

Eugenia Bordini
**IL CIELO DIPINTO NELLA SAGRESTIA
VECCHIA DI SAN LORENZO A FIRENZE**
La rappresentazione e fruizione virtuale del Patrimonio Culturale



Tesi di Dottorato di Ricerca D.P.R. 11/7/1980 - Ciclo XXXIV - Settore disciplinare ICAR/17



Università degli Studi di Firenze
Dipartimento di Architettura - DIDA
Dottorato di Ricerca in Architettura, curriculum in Rilievo e Rappresentazione
dell'Architettura e dell'Ambiente - ICAR 17

Università degli Studi di Firenze - Dipartimento di Architettura DIDA
Dottorato di Ricerca in Architettura, curriculum in Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente

Tesi di Dottorato di Ricerca D.P.R. 11/7/1980 - Ciclo XXXIV

Coordinatore Prof. Giuseppe DE LUCA

Il cielo dipinto nella Sagrestia Vecchia di San Lorenzo a Firenze

La rappresentazione e fruizione virtuale del Patrimonio Culturale

Settore disciplinare ICAR 17

Dottoranda
Dott. Eugenia BORDINI

Tutore
Prof. Stefano BERTOCCI

Referente del Curriculum
Prof. ssa Barbara ATERINI

Anni 2018/2021

INDICE

Introduzione	9	3. Politiche in materia di digitalizzazione e visualizzazione del patrimonio culturale	71
PARTE I		3.1. Politiche internazionali	71
1. Sistemi di rappresentazione e fruizione del patrimonio culturale: evoluzione di strumenti e tecnologie	15	3.1.1. <i>La Carta di Londra</i>	72
1.1. La valorizzazione del patrimonio culturale	15	3.1.2. <i>I Principi di Siviglia</i>	74
1.2. Evoluzione dei sistemi di rappresentazione e fruizione del patrimonio culturale	21	3.1.2. <i>La situazione europea</i>	75
1.2.1. <i>Dalla parola scritta all'illustrazione</i>	21	3.2. Lo scenario italiano	78
1.2.2. <i>Dalla prospettiva rinascimentale alla riproduzione "meccanica" dell'immagine</i>	27	PARTE II	
1.2.3. <i>Dagli spazi immersivi "analogici" alla realtà virtuale</i>	38	4. Il caso studio della cupola emisferica della scarsella nella Sagrestia Vecchia di S. Lorenzo	85
2. Le Information and Communication Technologies (ICT) e il patrimonio culturale	47	4.1. La fabbrica della Basilica di San Lorenzo	85
2.1. Da <i>Cultural Heritage</i> a <i>Digital Cultural Heritage</i>	48	4.2. La Sagrestia Vecchia di Filippo Brunelleschi	87
2.2. Comunicare il patrimonio culturale attraverso le ICT	50	4.3. La cupola emisferica della scarsella	95
2.2.1. <i>Il digital storytelling</i>	53	4.3.1. <i>Interpretazioni critiche dell'affresco del cielo</i>	98
2.3. Il cambiamento nei contesti espositivi e museali	54	4.3.2. <i>Le rappresentazioni astronomiche tridimensionali: i globi celesti</i>	103
2.3.1. <i>Le tipologie di museo virtuale</i>	61	5. Il rilievo digitale per la documentazione del caso studio	111
2.3.2. <i>Il settore culturale nello scenario post COVID-19</i>	64	5.1. Le campagne di rilievo digitale	112
		5.1.1. <i>La campagna di rilievo laser scanner</i>	114
		5.1.2. <i>La campagna di rilievo fotogrammetrico SfM</i>	116
		5.2. La restituzione grafica e l'analisi morfologica	120

PARTE III

6. Tecniche di ottimizzazione per la creazione di contenuti per scenari virtuali	141
6.1. Dai dati di rilevamento al modello 3D	141
6.2. Il flusso operativo: tecniche di ottimizzazione	142
6.2.1. Rifinitura	145
6.2.2. Decimazione	145
6.2.3. Retopology	147
6.2.4. UV-mapping	149
6.2.5. Baking	151
6.3. I modelli 3D per il Patrimonio Culturale	152
7. Ambienti immersivi per la conoscenza e la comunicazione del patrimonio culturale	157
7.1. Il concetto di “immersività”	158
7.2. Il progetto COSMO	160
7.2.1. La scomposizione dei temi del dipinto	162
7.2.2. La creazione delle animazioni per il popolamento dello scenario	170
7.3. La fruizione virtuale immersiva del progetto: sistemi VR e sistemi di proiezione digitale <i>fulldome</i> in planetario	175
7.3.1. Realtà virtuale: l'ambientazione, le modalità di interazione e l'interfaccia grafica	177
7.3.2. Proiezioni <i>fulldome</i> : tecniche di <i>renderizzazione fisbeye</i>	186
Conclusioni	200
Bibliografia	208
Abstract	220

INTRODUZIONE

Il presente lavoro di dottorato ha indagato il ruolo delle tecnologie digitali (ICT) per la comunicazione e la divulgazione dei beni culturali, affrontando in particolare la tematica relativa alle procedure di acquisizione e produzione di contenuti digitali da impiegare all'interno di scenari immersivi. L'obiettivo della tesi è quello di individuare le tecnologie e le metodologie che entrano in gioco nella realizzazione di un progetto di valorizzazione e che, in virtù del loro elevato tasso di diffusione e di sviluppo, producono dei cambiamenti significativi nelle possibilità di automazione dei processi operativi di acquisizione e al contempo anche nei meccanismi di rappresentazione, fruizione e comunicazione. L'introduzione delle tecnologie digitali nel campo del patrimonio culturale ha segnato l'avvio di un processo di virtualizzazione della conoscenza, sospinto ulteriormente in seguito al *lockdown* causato dalla pandemia Covid-19, che, negli odierni sistemi e spazi digitali, trova una sua dimensione multimediale, virtuale e interattiva. Sfruttare le ICT per la comunicazione del patrimonio contribuisce pertanto ad estendere le possibilità narrative e comunicative a disposizione e l'accessibilità stessa del patrimonio, innescando non solo processi di crescita culturale ma, al contempo, anche una crescita sociale ed economica. Diviene pertanto fondamentale strutturare dei sistemi rappresentativi

basati su attenti processi conoscitivi del bene e del mondo fisico, operando un'accurata "decostruzione" della realtà al fine di "ricostruirla" e presentarla sfruttando le potenzialità fornite dal disegno digitale. La ricerca è articolata in tre parti, nelle quali vengono trattati i principali temi che entrano in gioco nel settore della rappresentazione del patrimonio culturale, le questioni relative alla metodologia di acquisizione e di trattamento del dato e, infine, i sistemi di fruizione virtuale applicati al caso studio della cupola emisferica nella scarsella della Sagrestia Vecchia di San Lorenzo a Firenze.

La **prima parte** introduce le tematiche della ricerca ed è suddivisa in tre capitoli. Il primo, in seguito ad una breve introduzione sul concetto di bene culturale e sulla tematica della valorizzazione, presenta una lettura sull'evoluzione dei linguaggi grafici e degli strumenti per la rappresentazione del patrimonio, evidenziando i principali cambiamenti introdotti dagli sviluppi tecnologici e dalle innovazioni tecniche tanto nelle capacità di conoscere il reale e documentarlo quanto nelle modalità impiegate per la sua comunicazione. Questo ha consentito di tracciare un inquadramento utile ad osservare l'affermarsi di orientamenti e finalità differenti e di identificare i modelli di riferimento che hanno poi influenzato e condotto all'odierna ricerca della tridimensionalità

virtuale e alle visualizzazioni secondo infiniti punti di vista, *real-time* ed interattive.

Il secondo capitolo rappresenta uno stato dell'arte sulle possibilità che le tecnologie ICT offrono per la comunicazione della cultura, presentando un focus sull'analisi di come tali strumenti hanno contribuito al cambiamento dei contesti espositivi e museali, oggi sempre più ibridati con il mondo del digitale. Inoltre, viene realizzata una lettura di alcune esperienze e progetti significativi sviluppati nello scenario nazionale ed internazionale negli ultimi anni, al fine di fornire una panoramica completa sulla situazione attuale.

Il terzo capitolo traccia una delineazione delle linee guida internazionali e nazionali in materia di digitalizzazione del patrimonio culturale, evidenziando quali sono le qualità e le caratteristiche imprescindibili dei contenuti di progetti di visualizzazione digitale contemporanei.

La **seconda parte** apre la trattazione del caso applicativo del lavoro di ricerca e presenta il caso studio della raffigurazione celeste sulla cupola emisferica nella scarsella della Sagrestia Vecchia di San Lorenzo a Firenze, risalente al XV secolo. Questa rappresenta una figurazione dell'emisfero celeste catturato in una particolare congiunzione astrale e raccoglie sulla sua superficie quelle che

erano le conoscenze astronomiche e astrologiche del tempo, configurandosi come un *unicum* nel panorama dell'arte e della scienza rinascimentale.

In seguito ad un breve inquadramento delle vicende storiche e delle interpretazioni critiche dell'affresco, realizzato all'interno del quarto capitolo, viene affrontata nel quinto capitolo la tematica della costruzione del database mediante l'impiego di tecnologie di rilievo digitale integrato.

Le campagne di rilievo della Sagrestia Vecchia si sono inserite in un progetto di ricerca più ampio riguardante l'acquisizione dell'intero complesso di San Lorenzo. Il progetto, svolto a partire da febbraio 2020 in collaborazione con l'Opera Medicea Laurenziana, è stato parte integrante delle attività del Laboratorio di Rilievo dell'Università degli Studi di Firenze, condotto dal prof. Stefano Bertocci, e ha consentito di strutturare le fondamenta scientifiche della presente tesi.

La **terza parte** affronta le tematiche della produzione di contenuti digitali per il progetto di fruizione virtuale ideato in conclusione del presente lavoro.

Nel sesto capitolo vengono affrontati i procedimenti di post-produzione dei modelli 3D e le procedure di ottimizzazione necessarie per il loro impiego in scenari virtuali *real-time*. In particolare, vengono affrontati i procedimenti di decimazione, *retopology* e *unwrapping*

eseguiti sul modello tridimensionale estrapolato dal rilievo digitale. Infine, si riflette sul valore del modello 3D come “strumento” della disciplina della Rappresentazione e sui suoi possibili impieghi per la conservazione, tutela, gestione e valorizzazione del patrimonio culturale.

Il settimo ed ultimo capitolo presenta il progetto virtuale COSMO e indaga l'efficienza degli strumenti digitali di fruizione in relazione al caso studio specifico e alle potenzialità individuate. Il progetto prevede la realizzazione di uno scenario virtuale immersivo animato che permette all'utente di scoprire i contenuti e le tematiche della raffigurazione celeste, attraverso l'interazione con gli *asset* della scena. La fruizione è stata ipotizzata secondo due diverse modalità: mediante sistemi VR, in cui è prevista una fruizione singola ed è presente la componente dell'interattività, e mediante proiezione digitale *fulldome*, sistema già ampiamente impiegato all'interno di planetari digitali per la divulgazione astronomica. Nel primo caso vengono pertanto approfondite le questioni relative alla progettazione dell'ambientazione, alla strutturazione delle narrazioni interattive e alla definizione dell'interfaccia e dello stile grafico del progetto. Nel secondo caso vengono invece brevemente illustrati i sistemi di proiezione impiegati all'interno dei planetari digitali per poi definire le

tecniche di renderizzazione *fish-eye* e di distorsione dell'immagine al fine di permettere la proiezione del “planetario” dipinto attraverso proiettori *fish-eye* o a specchio sferico.

PARTE I



CAPITOLO 1

SISTEMI DI RAPPRESENTAZIONE E FRUIZIONE DEL PATRIMONIO CULTURALE: EVOLUZIONE DI STRUMENTI E TECNOLOGIE

1.1. LA VALORIZZAZIONE DEL PATRIMONIO CULTURALE

«Il nostro patrimonio culturale sono le città in cui viviamo, le chiese in cui entriamo, le case e i palazzi in cui abitiamo o che visitiamo, le nostre coste e le nostre montagne... non un gruzzolo nel salvadanaio, da spendere se occorre, ma la nostra memoria, la nostra anima.»¹

Con il termine “bene culturale” ci si riferisce a un insieme di oggetti, luoghi, opere d’arte, edifici, tradizioni, e tutto ciò che rappresenta una testimonianza storica e un «deposito materiale delle memorie di un passato»², e in quanto tale deve essere identificato, tutelato e trasmesso. Tale concetto si è sviluppato in epoca moderna ma si fonda su radici molto più antiche: un’evoluzione che deriva dal concetto di “patrimonio” presente nel diritto romano, che indicava le *res corporales* e *res incorporales* lasciate in eredità da padre in figlio, e dalla nozione di “monumento”, in latino *monumentum* dal verbo *monere*, ovvero ricordare. Ma, come ci indica Gino Satta facendo riferimento ad André Chastel, la nozione di patrimonio culturale ha origine dal culto rinascimentale delle antichità ed ha il suo vero e proprio punto di svolta solo al termine del XVIII secolo con la Rivoluzione Francese³. La distruzione dei simboli dell’*Ancien régime* e la requisizione dei beni ecclesiastici diedero infatti una spinta alla necessità di

conservazione dei monumenti storici, che contribuì di conseguenza al delinearsi di un differente concetto di patrimonio culturale. Se fino ad allora il valore dei beni del passato era strettamente legato al loro valore simbolico e metaforico come attributo del prestigio e della sovranità, ora, con modalità e tempi differenti a seconda del luogo, il «titolare della sovranità non è più il re o il principe, ma il popolo, l’insieme dei cittadini»⁴. Il patrimonio culturale diventa così patrimonio pubblico e «comporta da un lato la sua massima accessibilità a tutti, e dall’altro la responsabilità, da tutti condivisa, di preservarlo per le generazioni future»⁵.

