Months of Schifanoia, Unreal Engine, Epic Games Unreal (3D Models Video and Interactivity: S. Iurilli, D. Arnone).

24. The Hall of the Months of Schifanoia, the first decan of the month of March (Photo by A. Cesari, Bologna).

- the main promoters of this scientific society. President: Edoardo Proverbio, Full Professor of Astronomy, University of Cagliari. Vice-President: Gustavo Traversari, President of CE.VE.SCO. (Venice), Full Professor of Classical Archeology, Ca' Foscari University of Venice, Lincean Academic. Members: Elio Antonello, astronomers, Vice Director of the Brera Astronomical Observatory, Milan-Merate; Francesco Bertola, Full Professor of Astrophysics, University of Padova, Lincean Academic; Pino Calzedda, Researcher at the Cagliari Astronomical Observatory; Vittorio Castellani, Full Professor of Star Physics, University of Pisa, Lincean Academic; Giovanni Lilliu, Emeritus Professor of Archaeology, University of Cagliari, Lincean Academic; Paola Moscati, Researcher at the Institute for Etruscan-Italic Archaeology of CNR; Giuliano Romano, Professor of Astronomical History, University of Padova; Rodolfo Striccoli, Professor of Archaeology, University of Bari; Pasquale Tucci, Full Professor of History of Physics, University of Milan; Nedim Vlora, Professor of Geography, University of Bari.
4. Published between 2002 and 2006 by Edizioni Quasar.
 5. The new statute has been edited by the Ministero per i Beni Culturali ed Ambientali, which oversees the society.
 6. Trimestral journal dedicated to the English publication of conference proceedings and articles on invitation in the field of astronomy and astrophysics. It is probably the oldest journal on astrophysics.
 7. The *Giornale di Astronomia* has been directed by Fabrizio Bònoli for 25 years.
 8. The Conference Proceedings of the Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia have now reached the 40th issue.
 9. In this context, Alessandro Gunnella must be mentioned as well. He authored the Italian translation of the work *Perspectiva horaria, sive de horographia gnomonica*, published in Rome by Emmanuel Maignan in 1648. The book was published as an attachment to some issues of the journal *Orologi Solari* (<https://www.orelogisolari.eu/>). Maria Luisa Tuscano collaborated on the historical research on the Cataoptric Astrolabe of Palazzo Spada, published in the volume by Laura Farroni (Farroni 2019). All the websites in the notes were consulted on 02/06/2022.
 10. <http://www.archeoastronomy.org/content/publications/>
 11. <https://insap.org/publications/>
 12. <https://www.archeoastronomy.org/publications>
 13. <https://whc.unesco.org/en/activities/19/#meetings>
 14. The results of the working group were published in the handbook (C. L. N. Ruggles, 2015).
 15. See (Belmonte et al. 2018). The author participated in this and other meetings of the working group and also collaborated on the *Thematic Studies jointly prepared by ICOMOS and the International Astronomical Union (IAU) Commission C4* (Incerti 2010).
 16. <https://whc.unesco.org/en/list/1624/>
 17. The *Manifesto of Transdisciplinarity* was drafted and published in 1994 by Basarab Nicolescu, Edgar Morin, and Lima de Freitas (First World Congress of Transdisciplinarity, Convento de Arrábida, Portugal). The Italian version is (Nicolescu 2014), and a recent collection of publications on this approach is published in (Ruta 2021).
 18. All of them have published Conference Proceedings with the same name as the events.
 19. I acknowledge the people who have been part of the research group for their precious and original contributions, in particular Uliva Velo, Stefania Iurilli, Gaia Lavoratti, and Stefano Giannetti. I also acknowledge Marco Bertozzi and the astronomers Elio Antonello, Fabrizio Bònoli, and Vito Francesco Polcaro, for sharing with me the elaboration of various scientific works. The second part of this paper reports some published research in order to articulate their aspects with respect to UNESCO categories. Hence, self-citations are meant to recall the single research activities, which are also available for further study on this theme.
 20. These phases, which are here incorporated, have also been presented in (Incerti, D'Amico, Giannetti, Lavoratti, Velo 2018).
 21. The discovery of hierophanic light effects in pre-historic, ancient, or modern architecture has revealed numerous, continuously increasing examples. These phenomena were related to the cultural dimension of places, and the results of these research activities are annually presented at major national and international conferences.
 22. The open-source desktop software *Stellarium* (<https://stellarium.org>) has been enriched over the last years, especially by Georg Zotti, to fulfill accuracy requirements for the studies of cultural astronomy, such as the accurate re-creation of skies of past times, but also geo-referenced 3D model views of buildings and archaeological sites under the sky, including the simulation of lights and shadows (Zotti, Hoffmann, Wolf, Chéreau, Chéreau 2020).
 23. See, for example: (Bartoli 2010; González-García, Magli 2015; Incerti 1999; Magli 2008, Romano 1995).
 24. The three essays *Algoritmus, De Sphaera e Computus* (the only ones to be attributed to him with certainty) were almost surely written as a support to his academic lessons. In particular, *De sphaera*, written around 1230, was widely diffuse, as demonstrated by the numerous commentaries drafted since the late 12th century. The first printing was in 1472, in the same year two editions were published in Venice and in Ferrara under Duke Ercole I (Venturi 2010).
 25. See (Dekker 2013; Grimaldi 1905; Gundel 1992).
 26. The solstice direction is marked by the dawn on the winter solstice and by the sunset on the summer solstice (this is very accurate in the architectural pattern of the rose window); the two opposing signs of the Zodiac circle, Cancer and Capricorn, are positioned toward the apse and the door, respectively.
 27. The touch screen is now located in a room that precedes the Hall of Months, available to visitors. Research team: Angelo Andreotti, Marco Bertozzi, Manuela Incerti, Stefania Iurilli, Giovanni Sassu; 3D Models Video and Interactivity: Stefania Iurilli, Dario Arnone; Photographs, March-September: Antonio Cesari, October-February: Archivio Musei di Arte Antica di Ferrara, Ghiraldini-Panini; Narrating voice: Paolo Marchetti; Scientific coordination: Manuela Incerti.
 28. Clicking on the areas activates the available contents through video stories with musical backgrounds. See

Image p. 156:
The starry mosaic sky of the pseudo-dome of the Mausoleum of Galla Placidia. We thank the Archiepiscopal Curia of Ravenna and Cervia for their kind permission (photo by the author).

(Incerti, Iurilli 2018). There are 60 available videos (5 for each of the 12 painted sectors), with a maximum duration of around 2 minutes. The texts have been mainly written by Marco Bertozzi, while the images used for the videos were taken by the photographer Antonio Cesari (Bologna). The possibilities for in-depth information change according to the state of conservation of the artifacts: frescoes in good state with intense colors (March, April, May, June, July, August, September) of course have a more exhaustive description than lost paintings, for which the artist Maurizio Bonora has realized some reconstructive hypotheses that have been formulated (1992).

29. On the theme of sustainability and cultural astronomy, see (Antonio César González-García, Belmonte 2019; Urrutia-Aparicio et al. 2022).

→ Architettura, geometria e astronomia

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

Esiste un patrimonio culturale tangibile 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.

ISBN: 978-88-3359-488-0