A partire da questa presa di coscienza, i concetti di “bene culturale” e “patrimonio culturale” hanno subito nel corso del tempo svariate modifiche che ne hanno di volta in volta ristretto o ampliato la definizione. In seguito ai due conflitti mondiali la protezione del patrimonio culturale diventa un tema di primaria importanza e con la costituzione dell’UNESCO (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*) nel 1946 viene concretizzata l’esigenza di affidare il compito di tutela e promozione della cultura a un ente sovranazionale. L’UNESCO è tuttora una delle organizzazioni principali all’interno del dibattito attorno ai beni culturali ed è stata partecipe dei più importanti cambiamenti e azioni che hanno contribuito a rivalutare e ridefinire di volta in volta l’ambito e le politiche del patrimonio culturale.

FIG. 1.1 La Val d’Orcia, area agricola rurale dell’entroterra di Siena, rappresenta un sistema paesaggistico costituito da una rete di borghi, città e aree coltivate, che riflettono tuttora l’estetica e l’ideologia rinascimentale che l’ha concepita. Fa parte dal 2004 della lista del Patrimonio Mondiale UNESCO [Foto di Riccardo Sinni].



FIG. 1.2. *Il borgo medievale di Monteriggioni visto dalla via Francigena. Quest'ultima, per la sua importanza sia sotto il profilo naturale che culturale, è stata candidata ad entrare nella lista del patrimonio mondiale UNESCO nel 2023 [Foto di E. Bordini].*

Uno dei primi risultati dell'UNESCO è costituito dalla *Convenzione per la protezione dei beni culturali in caso di conflitto armato*, stipulata all'Aja nel 1954, nella quale per la prima volta viene fornita una definizione di bene culturale. La convenzione nell'art. 1 suddivideva i beni culturali in 3 categorie: beni mobili o immobili (opere d'arte, monumenti, beni archeologici, collezioni, libri di interesse culturale, ecc.), edifici finalizzati alla conservazione ed esposizione dei beni culturali e infine i «centri monumentali», ovvero quei centri «comprendenti un numero considerevole di beni culturali», e ne imponeva la «protezione», la «salvaguardia» e il «rispetto»⁶. Misure estese negli anni successivi dalle Raccomandazioni⁷ e Convenzioni dell'UNESCO anche agli ambienti paesaggistici e naturali, che iniziano ad essere considerati al pari dei monumenti. Senz'altro la più rilevante di quest'ultime è rappresentata dalla *Convenzione per la protezione del patrimonio mondiale culturale e naturale* (1972) nella quale venne introdotto il concetto di «patrimonio mondiale dell'umanità» e che poi costituirà il fondamento della

World Heritage List (WHL). I primi due articoli della convenzione forniscono la prima definizione di «patrimonio» e, come anticipato, si fondano sulle classificazioni precedenti e lo suddividono in «patrimonio culturale» e «patrimonio naturale». Secondo l'art.1 il «patrimonio culturale» è costituito da:

- a) i monumenti: opere architettoniche, plastiche o pittoriche monumentali, elementi o strutture di carattere archeologico, iscrizioni, grotte e gruppi di elementi di valore universale eccezionale dall'aspetto storico, artistico o scientifico;
- b) gli agglomerati: gruppi di costruzioni isolate o riunite che, per la loro architettura, unità o integrazione nel paesaggio hanno valore universale eccezionale dall'aspetto storico, artistico o scientifico;
- c) i siti: opere dell'uomo o opere coniugate dell'uomo e della natura, come anche le zone, compresi i siti archeologici, di valore universale eccezionale

dall'aspetto storico ed estetico, etnologico o antropologico.

Il “patrimonio naturale” viene suddiviso nell’art. 2 in 3 tipologie:

- a) i monumenti naturali costituiti da formazioni fisiche e biologiche o da gruppi di tali formazioni di valore universale eccezionale dall’aspetto estetico o scientifico;
- b) le formazioni geologiche e fisiografiche e le zone strettamente delimitate costituenti l’habitat di specie animali e vegetali minacciate, di valore universale eccezionale dall’aspetto scientifico o conservativo;
- c) i siti naturali o le zone naturali strettamente delimitate di valore universale eccezionale dall’aspetto scientifico, conservativo o estetico naturale.

Una delle introduzioni più innovative della Convenzione, oltre a comprendere in un unico strumento di protezione sia il patrimonio culturale che naturale, è il fatto che per la prima volta si fa riferimento al «valore universale ed eccezionale»⁸ come requisito del patrimonio culturale. Si acquista quindi consapevolezza dell’importanza “universale” di tale patrimonio, la cui protezione è responsabilità, non solo delle comunità locali, ma di una comunità sovranazionale.

In Italia, le stesse nozioni della Convenzione dell’Aja e delle successive Raccomandazioni UNESCO furono riprese nel 1967 dagli Atti della Commissione Franceschini, che introdussero per la prima volta nella legislazione nazionale una definizione giuridica di “bene culturale”⁹. Attraverso la Dichiarazione 1, il concetto di patrimonio culturale viene applicato non solo a «tutti i beni di interesse archeologico, storico, artistico, ambientale e paesistico, archivistico e librario», ma anche a quelli che costituiscono

«testimonianza materiale avente valore di civiltà»¹⁰. Tale definizione, rispetto a quella contenuta nella Convenzione dell’Aja, amplia il concetto di bene culturale e ne implementa i livelli di azione rendendolo più “aperto” e “dinamico”¹¹, con la conseguenza diretta di accrescerne il raggio di azione. Come ci fa notare Leombroni, la definizione della Commissione Franceschini «non fu quindi una semplice innovazione terminologica, ma un mutamento di prospettiva perché l’oggetto diveniva ora meritevole di tutela in sé, non per il pregio, la bellezza o la rarità, ma per la testimonianza innervata nei suoi profili materiali o immateriali»¹². Per la nozione di “patrimonio culturale” in Italia si dovrà invece attendere il 2004 e il *Codice dei beni culturali e del paesaggio* nel quale, oltre a definire più nello specifico quali elementi mobili, immobili o paesaggistici rientrano nella definizione di patrimonio culturale, si parlerà dei principi di tutela e valorizzazione in quanto «concorrono a preservare la memoria della comunità nazionale e del suo territorio e a promuovere lo sviluppo della cultura»¹³.

L’ultima vicenda che rappresenta un saliente punto di svolta all’interno del dibattito sulla definizione di “bene culturale” è rappresentata dalla «svolta immateriale»¹⁴, come la definisce Gino Satta, che ha condotto alla stipula, da parte dell’UNESCO, della *Convenzione per la salvaguardia del patrimonio culturale immateriale* nel 2003, entrata poi in vigore nel 2006. Il concetto di patrimonio culturale, fin dalle prime Convenzioni UNESCO, è sempre stato strettamente legato alla materialità dei beni, alla loro dimensione fisica, alla loro tangibilità, mentre dai primi anni Ottanta inizia a manifestarsi la volontà di riunire sotto una unica nozione anche gli aspetti intangibili, come tradizioni, costumi, valori spirituali ecc. a causa della riconosciuta «profonda interdipendenza fra il patrimonio culturale immateriale e il patrimonio culturale materiale e i beni naturali»¹⁵. La Convenzione del 2003 identifica il “Patrimonio Culturale Immateriale” (PCI) come

«le prassi, le rappresentazioni, le espressioni, le conoscenze, il know-how – come pure gli strumenti, gli oggetti, i manufatti e gli spazi culturali associati agli stessi – che le comunità, i gruppi e in alcuni casi gli individui riconoscono in quanto parte del loro patrimonio culturale».

L'importanza di tale patrimonio risiede infatti proprio nella sua capacità di dare alle comunità «un senso d'identità e di continuità» in quanto viene «trasmesso di generazione in generazione», promuovendo in tale modo il «rispetto per la diversità culturale e la creatività umana»¹⁶. Proprio per questo motivo la Convenzione pone un'attenzione particolare al coinvolgimento attivo delle comunità e dei gruppi locali nei processi di salvaguardia. Tramite azioni dal basso contribuiscono infatti alla creazione di strumenti di valorizzazione del patrimonio e all'attivazione di processi locali di sviluppo culturale ed economico.

Il patrimonio culturale rappresenta un elemento di primaria importanza specialmente per un paese come l'Italia, in cui costituisce un tessuto culturale diffuso su tutto il territorio nazionale. Solo una piccola parte di questo patrimonio è conservato nei musei, ed il restante si può ritrovare «nelle strade delle nostre città, nei palazzi in cui hanno sede le abitazioni, scuole e uffici, nelle chiese aperte al culto; che fa tutt'uno con la nostra lingua, la nostra musica e letteratura, la nostra cultura»¹⁷.

Come abbiamo visto il concetto di patrimonio culturale raccoglie un vasto sistema di elementi che, grazie alla loro capacità di proteggere la memoria e rappresentare l'identità culturale del territorio e delle comunità a cui appartiene, necessita di adeguati interventi di conservazione, di salvaguardia e di valorizzazione. Il concetto di “valorizzazione” allude al valore insito nei beni culturali che si concretizza, non solo in termini economici come forza in grado di aumentare l'attrattività e di conseguenza l'afflusso turistico di un determinato bene o luogo,

ma soprattutto in termini sociali e culturali, come stimolo per la conoscenza e promotore di senso di cittadinanza¹⁸. L'ampliamento di significato subito dal concetto di patrimonio culturale, inizialmente assimilato esclusivamente a oggetti caratterizzati da una loro fisicità materiale e successivamente esteso a elementi “immateriali”, ha di conseguenza portato a un aumento degli oggetti di interesse e della complessità delle azioni da introdurre nei processi di conservazione e valorizzazione. Inoltre, la nuova visuale che si è andata affermando, che considera il patrimonio culturale come bene sistemico, ovvero come bene strettamente connesso al suo contesto di origine, ha contribuito a infrangere il “perimetro” di istituzioni culturali e di musei, obbligandoli a rivolgere il proprio sguardo all'esterno, verso il territorio e le sue comunità¹⁹.

In Italia l'ente preposto alla tutela dei beni culturali è rappresentato dal Ministero della Cultura - MiC, prima del 2021 chiamato Ministero per i Beni e le Attività Culturali e per il Turismo - MiBACT, istituito nel 1974 da Giovanni Spadolini. Il compito del Ministero era quello di provvedere alla «tutela e alla valorizzazione del patrimonio culturale e alla promozione delle attività culturali, nonché alle funzioni attribuite allo Stato in materia di beni culturali e paesaggistici, spettacolo, cinema, audiovisivo e turismo, secondo la legislazione vigente»²⁰.

Lo strumento normativo a cui fa riferimento è il *Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio* che fissa e regola le attività riguardo il patrimonio culturale italiano. Il Codice afferma che «la valorizzazione consiste nell'esercizio delle funzioni e nella disciplina delle attività dirette a promuovere la conoscenza del patrimonio culturale e ad assicurare le migliori condizioni di utilizzazione e fruizione pubblica del patrimonio stesso, anche da parte delle persone diversamente abili, al fine di promuovere lo sviluppo della cultura. Essa comprende anche la promozione



FIG. 1.3. L'area del Dong Van Karst, a nord del Vietnam, è patrimonio dell'umanità dall'UNESCO a partire dal 2010. Ospita sul suo territorio 17 differenti gruppi etnici che abitano questa da zona da secoli, tramandando di generazione in generazione la propria lingua locale, le tradizioni, gli usi e i costumi. Il gruppo più esteso è quello dei Hmong, conosciuti in particolare per la produzione dei loro tradizionali tessuti colorati [Foto di E. Bordini].

ed il sostegno degli interventi di conservazione del patrimonio culturale. In riferimento al paesaggio, la valorizzazione comprende altresì la riqualificazione degli immobili e delle aree sottoposti a tutela compromessi o degradati, ovvero la realizzazione di nuovi valori paesaggistici coerenti ed integrati²¹.

La valorizzazione, quindi, rappresenta una serie di azioni da attuare al fine di garantire la trasmissione della cultura a un determinato pubblico. Azioni che prendono avvio da processi di conservazione e tutela del bene ma che si concretizzano appieno attraverso la sua messa a disposizione della comunità. Come afferma Francesco Antinucci, “valorizzare” non significa «conferire valore a ciò che non lo ha, o di

aumentare quello che già ha» ma mettere gli “oggetti” culturali in condizione «di svolgere la funzione per la quale sono stati concepiti e generati»²². È necessario dunque promuovere la comunicazione di tali beni, attraverso la messa in campo di strategie di “interpretazione” e “presentazione” grazie alle quali il bene possa essere compreso e fatto proprio dal destinatario. È qui che secondo Umberto Eco risiede il valore “economico” del bene: è attraverso la sua fruizione che «io ho acquisito un bene, un potere, un “know how”, che non può essermi sottratto»²³.

Ad oggi, con le tecnologie informatiche e gli strumenti digitali, le possibilità e i metodi da mettere in capo nei processi di valorizzazione si sono esponenzialmente

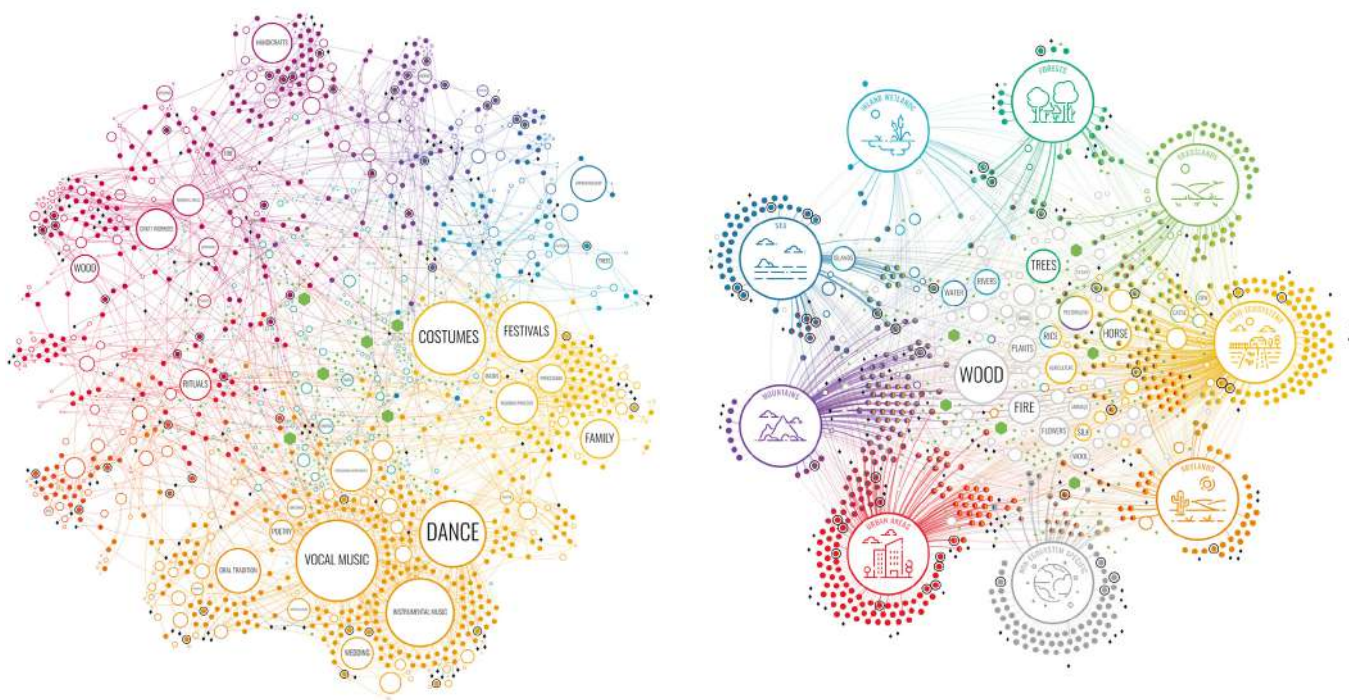


FIG. 1.4. Due delle infografiche interattive “Dive into Intangibile Cultural Heritage” che mostrano le interconnessioni del “living heritage” iscritto alla lista UNESCO del patrimonio immateriale mondiale. A sinistra “Constellation”, a destra “Biomes and natural resources”. [<https://ich.unesco.org/en/dive&display=constellation#tabs>; <https://ich.unesco.org/en/dive&display=biome#tabs>].

ampliati. Come vedremo in seguito, rispetto ai precedenti sistemi di trasmissione della cultura, oltre ad estendere le possibilità di fruizione e interazione, consentono una diffusione dell’informazione potenzialmente illimitata, attraverso la quale prendono avvio processi di democratizzazione e collettivizzazione del bene culturale.

Inoltre, la larga diffusione delle tecnologie e la loro pervasività in tutti gli aspetti della nostra vita le rendono il mezzo più efficace e diretto per comunicare dati, idee, storie, ecc. rendendole il mezzo privilegiato per la trasmissione delle informazioni. Nel settore dei beni culturali gli strumenti forniti dalle *information and communication technologies* (ICT), rappresentano dei potenti mezzi conoscitivi e comunicativi. Da un lato, attraverso processi di digitalizzazione e creazione

di database digitali, consentono la gestione e la divulgazione di una grande quantità di dati tramite dispositivi accessibili a tutti; dall’altro, attraverso lo sfruttamento di tecnologie come l’AR, VR, XR permettono agli utenti di fruire il patrimonio culturale con modalità interattive, immersive e di forte impatto comunicativo grazie alle infinite possibilità di presentazione delle informazioni.

Questo esponenziale aumento delle possibilità di fruizione e comunicazione comporta però anche una maggiore consapevolezza dell’influenza che tali tecnologie hanno sulla creazione di conoscenza e sulle metodologie di documentazione e rappresentazione, al fine di rendere possibile l’attuazione di strategie mirate e calibrate di volta in volta sulle caratteristiche e finalità specifiche di ogni progetto.

1.2. EVOLUZIONE DEI SISTEMI DI RAPPRESENTAZIONE E FRUIZIONE DEL PATRIMONIO CULTURALE

Il patrimonio culturale, inteso come l'insieme dei beni materiali e immateriali, è sempre stato oggetto di rappresentazioni dagli scopi più vari, didascalici, narrativi, documentali, anche in tempi in cui non vi era piena consapevolezza dei valori di cui era portatore. La necessità di documentarlo e trasmetterlo affonda le sue radici nell'antichità ed è stata perseguita attraverso strumenti e modalità differenti da quelle attuali, di volta in volta influenzate sia dal contesto culturale del tempo sia dalle diverse possibilità rappresentative e narrative fornite dagli sviluppi tecnologici e tecnici che, inevitabilmente, orientavano le modalità di registrazione, di interpretazione e di comunicazione del reale. I nuovi media digitali e gli strumenti a disposizione oggi rispetto ai media precedenti presentano chiaramente delle differenze ma conservano, rispetto a questi ultimi, analogie e similitudini, sia per quanto riguarda le strategie di presentazione delle informazioni che le modalità di fruizione dello spettatore. Infatti, con l'avvento dei nuovi media i precedenti non scompaiono del tutto ma «mentre un modo di rappresentare la realtà perde terreno, un altro prende il suo posto senza che il primo scompaia»²⁴. Questi media continuano infatti a coesistere adattandosi, o ibridandosi, e trovando il loro campo di azione in usi differenti. Lo fanno attraverso un processo di «rimediazione»²⁵ in cui i diversi contenuti, formati o metodi vengono rielaborati tramite una tecnologia più avanzata per essere ritrasmessi attraverso canali e mezzi di comunicazione differenti. Ma i presupposti teorici e i procedimenti compositivi spesso rimangono gli stessi. Basti pensare anche solamente al formato e al taglio di una fotografia, verticale del ritratto o orizzontale del paesaggio, che, come fa notare Graham Clarke, già

classificano l'immagine fotografica in due differenti generi pittorici²⁶. Perciò i modi di rappresentare vengono sì messi in discussione ma, come afferma Marshall McLuhan, «i nuovi media non distruggono i vecchi, piuttosto li potenziano, costringendoli a ridefinirsi»²⁷.

La comprensione e l'analisi dello sviluppo del rapporto tra documentazione, rappresentazione e conoscenza, realizzata attraverso una lettura dei mutamenti dei linguaggi grafici adottati, consente di delineare e definire quei modelli di riferimento che sono alla base delle nuove forme di rappresentazione, digitali e non, e delle odierne infinite «dimensioni» della virtualità, aiutando a comprendere come tali sistemi siano parte integrante della strutturazione di processi conoscitivi e di valorizzazione del patrimonio culturale. Il capitolo suddivide pertanto la trattazione in tre sotto paragrafi, ognuno dei quali evidenzia lo sviluppo di diverse tipologie di fruizione e di comunicazione: la fruizione a stampa, la fruizione visuale attraverso immagini e video e la fruizione immersiva, a partire dalle prime esperienze «analogiche» fino alle nuove tecnologie virtuali.

1.2.1. Dalla parola scritta all'illustrazione

Se un vero e proprio interesse per la documentazione e la trasmissione della cultura si è sviluppato a partire dalla riscoperta dell'Antico, che ha posto le basi per l'avvio del Rinascimento, è da tempi molto precedenti che si manifesta la necessità di «catalogare» il mondo e comunicare le esperienze sensibili della realtà, attraverso schemi e modelli o tradizioni orali e scritte. Quest'ultime, specialmente per la ricostruzione di tradizioni, culture e luoghi ormai scomparsi, rappresentano una fondamentale ed insostituibile testimonianza (fig. 1.5.). Basti pensare alle prime tradizioni efrastiche presenti nella letteratura che, attraverso un «discorso descrittivo

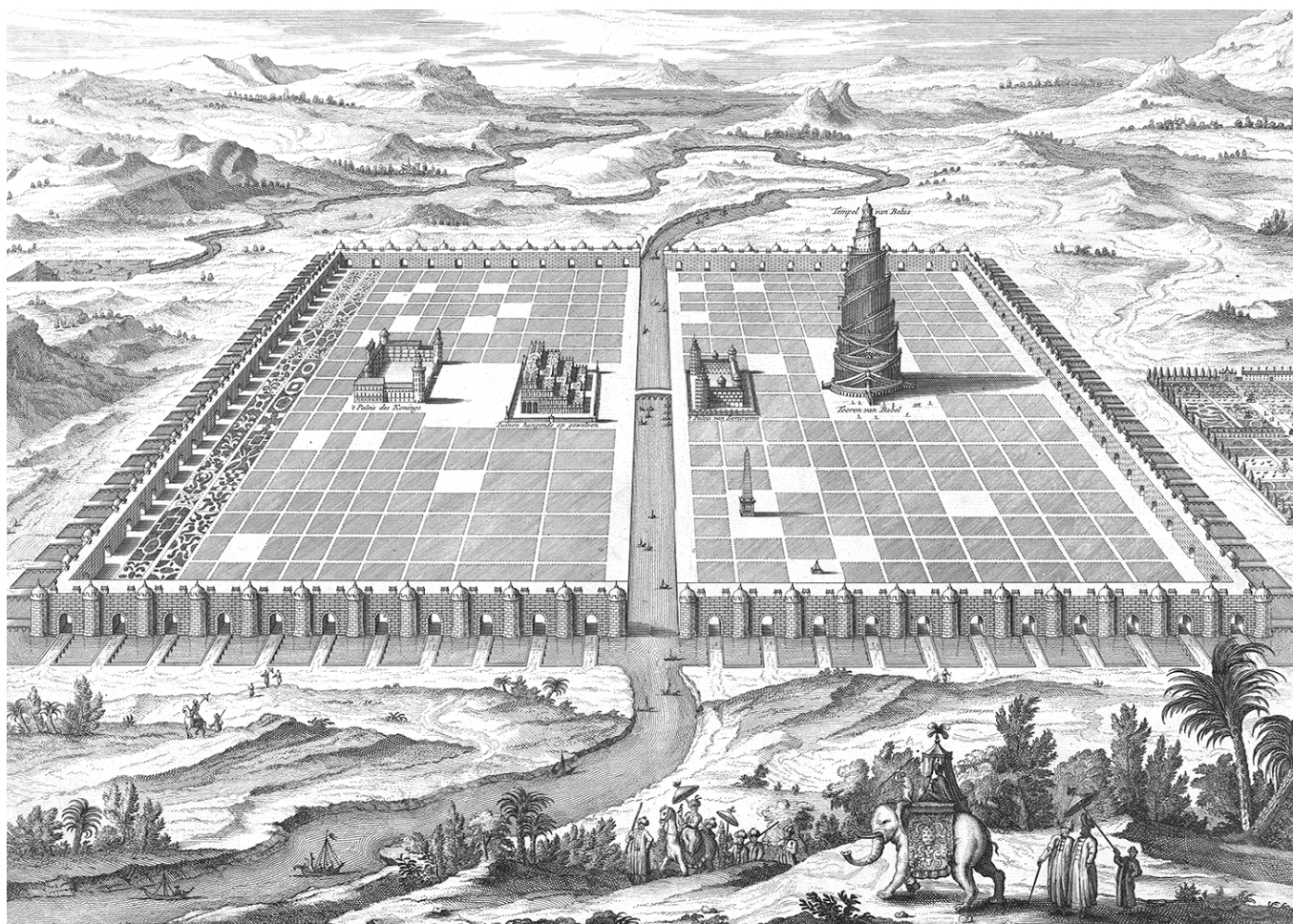


FIG. 1.5. Incisione del 1732 di Antoine Augustine Calmet (1672-1757) rappresentante la ricostruzione della città di Babilonia secondo le descrizioni presenti in "Storie" (440 a.C. ca.) di Erodoto e in "Turrus Babel" (1679) di Athanasius Kircher [<https://personajeshistoricos.com/c-filosofos/berodoto/>].

(*logos periegetikos*) che pone sotto gli occhi in modo vivido (*enargos*) l'oggetto che viene mostrato»²⁸, consentivano di esporre e raccontare al lettore luoghi, città, monumenti e tradizioni. L'obiettivo dell'*ekphrasis*, come evidenzia Michele Cometa nel suo saggio "La scrittura delle immagini. Letteratura e cultura visuale", è appunto quello di inserirsi nell'«irriducibile scarto che s'insinua tra il dicibile e il visibile o, più esattamente, tra l'indicibile che la pittura pretende di far vedere e l'invisibile che la letteratura pretende di rappresentare»²⁹. Carattere

imprescindibile dell'ecfrasi è quindi la capacità di "ricostruire" nella mente del lettore un'immagine tale da creare «un'apparenza in grado di soppiantare la realtà empirica per generare una seconda realtà, più "visibile" e dunque più persuasiva»³⁰. Si parla di "ricostruzione" perché il processo rappresentativo e comunicativo può essere suddiviso in due momenti: la prima in cui l'immagine viene indagata per essere poi "scomposta" e tradotta in parole, la seconda in cui le parole fanno sì che tale immagine venga nuovamente "ricostruita" e visualizzata nella mente del lettore. Un

processo analogo a quello che tuttora viene utilizzato nella realizzazione di un progetto di valorizzazione digitale del patrimonio: l'oggetto viene indagato e documentato attraverso la sua scomposizione ed analisi, per essere successivamente ricostruito e rappresentato virtualmente e narrato all'utente finale attraverso le nuove tecnologie digitali.

Erodoto nelle "Storie" svolge una sorta di ecfrasi *ante litteram*, prima del riconoscimento e codificazione ufficiale di questa pratica³¹, in cui a corredo degli eventi delle Guerre Persiane realizza degli *excursus* tematici in cui descrive accuratamente luoghi, monumenti e città. Famose sono soprattutto le descrizioni di beni culturali materiali ed immateriali: tempio di Assesia (I, 19), la città, le tecniche, le usanze e i costumi di Babilonia (I, 178 e ss.), le usanze egiziane (II, 35 e ss.) tra le quali la pratica dell'imbalsamazione (II, 86-88), le piramidi (II, 124, 127, 134, 136), il tempio della dea Bubasti (II, 137-138), il labirinto e il lago di Meride (II, 148-150), il tempio di Latona (II, 155-156), le tradizioni di riti sacrificali e funebri degli Sciti (IV, 60 e ss.), dei Traci, i tripodi nel tempio di Apollo Ismenio a Tebe (V, 59-61), etc. Nelle sue descrizioni Erodoto intreccia dati spaziali, materici e tecnici e fornisce al lettore un'immagine generale dell'oggetto descritto. Tralasciando aspetti riguardo le fonti, il metodo di ricerca e i dubbi legati alla veridicità di alcuni racconti erodotei, trascurabili ai fini della ricerca, è indubbio il valore che tali descrizioni hanno come testimonianza di una cultura passata.

La pratica ecfrastica nel mondo antico era impiegata, oltre che nella realizzazione di opere storiografiche e narrative, anche per la redazione di trattati scientifici ed enciclopedici, sia a causa della difficoltà e del tempo di riproduzione di un disegno ma specialmente per il rischio che tali illustrazioni potessero essere deformate dai copisti³², perdendo quindi la loro validità scientifica. Per questi motivi quindi la trasmissione di informazioni era in qualche

modo vincolata all'impossibilità di utilizzare mezzi visuali ed iconografici. Un caso estremo, ad esempio, è quello della Geografia di Tolomeo, nel quale l'autore, nonostante abbia disegnato numerose carte terrestri e celesti, guida il lettore al ridisegno di nuove carte a partire da codici alfanumerici (coordinate geografiche) contenuti nei *commentari*. Tramite questa «digitalizzazione dell'immagine»³³ Tolomeo garantisce la correttezza del dato che quindi poteva essere trasmesso e riprodotto da ogni lettore con sicurezza. Con l'invenzione della stampa, nella prima metà del 1400, questa tendenza ad utilizzare prevalentemente il testo scritto come strumento per la trasmissione di informazioni, anche visuali, subì un rapido mutamento. La tecnica, introdotta dal tedesco Johannes Gutenberg, prevedeva la fabbricazione di matrici di ogni carattere, che potevano essere posizionati in sequenza per la creazione di differenti composizioni (fig. 1.6.). I caratteri accostati permisero di ottenere la composizione tipografica; la stessa successivamente veniva inchiostrata e, tramite un torchio, utilizzata per imprimere su fogli di carta le stampe. La Bibbia di Gutenberg o *Bibbia a quarantadue linee*, fu il primo libro mai stampato e venne realizzato da Gutenberg tra il 1453 e il 1455.

La combinazione della precedente tecnica xilografica³⁴ per la riproduzione meccanica delle immagini e della stampa a caratteri mobili per la riproduzione dei testi consentì quindi di realizzare pubblicazioni dotate di supporto iconografico e di illustrare quei libri che prima ne erano sprovvisti. Si iniziarono così a stampare trattati di anatomia, geometria, architettura, ecc. e ad affiancare al testo scritto delle illustrazioni che, grazie alla loro immediatezza comunicativa, aiutavano la comprensione di ciò che veniva descritto nel testo. Ne è un esempio il trattato "i Sette libri dell'architettura" (1537) di Sebastiano Serlio nel quale le immagini rivestono un ruolo di primaria importanza, sia per il numero e il formato delle illustrazioni presenti sia per

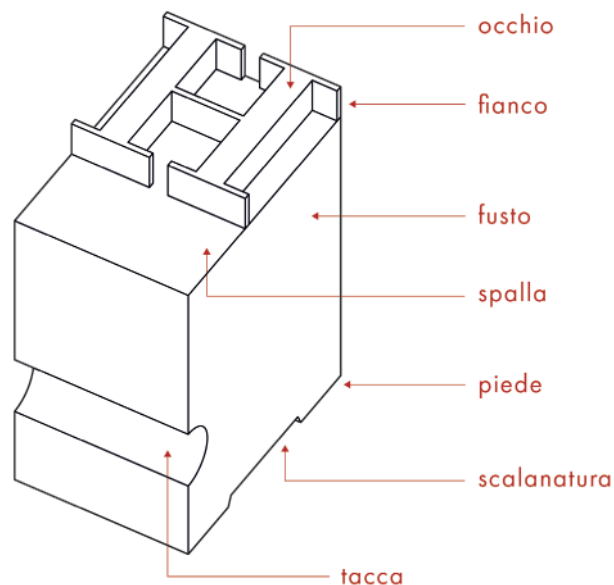


FIG. 1.6. *A sinistra, un laboratorio di stampa del XVI secolo, Jost Amman (1563 ca.) [Printer in 1568-cc.png]. A destra, un carattere mobile e le parti che lo compongono [elaborazione a cura di E. Bordini].*

il loro utilizzo come strumento didattico, a corredo di un testo a volte molto ridotto. Tale pubblicazione, grazie a questo stretto legame tra parola stampata e supporto iconografico, segnò un punto di svolta nella redazione dei trattati architettonici in particolare ed, in generale, nella composizione dei testi stampati.

Se prima di questo momento la cultura occidentale aveva da sempre privilegiato l'utilizzo della lingua parlata o scritta per la trasmissione di informazioni, con l'invenzione della stampa si afferma dunque una «visione del mondo illustrata piuttosto che testuale»³⁵. L'elemento fondamentale che rende tutte le immagini vivive diverse dai testi è la loro immediatezza sensoriale: la superiorità comunicativa del dato visuale risiede proprio nella sua capacità trasmettere la conoscenza con maggior precisione e concisione di qualsiasi testo scritto. Leonardo Da Vinci sostenne fermamente questo concetto affermando con forza la superiore capacità comunicativa di un'immagine che, rispetto al testo, presenta simultaneamente al

lettore la totalità di un'opera. Pensiero che riassume ed appunta nei suoi quaderni di anatomia:

«O scrittore, con quali lettere scriverai tu con tal perfezione la intera figurazione, qual fa qui il disegno? [del cuore e «delle vene che nutrono il core»]... Io ti ricordo che tu non t'impacci colle parole se non di parlare con orbi; o se pur tu voi dimostrar con parole alli orecchi e non all'occhi delli omini, parla di cose di sustanzie o di nature, e non t'impacciare di cose appartenenti alli occhi col farle passare per li orecchi, perchè sarai superato di gran lungo dall'opera del pittore. Con quali lettere descriverai questo core che tu non empia un libro?»³⁶

L'introduzione della stampa non influì solamente sulle possibilità di flessibilità dei contenuti, dal testo alle immagini, ma specialmente sulla distribuzione dei media. Se prima per conoscere un determinato oggetto, opera d'arte, edificio o luogo c'era la necessità di vederlo di persona e quindi viaggiare e spostarsi, da quel momento in poi fu possibile



FIG. 1.7. Alcune pagine dell'Emporio Pittoresco n.78, numero incentrato interamente sulla città di Firenze che alternava notizie storiche e descrittive a illustrazioni di scori di città, monumenti e paesaggi [pag. scansionate dal n.78 dell'Emporio Pittoresco].

conoscerlo attraverso le sue riproduzioni visive, che con il progressivo sviluppo delle tecniche di stampa, diventavano accessibili ad un pubblico sempre più vasto. Non vengono infatti prodotti solo libri, inizialmente molto costosi ed accessibili a pochi, ma anche almanacchi, fogli di notizie o “gazzette”, fino ad arrivare ai primi periodici di informazione nella seconda metà del Cinquecento. Inizialmente queste pubblicazioni erano dedicate esclusivamente alla politica o alla vita militare ma, come fa notare Armando Petrucci, dal Seicento in poi gli ambiti di applicazione si moltiplicarono per soddisfare la richiesta di «flussi regolari e sempre più abbondanti di informazione, di dati, di narrazioni di eventi e di descrizioni di ambienti, personaggi, territori»³⁷. La convergenza tra testo ed immagine per la trasmissione di informazioni culturali si materializza, in seguito alla rivoluzione industriale, all'espansione del mercato editoriale e allo sviluppo delle tecniche di incisione (xilografia, calcografia, litografia, ecc.),

nelle riviste illustrate (fig. 1.7.) che, sulla scia del *Illustrated London News*³⁸ inglese, si affermano anche in Italia nella seconda metà dell'Ottocento. Queste riviste settimanali ebbero larga diffusione grazie al loro prezzo contenuto e contribuirono all'ingresso dell'illustrazione nel mercato “popolare”, prima relegata ad un mercato più ristretto e d'élite. In Italia, come negli altri paesi, nascono numerosissime testate, tra le quali *L'Emporio Pittoresco*, edita da Edoardo Sonzognò dal 1864, *L'Illustrazione Italiana*, fondata nel 1873 dalla casa editrice Fratelli Treves a Milano e che pubblicherà quasi 5000 numeri ininterrottamente fino al 1962 e la *Scena Illustrata*, fondata a Firenze nel 1884 da Pilade Pollazzi, che dal 2005 prosegue le sue pubblicazioni online.

«Commentare e descrivere con indipendente giudizio; presentare ed illustrare col sussidio dell'arte i più importanti avvenimenti del giorno, gli uomini più illustri, i monumenti più ammirati antichi e moderni e le opere dell'ingegno e dell'industria umana, è



FIG. 1.8. A sinistra, il terzo volume di “Storia d’Italia a fumetti” (1978-86) di Enzo Biagi e, a destra, una vignetta tratta dal fumetto “Fic” (2020) di Roberto Grossi realizzato per il Parco Archeologico del Colosseo all’interno del progetto “Fumetti nei Musei” promosso dal MiC [<https://fumettineimusei.it/fumetto/hic/>].

quanto ci proponiamo di fare colla pubblicazione dell’Emporio Pittorresco. Alle serie illustrazioni alterneremo pertanto artistiche allegorie; ai gravi articoli, piacevoli narrazioni.»³⁹

L’intento divulgativo, soprattutto in una nazione caratterizzata da un analfabetismo diffuso, era molto chiaro. Attraverso la lettura di queste pubblicazioni il popolo poteva così conoscere attraverso racconti ed immagini luoghi, usanze, edifici, città, monumenti, opere d’arte altrimenti sconosciute.

La tecnica della stampa seriale e la possibilità di riprodurre immagini con estrema facilità consentì di fondere le arti grafiche e figurative e creare dei mezzi di comunicazione in cui le due componenti risultano intimamente interconnesse. Il fumetto, nato al termine del XIX secolo, ne è un esempio emblematico. Caratterizzato dall’impiego di una sequenza di immagini, associate a brevi testi, rappresenta una modalità di comunicazione basata sulla stretta interazione tra codice iconico e verbale. Nonostante la sua iniziale propensione al genere

comico, si è affermato nel tempo anche come «medium educativo»⁴⁰ e fu perciò adottato come forma di comunicazione anche all’interno dell’ambito culturale: dalle “strisce” pubblicate sul Corriere dei Piccoli dal 1908, «supplemento illustrato» del Corriere della Sera, ai volumi della “Storia d’Italia a fumetti” ideati e curati a partire dal 1970 da Enzo Biagi, fino alle collane dei fumetti Disney che, attraverso le avventure dei loro personaggi, raccontavano la storia ai più piccoli. Negli ultimi anni il fumetto, grazie alla sua capacità di coinvolgere un pubblico giovane, è diventato un vero e proprio strumento divulgativo a servizio delle istituzioni museali. Ad esempio, il progetto del 2018 “Fumetti nei musei” promosso dal MiC⁴¹, ha previsto la realizzazione di 22 graphic novel (ora diventate 51) da parte di celebri fumettisti italiani per la comunicazione dei musei e dei siti archeologici coinvolti.

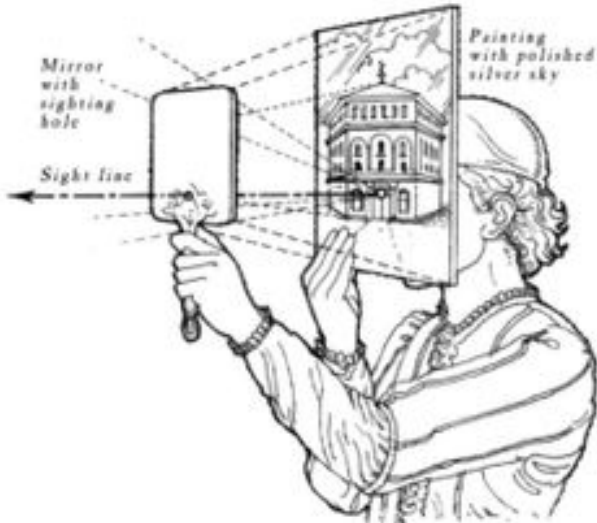


FIG. 1.9. Tavoleta prospettica brunelleschiana [https://nitidaweb.files.wordpress.com/2021/02/499786919-1.jpg].

1.2.2. Dalla prospettiva rinascimentale alla riproduzione “meccanica” dell’immagine

L’immediatezza comunicativa è un obiettivo che da sempre si è perseguito attraverso le modalità di rappresentazione visiva, sia nelle arti grafiche che nelle arti figurative. Seguendo questa logica la prospettiva lineare rinascimentale è la tecnica che ha reso sé stessa invisibile, mettendoci direttamente di fronte all’oggetto rappresentato. È questo il senso delle parole di Alberti nel trattato “De Pictura” (1435): «sulla superficie che mi appresto a dipingere, disegno un rettangolo di qualsiasi dimensione, che considero come una finestra aperta attraverso la quale il soggetto da dipingere può essere osservato». Come afferma Erwin Panofsky, l’intero quadro si trasforma così in una “finestra” attraverso la quale l’osservatore entra in contatto con ciò che viene rappresentato e la superficie materiale «viene negata come tale» per divenire il «piano figurativo» sul quale lo spazio viene proiettato⁴². Questo strumento fu

adottato dagli uomini del Rinascimento per indagare scientificamente la realtà e rappresentarne le relazioni spaziali, al fine di ottenere una padronanza ottico-scientifica della natura. La riscoperta e il culto dell’Antico, studiato ed indagato come modello di riferimento⁴³, spinsero infatti pittori, scultori e studiosi a ricercare le leggi matematiche e geometriche che governano le proporzioni dello spazio con l’obiettivo di comprenderlo e realizzarne delle riproduzioni il più possibile “realistiche”. Il passaggio da una prima prospettiva intuitiva ad una prospettiva geometrica e rigorosa, *perspectiva artificialis*, si ebbe grazie a Filippo Brunelleschi, che dimostrò attraverso le sue due tavolette prospettiche, ormai perdute, il suo funzionamento pratico (fig. 1.9.). Raffiguranti due vedute fiorentine⁴⁴ tracciate su tavolette di mezzo braccio quadrato, consentivano di osservare il disegno dal retro attraverso un «buco nella tavoletta, dov’era questa dipintura»⁴⁵ e uno specchio, posizionato ad una determinata distanza, che ne rifletteva l’immagine. In questo modo era possibile ricollocare il punto di vista dell’osservatore nella posizione più corretta rispetto all’immagine, in coincidenza con il punto di fuga verso il quale le linee della piazza convergono.

La ricerca di una sempre maggiore perfezione nel disegno e di una somiglianza con il reale condusse allo sviluppo di dispositivi meccanici ed ottici in grado automatizzare e di guidare il processo di costruzione dell’immagine su una superficie bidimensionale. Ne sono un esempio le numerose “macchine per disegnare” ed i prospettografi apparsi tra il XV e il XVII secolo: dagli strumenti progettati da Leon Battista Alberti (il “velo”) e Leonardo da Vinci (il “vetro”), al prospettografo del Vignola, fino agli strumenti di Albrecht Dürer (la “griglia”, lo “sportello”, ecc.) e di Christoph Scheiner.

La necessità di riprodurre fedelmente il mondo, registrare la memoria dello sguardo, ha rappresentato da sempre uno dei grandi temi di ricerca per l’arte e

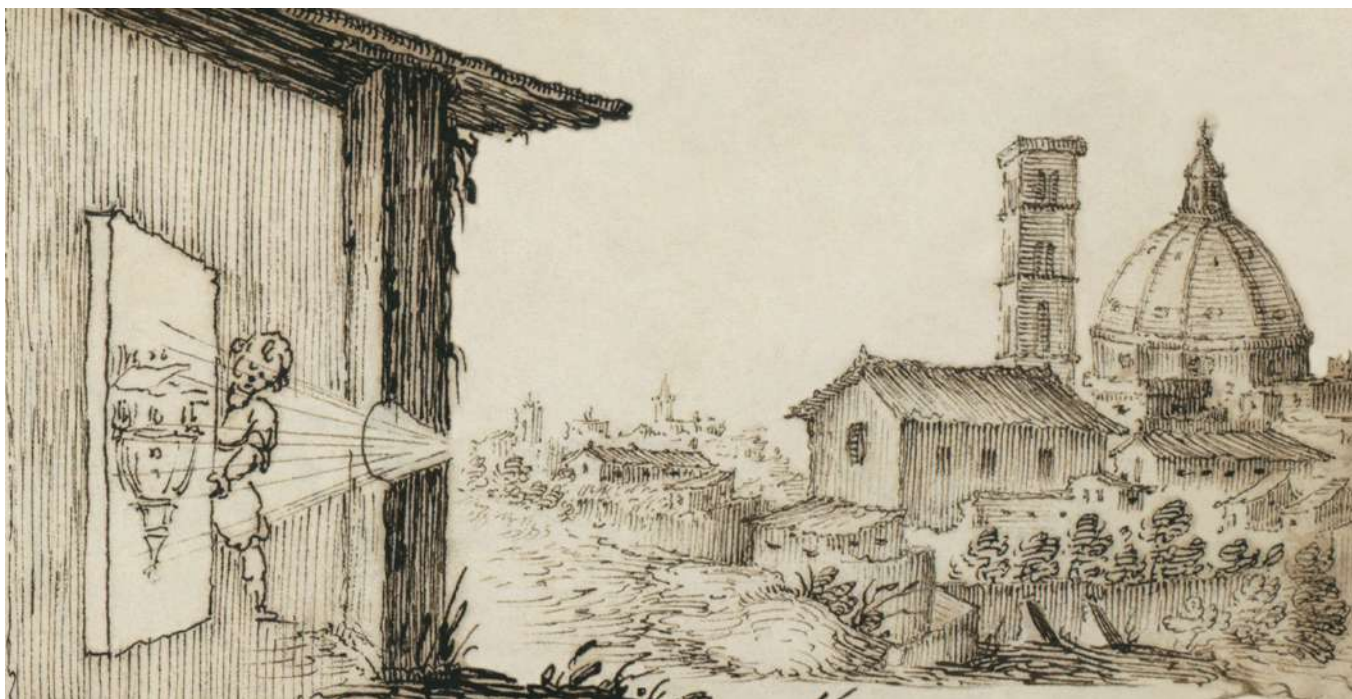


FIG. 1.10. Una rappresentazione del principio di funzionamento della camera oscura [Camera obscura2.jpg].

la scienza ed è stato di volta in volta risolto attraverso speciali dispositivi che facilitavano la raffigurazione oggettiva della realtà. Il modello di riproduzione dei meccanismi della visione che ha costituito una delle più grande novità è stata però la camera oscura, o camera ottica, che condusse poi all'invenzione della fotografia (fig. 1.10.). Giovanni Battista Della Porta ne teorizzò per primo il funzionamento e ne fornì una descrizione nei suoi primi scritti sull'immagine. La descrive come «una stanza buia in cui la luce filtrava attraverso un piccolo foro», detto foro stenopeico, «spesso munito di lente, che proiettava un'immagine capovolta del mondo esterno sulla parete opposta»⁴⁶. Proiettando tale immagine su una tela era così possibile “ricalcare” la vista esterna, ottenendo un disegno estremamente coerente e simile all'originale. Questa rivoluzione nell'elaborazione di rappresentazioni comporta un cambiamento anche nelle modalità di fruizione. Con la camera oscura viene meno il vincolo

sulle possibilità di spostamento dell'osservatore, al quale viene riconosciuta una mobilità nel processo di fruizione dell'opera. Con la prospettiva lineare rinascimentale egli era infatti vincolato al *punctum opticum* entro il quale le immagini mantenevano una loro coerenza proiettiva⁴⁷, mentre ora non esiste un'area di piena coerenza dell'immagine. Negli anni la camera oscura fu rivista e perfezionata e ne furono realizzate dei modelli trasportabili di grandi e piccole dimensioni, come la camera oscura nella tenda di Keplero o la camera oscura di Athanasius Kircher, utili per riprodurre città, natura o paesaggi. Secondo la teoria Hockney Falco⁴⁸, questi dispositivi ottici influenzarono l'arte europea dal 1430 a circa il 1850, fino all'arrivo della fotografia, che tolse alla pittura il primato di “realisticità” nella riproduzione del mondo. La semplicità d'uso e di costruzione di tali dispositivi consentì a moltissimi pittori e disegnatori di servirsene per la realizzazione di vedute con grande



1.



2.

FIG. 1.11. Fotografie di Abelardo Morell della serie “Camera Obscura”, nella quale il fotografo ritrae monumenti, città e paesaggi proiettati all’interno di stanze attraverso la tecnica della camera oscura. Il procedimento prevede la copertura di tutte le aperture attraverso un telo impermeabile alla luce, sul quale poi veniva realizzato un piccolo foro. Questo permetteva la proiezione sulla parete opposta di un’immagine sottosopra, o a volte riaddrizzata manualmente attraverso l’impiego di un prisma, che veniva poi fotografata. La tecnica della camera oscura venne impiegata dal fotografo anche nella sua serie di fotografie “Tent-Camera”, nelle quali le immagini generate dal procedimento della camera oscura venivano proiettate questa volta a terra. 1: “The Philadelphia Museum of Art East Entrance in Gallery #171 with a DeChirico Painting” (2005) [2013-07-26_0008cameraobscura” by lblanchard is licensed under CC BY-NC-SA 2.0]; 2: “Camera Obscura Image of the Pantheon in the Hotel des Grands Hommes” (1999) [https://library.artstor.org/asset/SS35857_35857_21972535] (2000). [Abelardo Morell].



FIG. 1.12. “Le Fabriche, e vedute di Venetia” raccolgono 104 stampe realizzate da Carlevarij al fine di rendere note al di fuori dei confini italiani gli scorci e i monumenti della città di Venezia. [<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8553021s/f1.item>].

facilità ed estrema verosimiglianza, dotate di un realismo quasi fotografico. Specialmente nel XVIII secolo, in concomitanza con la tradizione europea del Grand Tour, si diffondono numerosi dipinti e disegni di paesaggi e scorci di città, destinate a far conoscere le tradizioni, i luoghi e gli edifici principali ai visitatori stranieri. La corrente del vedutismo si sviluppa in tutta Europa ma è in Italia e specialmente a Venezia che produce i risultati più suggestivi, con il contributo di pittori come Luca Carlevarij o Antonio Canal, detto Canaletto. L'opera *Le Fabriche, e vedute di Venezia* (1703) «disegnate, poste in prospettiva et intagliate da Luca Carlevarij»⁴⁹ costituisce il punto di partenza del vedutismo veneto settecentesco (fig. 1.12.). La raccolta include più di 100 vedute di Venezia, nella quale sono rappresentate monumenti, chiese, edifici e piazze della città, che «oltre che apparire un elogio per immagini della Serenissima, si propongono come

una sorta di compendio storico dell'architettura veneziana»⁵⁰.

Le vedute oltre che riprodurre fedelmente spazi reali, potevano tradursi anche nei cosiddetti “capricci”, nei quali edifici storici esistenti venivano giustapposti ad elementi di invenzione e accostati secondo l'immaginazione del pittore. Giovanni Paolo Pannini (1691-1765), famoso per le sue vedute di Roma, realizza numerosi capricci architettonici in cui accosta senza nesso storico o topografico monumenti antichi, creando scene di notevole intensità. Le raffigurazioni oltre ad alludere al valore simbolico di caducità di un tempo passato, rappresentano accuratamente gli edifici più importanti e memorabili della città.

I soggetti delle raffigurazioni, oltre ad essere beni culturali architettonici, erano anche usi e costumi del tempo, riscontrabili nei dettagli dei dipinti dei vedutisti o utilizzati come soggetto principale, come

nei quadri di Gabriele Bella (1720-1799). Qui sono infatti le tradizioni della Serenissima ad essere in primo piano mentre la scena urbana funge da sfondo scenografico. Nonostante la sua arte sia più «ingenua e impacciata» rispetto a quella dei suoi coevi, le sue opere sono però «fedelissime al soggetto» raffigurato e per questo costituiscono una fonte documentaria di grande importanza, attraverso la quale è possibile ricavare una dettagliata testimonianza degli eventi e della vita della città⁵¹.

Nel corso del diciassettesimo secolo e fino alla fine del diciottesimo secolo la pittura ambiva ad essere il più realistica possibile⁵² e fu perciò facilmente sostituita dall'invenzione del procedimento fotografico che poteva offrire istantaneamente il più alto grado di imitazione della realtà. Durante questi anni si susseguirono continue sperimentazioni e sviluppi tecnologici che produssero un «autentico mosaico di forme e procedimenti fotografici strumentali»⁵³, nel tentativo di creare uno strumento di rappresentazione più rapido e preciso di quelli offerti dalle tradizionali arti visive. A partire dall'eliografia di Joseph Niépce del 1827 venne poi sviluppata nel 1839 la dagherrotipia da Louis Daguerre, superata a sua volta dalla calotipia di William Talbot⁵⁴ e dalle successive invenzioni di Scott Archer e Richard Leach Madox, che condussero infine alla moderna pellicola fotografica. Stessi mutamenti li subì anche l'apparecchio fotografico: da *objet d'art*, elementi fatti a mano in legno e ottone, ai primi apparecchi Kodak, prodotti nel 1888 da George Eastman, composti da un corpo fotografico di piccole dimensioni e dal costo relativamente basso.⁵⁵

FIG. 1.13. 1. Antonio Canal detto Canaletto, *Piazza San Marco a Venezia*, 1723 [Collezione Museo Thyssen-Bornemisza]; 2. Gabriele Bella, *Piazza San Marco durante la fiera della Sensa*, 1776 [Pinacoteca Querini Stampalia - Nuova fiera della Sensa - Gabriele Bella.jpg]; 3. Pietro Bellotti, *Veduta di Piazza San Marco*, 1750 ca. [<https://www.venezia.net/06/12/2013/ca-rezzonico-mostra-pietro-bellotto.html>]



1.



2.



3.

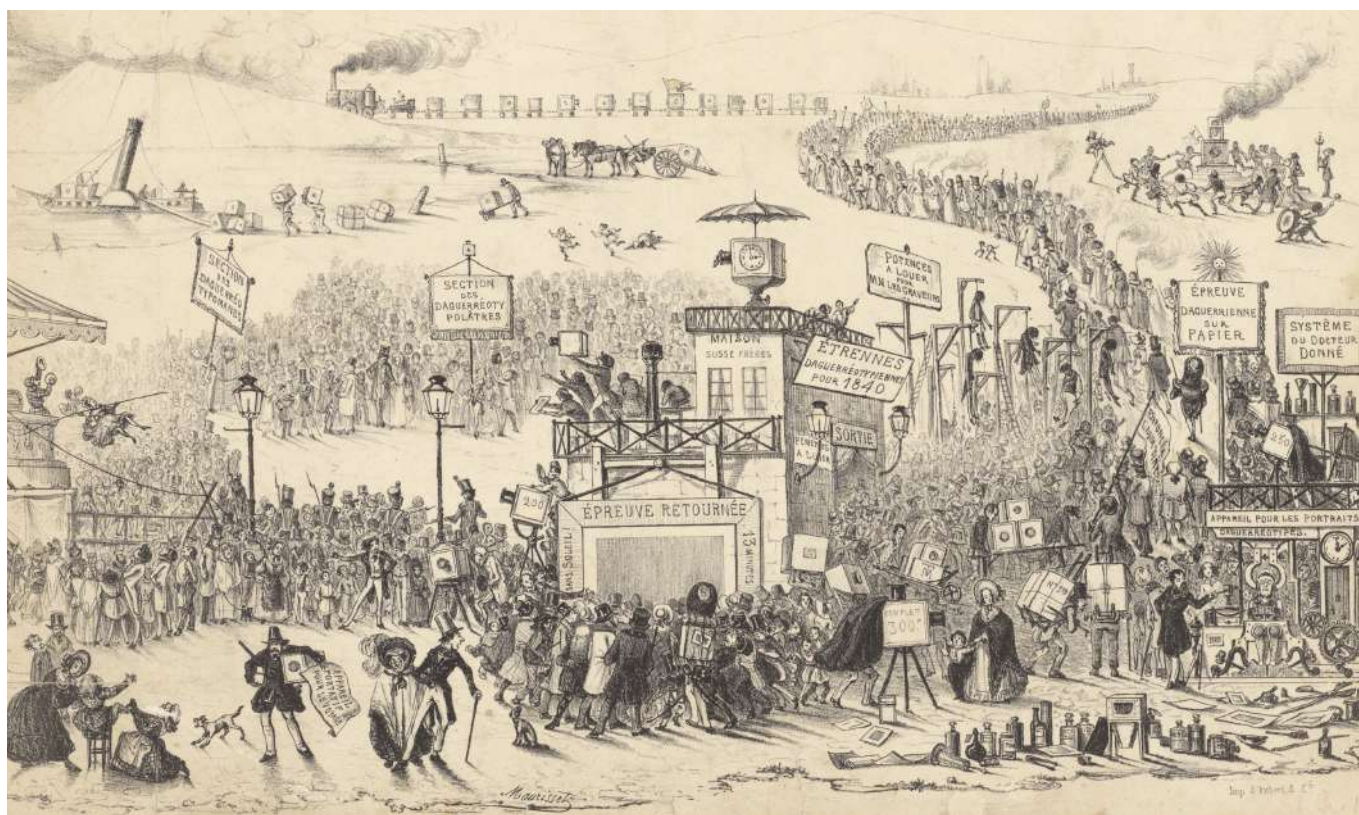


FIG. 1.14. “Daguerreotypomania” di Theodore Maurisset (1839) [Google Arts and Culture - The J. Paul Getty Museum, Los Angeles].

Sin dai primi esperimenti, e specialmente con l'invenzione del Dagherrotipo, i procedimenti fotografici ottennero un grande successo e si diffusero con rapidità in tutta Europa, grazie alla possibilità per tutti di documentare la propria vita e creare archivi per le generazioni future (fig. 1.14.). La capacità del nuovo medium di restituire un riflesso perfetto della realtà esterna, o somiglianza, che da sempre era stata ricercata attraverso la prospettiva, assicura il passaggio di testimone tra pittura e fotografia nel campo della rappresentazione della realtà. L'immagine tradizionale, delle pitture e delle immagini prospettiche, obbediva a regole proprie, che erano indipendenti dalla realtà esterna, mentre la fotografia crea un rapporto nuovo, diretto con la realtà, offrendo una mappa visuale del mondo molto più democratica⁵⁶.

«Una delle funzioni della pittura, nel passato, era quella documentaria: attraverso effigi e composizioni documentare uomini e fatti, protagonisti e storia. Questa funzione documentaria le è stata tolta dalla fotografia. Prima timidamente, attraverso il ritratto, poi in pieno, moltiplicata dalla stampa, ed oggi ad abundantiam, poiché la fotografia ci dà degli uomini e dei fatti immagini plurime e simultanee; essa, come documento, ci dà quantitativamente più che non desse la pittura, che è sintesi». Gio Ponti⁵⁷
Nonostante le evidenti differenze rispetto all'arte pittorica la fotografia fonda il suo metodo “compositivo” e “rappresentativo” sulle basi di quest'ultima. Come la pittura e la prospettiva anche la fotografia è infatti un «fenomeno narrativo»⁵⁸ e rappresenta un «modo culturale (e ideologico)»⁵⁹ di

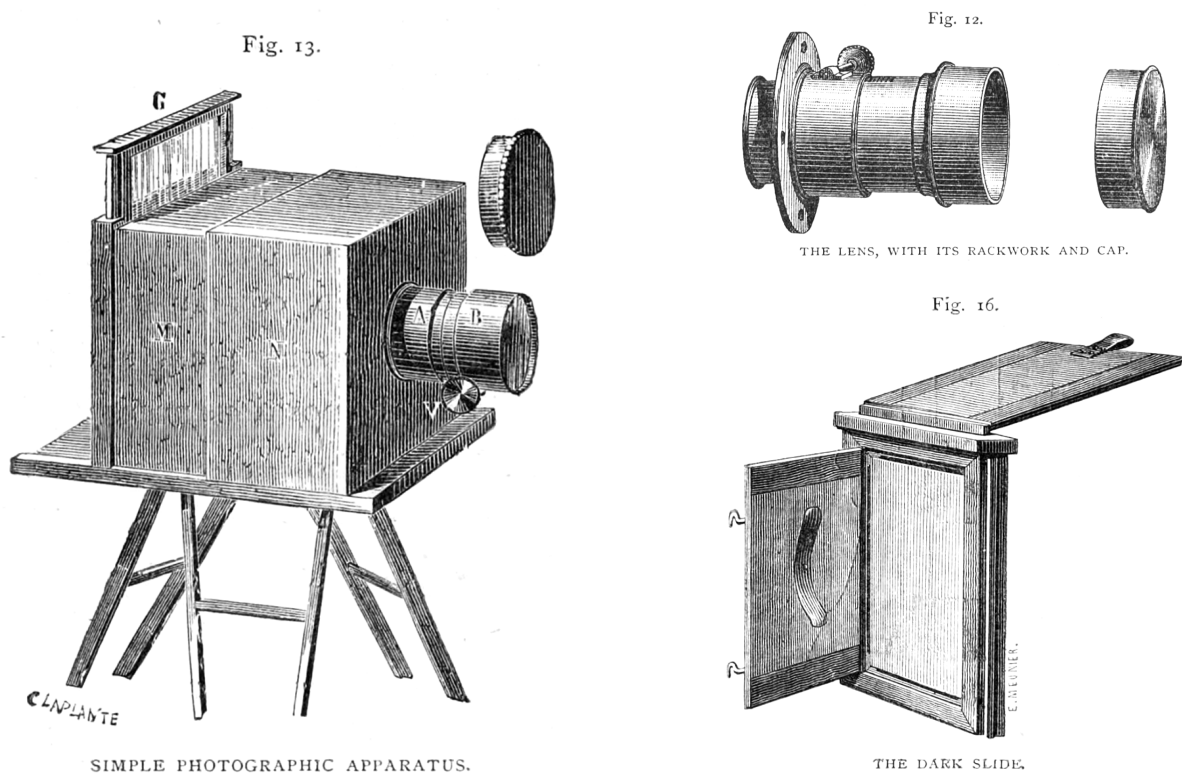


FIG. 1.15. Alcuni componenti dell'apparecchiatura fotografica. [Tissandier, G., Thomson, J. (1877), pp. 96-100].

dare forma al mondo. In entrambi i casi le immagini vengono costruite secondo un «progetto di realtà»⁶⁰ in grado di produrre determinati sentimenti e riflessioni nell'osservatore. Se la prospettiva lo faceva attraverso la composizione e procedimenti geometrici, la fotografia lo fa attraverso la sua «grammatica fotografica»⁶¹: l'esposizione, il ritaglio di un'inquadratura, la messa a fuoco, la composizione dell'immagine, ecc. Come ci ricorda Graham Clarke la fotografia «è sempre il riflesso di un punto di vista specifico, sia esso estetico, polemico, politico o ideologico. Non si può mai "scattare" una foto in senso passivo. "Scattare" è un verbo attivo. Il fotografo impone, ruba, ri-crea la scena (ciò che ha visto) in base a un discorso culturale»⁶².

In *The Pencil of Nature* (1844-46) William Henry Fox

Talbot spiega la tecnica fotografica con i termini propri della pittura, e la definisce una «nuova arte» o «arte fotografica». «*The little work now presented to the Public is the first attempt to publish a series of plates or pictures wholly executed by the new art of Photogenic Drawing, without any aid whatever from the artist's pencil.*»⁶³ In questa pubblicazione Talbot pubblica una serie di tavole o «quadri», come li definisce egli stesso, per la precisione 24 calotipi in cui rappresenta una serie di oggetti culturali, come sculture, architetture e «fac-simili», e una serie di oggetti naturali, manufatti e alcune composizioni. Talbot raduna quindi riferimenti all'arte tradizionale e alla scientificità della riproduzione fotografica, evidenziando, oltre ai procedimenti seguiti e alle problematiche riscontrate, le sue potenzialità e i vantaggi in diversi ambiti: catalogazione («*whole cabinet*



FIG. 1.16. A sinistra, un ritaglio della foto “Conchiglie e fossili” (1839) di Louis Daguerre e, a destra, alcune fotografie di viaggio. In alto, “The Burning Ghat” (1865) di Samuel Bourne, e, in basso, due fotografie di Maxime Du Champ: “Statua di Memnon, Thebes” e “Ramses II, Abu Simbel” (1850).

[...] *might be depicted on paper in little more time than it would take him to make a written inventory describing it in the usual way [...] all at once*), tutela («*Fac-similes can be made [...] and thus they may be preserved from loss, and multiplied to any extent*», «*it enables us at pleasure to alter the scale, and to make the copies as much larger or smaller than the originals*»), documentazione («*enable us to introduce into our pictures a multitude of minute details*») e studio («*the operator himself discovers on examination, perhaps long afterwards, that he has depicted many things he had no notion of at the time*»).

La fotografia possiede quindi uno status ambivalente: da un lato viene considerata come una nuova forma d'arte, dall'altro rappresenta uno strumento di documentazione scientifica essenziale.

Grazie alla quantità di informazioni catturate nel

breve tempo di uno scatto, la fotografia si affermò prepotentemente come strumento indispensabile nelle numerose spedizioni archeologiche del tempo, nelle quali non poteva mai mancare la presenza di un fotografo professionista. Lo sviluppo di apparecchi fotografici aiutò viaggiatori, studiosi e archeologi nella documentazione del lavoro e dell'oggetto di studio, producendo una grande quantità di libri e collezioni fotografiche. In particolare, attraverso la fotografia di viaggio, una tradizione in voga nel corso del XIX secolo, fotografi come Maxime Du Camp (1822-94), Samuel Bourne (1834-1912) (fig. 1.16.) e Felice Beato (1832-1909) (fig. 1.17.) consentirono di far conoscere le culture, i paesaggi e le architetture extraeuropee attraverso i loro scatti. Queste immagini



FIG. 1.17. Alcune fotografie di Felice Beato scattate in Giappone durante il periodo di transizione tra il governo feudale del periodo Edo (1600-1868) e il dominio imperiale dell'era Meiji (1868-1912). Le fotografie sono realizzate su carta all'albumina successivamente colorata a mano da artisti dell'acquerello locali.

raffigurano dettagliatamente manufatti e costumi di altre civiltà e possiedono un notevole valore storico, etnografico e antropologico. Al tempo della loro pubblicazione la possibilità di viaggiare era limitata ed era possibile osservare testimonianze di civiltà lontane solo all'interno dei musei pubblici, attraverso i manufatti "trafugati" dagli archeologi, in cui i singoli oggetti erano decontestualizzati e, di conseguenza, poco comunicativi. Al contrario, la fotografia consentiva di aprire una finestra direttamente su quei mondi lontani, dando la possibilità al pubblico di osservare interi monumenti e paesaggi⁶⁴. In questo la foto ha avuto il ruolo che quattro secoli prima ricoprì la stampa per la diffusione della cultura. L'avanzamento tecnologico e scientifico nel campo

dell'ottica rese possibili nel XIX secolo modalità di visione fino ad allora inimmaginabili: la riproduzione del movimento. Il tentativo di riprodurre il mutare della vita intorno a noi ha accompagnato la storia delle immagini ed è stato risolto, di volta in volta, con originali sistemi di illuminazione o ingranaggi meccanici. I primi strumenti ottici creati per riprodurre l'illusione di movimento, come il fenachistiscopio (1832) di Joseph Antoine Plateau o lo zootropio (1833) di William G. Horner, consentivano la rappresentazione dinamica di un'immagine attraverso lo scorrimento di un rullo in cui erano disegnate le varie pose dell'oggetto dell'animazione. Tutti questi strumenti si fondano sul principio, noto fin dall'antichità, della persistenza dell'immagine sulla

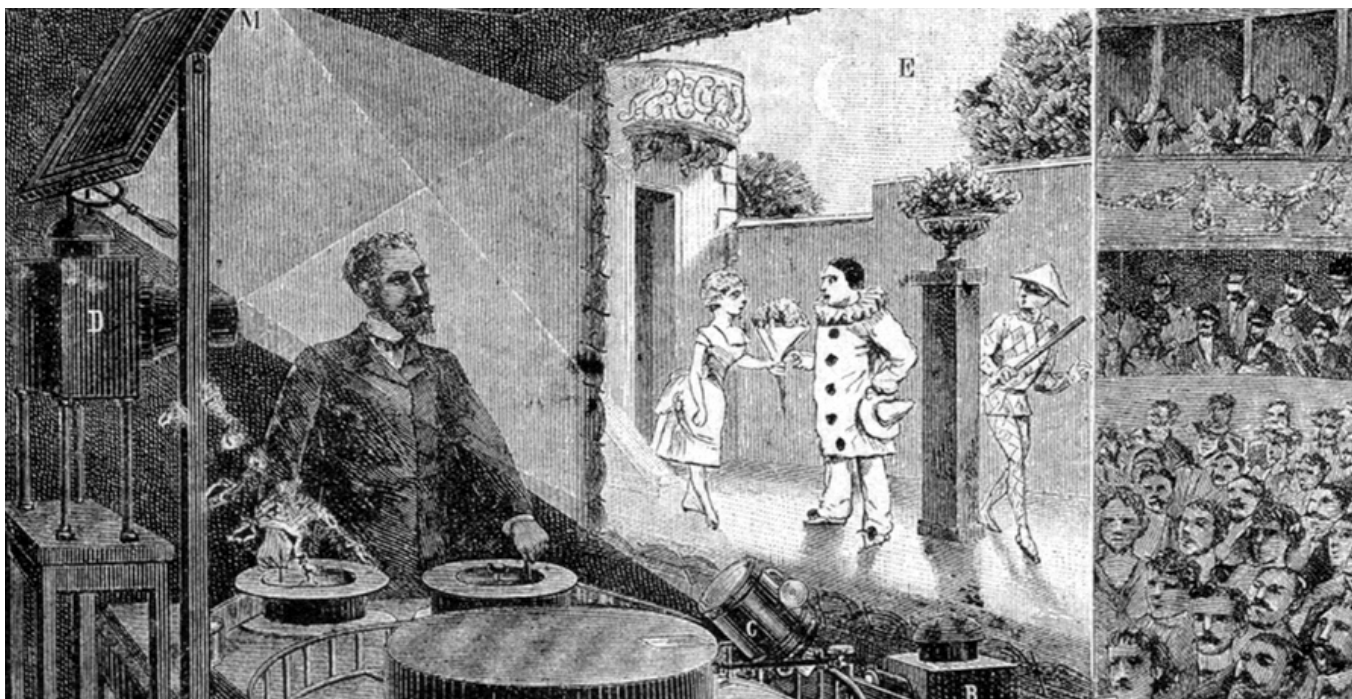


FIG. 1.18. *Il Teatro Ottico Charles-Émile Reynaud (1892) deriva da un'evoluzione del suo prassinoscopio (1877) e fu impiegato per la prima volta in pubblico al museo Grévin di Parigi nel 1892 [Theatreoptique.jpg].*

retina dell'occhio per un breve periodo di tempo⁶⁵. Ecco così che una sequenza di figure statiche in pose leggermente diverse tra loro, mostrata a una certa velocità, si trasforma in un'unica figura in movimento. La successiva fusione degli strumenti meccanici con la lanterna magica, il primo sistema di proiezione delle immagini, consentì a Émile Reynaud la realizzazione del teatro ottico (fig. 1.18.). Il sistema consentiva la proiezione di immagini in movimento, realizzate attraverso dei vetri dipinti montati su dei nastri scorrevoli, su degli sfondi fissi. Presentato nel 1892, fu il primo spettacolo pubblico di immagini in movimento. Ma fu la cronofotografia negli ultimi anni dell'800 e il fucile fotografico di Etienne-Jules Marey a spianare la strada per la prima macchina da presa da proiezione cinematografica: il kinetografo (1894) di Filoteo Alberini e il cinematografo (1895) dei fratelli Lumière.

L'impatto di queste nuove tecnologie ha contribuito ad ampliare le possibilità di comunicazione del Patrimonio Culturale, sia per quanto riguarda i contenuti sia dal punto di vista metodologico. A partire da queste ultime invenzioni, infatti, iniziarono ad essere realizzate numerose produzioni cinematografiche, di finzione, in cui gli elementi sono costruiti artificialmente, o basate su elementi colti dalla realtà, come il documentario. Quest'ultimo, diffuso fin dagli albori del cinema, è un filmato a scopo divulgativo e educativo finalizzato all'interpretazione di una specifica realtà, riprodotta attraverso le scelte narrative ed espressive del documentarista. Inizialmente visionabili esclusivamente nelle sale da proiezione, con l'avvento dei mass media e della televisione, diventano uno strumento di trasmissione della cultura accessibile a tutti e largamente impiegati tuttora per la divulgazione culturale⁶⁶. Specialmente



FIG. 1.19. Un'immagine tratta da "Storia di una piazza" (1955) di Raghianti. Il filmato integrale è disponibile nella mostra online "Il paesaggio toscano nei critofilm di Carlo Ludovico Raghianti" a cura di L. Mingardi e C. Toschi [<https://centropatos.it/il-paesaggio-toscano-nei-critofilm-di-carlo-ludovico-raghianti/>].

nel secondo dopoguerra i documentari hanno vissuto un periodo di grande vivacità e di fiducia nel rinnovamento estetico offerto dal cinema ed in tutta Europa venivano girati e firmati da molti noti cineasti. Tra questi l'italiano Roberto Rossellini che esordì nel 1959 nella televisione italiana con il suo documentario in 10 puntate "L'India vista da Rossellini", nel quale raccolse la grande mole di materiale girato durante il suo viaggio in India ed impiegato nella realizzazione dell'omonimo film.

Nell'ambito dei documentari d'arte i critofilm di Carlo Ludovico Raghianti (1910-1987) ne rappresentano un documento unico. Seguendo le logiche del linguaggio cinematografico, il movimento della macchina da presa, le luci, il montaggio, Raghianti realizza, attraverso la formula del critofilm, dei discorsi critici sull'arte mediante uno strumento visivo⁶⁷. Ogni dettaglio all'interno delle sue produzioni era

ragionato e finalizzato a rivelare la struttura delle opere, riprodurne il processo di creazione e offrirne una lettura figurativa. Ne risultano così dei mezzi, dal forte potenziale divulgativo e critico, in grado di avvicinare il grande pubblico al patrimonio culturale, paesaggistico e architettonico italiano. Grazie ai mezzi messi a disposizione da Adriano Olivetti, egli realizzò un totale di 21 critofilm⁶⁸ per la serie "SeleArte Cinematografica", i cui contenuti spaziano dalla dimensione delle arti minori e arti figurative, come in "Deposizione di Raffaello" (1948), a complessi architettonici e monumentali, ad esempio "Storia di una piazza (la Piazza del Duomo di Pisa)" (1955) (fig. 1.19.), e, infine, allo studio della città e del territorio, come in "Lucca Città Comunale" (1955) e "Terre Alte di Toscana" (1961). Ogni critofilm veniva studiato in prima battuta attraverso la realizzazione di uno *storyboard* nel quale già venivano definite le



FIG. 1.20. Immagine tratta dal film "Il mondo nuovo" (1982) diretto da Ettore Scola. All'inizio del film Scola inserisce una ricostruzione del Mondo Nuovo, uno strumento ottico di intrattenimento popolare, attraverso il quale vengono mostrate al pubblico immagini di avvenimenti storici per solo un «soldo per testa».

inquadrature e i movimenti di camera e, solo in seguito al montaggio finale del girato, Ragghianti scriveva il commento verbale di accompagnamento, elemento «strettamente subordinato» a quello visivo ma sapientemente calibrato al fine di «rendere accessibili i contenuti del filmato a un pubblico non necessariamente colto»⁶⁹.

1.2.3. Dagli spazi immersivi "analogici" alla realtà virtuale

«Prima della realtà virtuale c'era quello che potremmo definire il virtuale analogico. C'erano i romanzi, i film, i quadri, i libri pop-up, i visori di immagini stereoscopiche, i View-Master. Ma più di tutto i romanzi, perché lasciavano e lasciano più spazio all'immaginazione»⁷⁰.

Con le parole «la virtualità è ovunque»⁷¹, Mirzoeff vuole sottolineare che il concetto di virtuale non deriva esclusivamente dalle innovazioni introdotte dalla cosiddetta rivoluzione digitale, ma si trova in tutte le immagini e spazi che non sono reali ma che sembrano tali. La parola stessa "virtuale" dal latino *virtualis*, ovvero potenziale, che "esiste in potenza", evoca qualcosa di astratto e di simulato, ma allo stesso tempo qualcosa di realistico anche se non materiale e costruito. La verosimiglianza della fruizione di un'ambiente virtuale è aumentata esponenzialmente con le possibilità fornite dagli ambienti immersivi simulati al computer, il cui scopo è quello di permettere all'utente di accedere ad un mondo parallelo, annullando la «distanza che consentiva il dominio dello spazio racchiuso dalla finestra aperta della prospettiva»⁷².

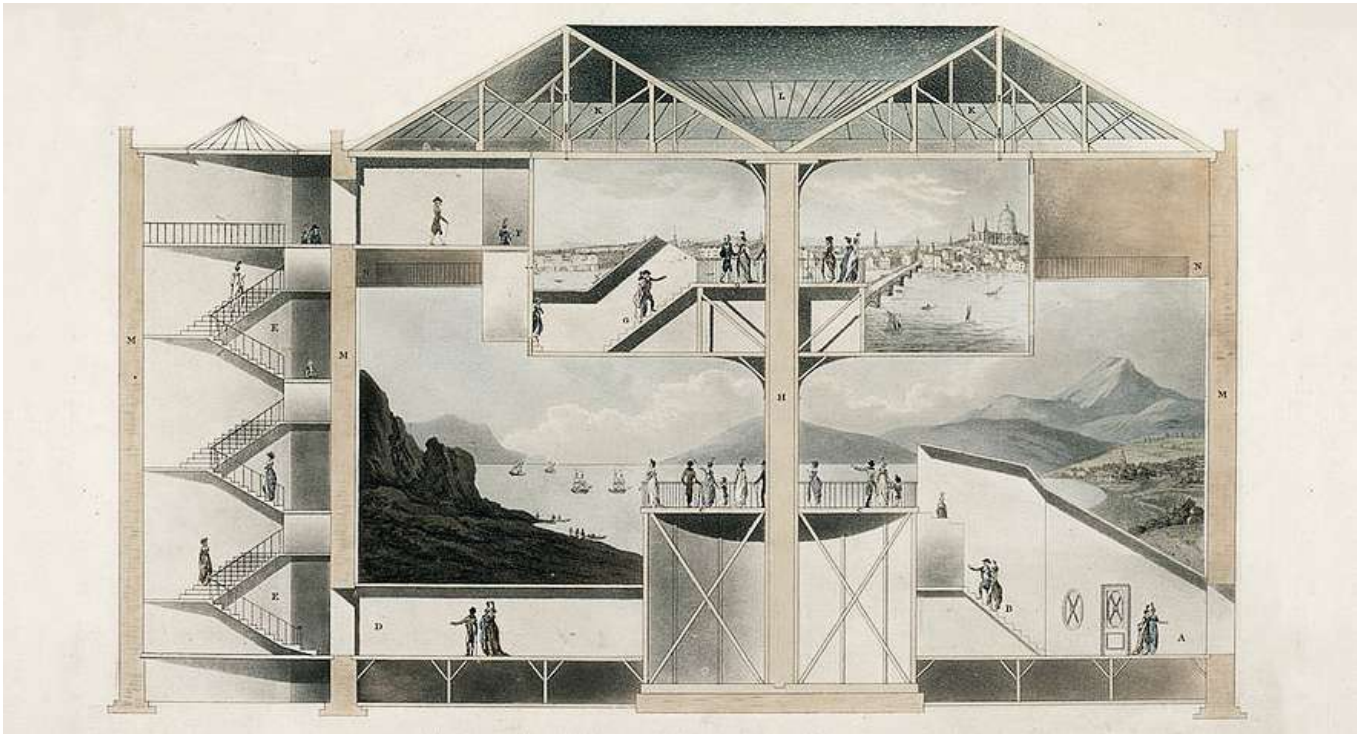


FIG. 1.21. Una sezione della Rotonda di Leicestershire Square a Londra progettata da Robert Mitchell nel 1793 per ospitare i panorami di Robert Baker. Al centro sono visibili le due piattaforme di osservazione dalle quali i visitatori potevano osservare due panorami di differenti dimensioni [Cross-section-of-the-rotund 0.jpg].

Le rappresentazioni, assieme alle tecnologie e agli strumenti a disposizione, si sono gradualmente evolute: da entità limitate e circoscritte all'interno di cornici e riquadri, a rappresentazioni immersive *real-time* nelle quali sono stati demoliti i limiti spaziali e le distanze tra oggetto della rappresentazione e fruitore. Questa dimensione immersiva della rappresentazione, sulla quale la realtà virtuale odierna fonda i suoi principi, smaterializza i limiti dello spazio reale per costruirne uno nuovo, "virtuale".

La creazione di rappresentazioni "immersive" fu particolarmente in voga durante il XVIII e XIX secolo quando le numerose invenzioni ottiche e meccaniche venivano impiegate per offrire spettacoli di intrattenimento pubblico (fig. 1.20). A questo periodo risale il panorama, o ciclorama, brevettato nel 1792 da Robert Baker, un vero e

proprio antenato della moderna realtà virtuale. La sua invenzione era costituita da un dipinto circolare di grandi dimensioni raffigurante vedute realistiche di città o paesaggi. Sebbene nell'antichità ci siano state delle rappresentazioni pittoriche sui quattro lati di una stanza (dagli affreschi parietali del ninfeo sotterraneo della villa di Livia a Roma, risalenti al 40-20 a.C., alle boscherecce di Leonardo e al Quadraturismo rinascimentale), è con il panorama che viene realizzata la prima veduta a 360 gradi. Il panorama riscosse grandissimo successo tanto che vennero costruiti edifici appositi, le "rotonde", in cui potevano essere ospitati e fruiti i dipinti, e che ancora oggi è possibile ritrovare all'interno delle città europee. Lo spettatore dal centro della stanza poteva guardarsi attorno ed osservare la raffigurazione che lo circondava, ricreando così l'illusione di un paesaggio

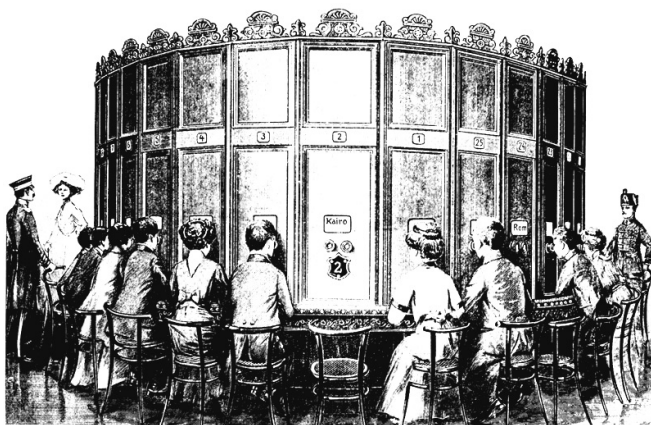
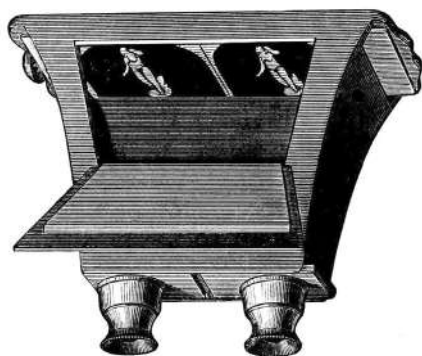


FIG. 1.22. *A sinistra, lo stereoscopio di David Brewster del 1849 [PSM V21 D055 The brewster stereoscope 1849.jpg] e, a destra, il Kaiserpanorama brevettato nel 1890 da August Furrmann. Quest'ultimo era destinato alla fruizione collettiva di stereogrammi grazie ad un apposito meccanismo interno che consentiva la rotazione delle immagini [August Fuhrmann-Kaiserpanorama 1880.jpg].*

reale (fig. 1.21.). Questi dispositivi «hanno finito per asservire “fisicamente” lo spettatore, trasformando radicalmente le sue modalità di fruizione»⁷³, legate ora al movimento ed allo spostamento del punto di vista al fine di godere pienamente dell'immagine. A partire da questo primo prototipo vennero sviluppati esemplari dotati di effetti tridimensionali, di animazioni e di illuminazioni in grado di restituire l'effetto di passaggio tra giorno e notte.

Questo «turismo virtuale»⁷⁴ fece ufficialmente ingresso nelle abitazioni private della borghesia europea e americana con lo stereoscopio, inventato nel 1832 da Charles Wheatstone e perfezionato nel 1849 da David Brewster, a cui si deve anche l'incontro tra la stereoscopia e la fotografia. Lo stereoscopio era un dispositivo che, indossato, consentiva la visione di un'immagine con un effetto di tridimensionalità, sperimentando così l'effetto della profondità (fig. 1.22.). Alle iniziali cartoline stereoscopiche costituite da raffigurazioni disegnate si affiancarono riproduzioni fotografiche su carta e infine quelle realizzate direttamente su pellicola fotografica, come nel caso del Tru-View (1931) e View-Master (1951). Questi sistemi stereoscopici, rispetto ai precedenti,

creano nuove connessioni tra spazi virtuali e reali, stabilendo nuove modalità di fruizione attraverso l'amplificazione del disegno bidimensionale⁷⁵.

I principi della stereoscopia furono utilizzati anche dal secondo dopoguerra nella realizzazione dei primi simulatori di realtà virtuale. Il Sensorama, brevettato nel 1961 da Morton Heilig⁷⁶, era un dispositivo multisensoriale che consentiva la visione di cinque cortometraggi a scelta dell'utente (fig. 1.23.). L'esperienza visiva, fruibile tramite un display, era amplificata da un emettitore di odori, un impianto audio-stereo, alcuni ventilatori e una postazione mobile per la seduta. Sulla scia di questo dispositivo e dell'Headsight della Philco (1961), fu prodotto tra il 1965 e il 1968 il primo visore HMD (Head-mounted Display) di realtà virtuale: la “Spada di Damocle” (fig. 1.24.). Questo dispositivo, inventato da Ivan Sutherland, era chiamato così a causa del suo ingente peso; per utilizzarlo era necessario, infatti, montarlo su un braccio metallico collegato al soffitto. Il sistema utilizzava due tubi a raggi catodici, uno per occhio, ed elementi ottici per proiettare le immagini generate dal computer, che permettevano agli utenti di vedere immagini 3D sovrapposte a oggetti reali, rendendolo



FIG. 1.23. Una pubblicità del Sensorama di Morton Heilig (1961) [<http://www.telepresence.org/>].



FIG. 1.24. La “Spada di Damocle” di Ivan Sutherland (1965-68) [Sutherland, I. E. (1968), p. 760].

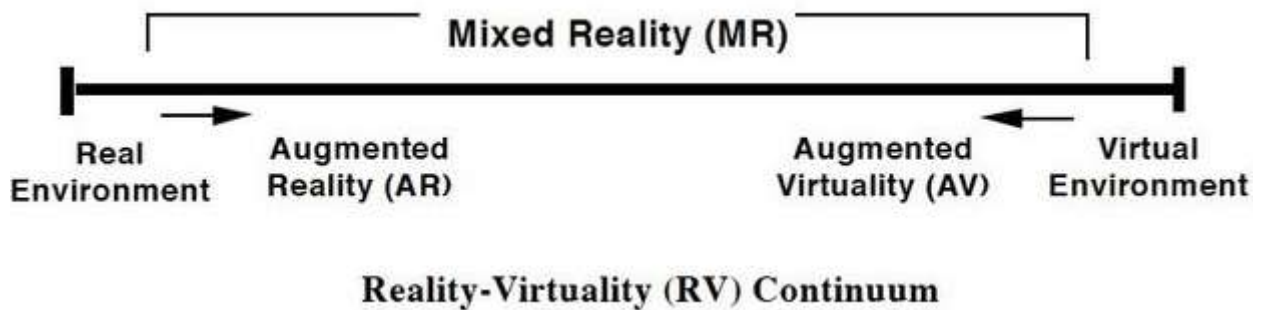


FIG. 1.25. Uno schema del “Reality-Virtuality continuum” definito da Milgram e Takemura. [Milgram, P. Takemura, H. Utsumi, A., Kishino, F. (1994), p. 283].



FIG. 1.26. Un'immagine di un CAVE - Cave Automatic Virtual Environment - sistema immersivo virtuale presentato al Siggraph'92 [CAVE Crayoland.jpg].

in verità un visore di realtà aumentata. I concetti di “realtà virtuale” e “realtà aumentata” vengono rappresentati schematicamente in quello che Paul Milgram e Haruo Takemura definiscono il «*Reality-Virtuality (RV) continuum*»⁷⁷ (fig. 1.25.). Agli estremi del *continuum* collocano i due concetti antitetici: l'ambiente reale e l'ambiente virtuale, nel quale l'utente è completamente immerso in un mondo artificiale. Tra le due estremità ci sono invece tutti gli ambienti di realtà mista, *Mixed Reality (MR)*, che presentano la coesistenza di oggetti del mondo reale e del mondo virtuale all'interno di un'unica visualizzazione. Rientrano in questa categoria i

sistemi di *Augmented Reality (AR)*, nella quale oggetti virtuali vengono visualizzati in sovrapposizione ad ambienti reali, e quelli di *Augmented Virtuality (AV)*, che consente l'interazione o la visualizzazione con oggetti reali in spazi virtuali.

Dopo i primi esperimenti degli anni '60, negli anni '80 e '90 vennero avviati numerosi laboratori di ricerca con lo scopo di sviluppare nuove tecnologie di realtà virtuale, che produssero sistemi come il *DataGlove* (1982), *Nintendo Power Glove* (1989), *Virtuality 1000CS* (1991), *SEGA VR* (1993) e il *Cave Automatic Virtual Environment* (1992) (fig. 1.26.). Quest'ultimo, chiamato anche CAVE, era costituito da un ambiente

a forma di cubo, sulle cui facce venivano proiettate immagini tridimensionali, in maniera tale da avvolgere l'utente in un mondo virtuale⁷⁸. Il sistema non faceva uso di un HMD ma esclusivamente di cuffie audio e di controller, utile ad interagire con gli oggetti visibili nella scena. Questa serie di prodotti, nonostante le funzionalità estremamente innovative, non vide una larga diffusione, sia a causa di logiche di mercato, sia per l'assenza di tecnologie e competenze in grado di sostenere e parallelamente sviluppare applicativi per il pubblico.

Solo nel XXI secolo, con lo sviluppo di sensori di movimento e di *eye-tracking*, fu possibile arrivare al primo visore moderno di realtà virtuale, l'Oculus VR (2012), che diede avvio ad uno sviluppo tecnologico esponenziale fino ad arrivare agli odierni visori come HTC Vive e Oculus Rift.

La differenza fondamentale tra la virtualità prodotta dal computer e dagli altri mezzi affrontati in precedenza (racconti, prospettiva, riviste, fotografia, cinema, ecc.), oltre a quelle già evidenziate nel corso della trattazione, è rappresentata dal ruolo che assume lo spettatore. Se fino alla creazione degli ambienti virtuali computerizzati l'utente era limitato a farne un'esperienza passiva⁷⁹, ora è libero di controllare autonomamente il punto di vista, muovendosi nello spazio (reale, nel caso dell'AR, e virtuale, nel caso della VR) e di interagire con gli oggetti e con l'ambiente generato. Come vedremo nei paragrafi seguenti, questa interattività fornita dagli strumenti virtuali ha effetto anche sulle modalità di comunicazione del patrimonio culturale. Se in precedenza la comunicazione era basata esclusivamente su un rapporto unilaterale, tra emittente e destinatario, ora, anche grazie allo sviluppo di dispositivi portatili, come gli *smartphone*, e il World Wide Web, il processo è diventato non solo "bilaterale" ma anche "partecipativo". Nel campo della rappresentazione questi sistemi espressivi, applicati in contesti museali e turistici, sono in grado

di coinvolgere attivamente lo spettatore, migliorando i processi di apprendimento e di diffusione della cultura. Cambiano così il tipo di esperienze, i prodotti culturali, i modi di costruire la conoscenza e i canali di comunicazione, e tali cambiamenti impongono necessariamente un aggiornamento ed un cambio di prospettiva, non solo nelle modalità di comunicazione del patrimonio culturale, ma anche nel metodo stesso di produzione dei contenuti.

NOTE

- ¹ Settis, S. (2007), pag. 11.
- ² Satta, G. (2013), pag. 1.
- ³ *Ibidem*.
- ⁴ Settis, S. (2007), pag. 23.
- ⁵ *Ivi*, pag. 23-24.
- ⁶ Convenzione dell'Aja (1954), art. 2-3-4.
- ⁷ Si sta facendo riferimento in particolare alla "Raccomandazione concernente la tutela della bellezza e delle caratteristiche proprie dei paesaggi e dei luoghi" del 1962.
- ⁸ UNESCO (1972). Convenzione per la protezione del patrimonio mondiale culturale e naturale (1972), art. 1:
<https://www.unesco.beniculturali.it/pdf/ConvenzionePatrimonioMondiale1972-ITA.pdf>
- ⁹ Jalla, D. (2017), pag. 16.
- ¹⁰ Commissione Franceschini (1967), dichiarazione 1.
- ¹¹ Satta, G. (2013), pag.6.
- ¹² Leombroni, C. (2014), pag. 11.
- ¹³ Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, art. 1.
- ¹⁴ Satta, G. (2013), pag. 10.
- ¹⁵ UNESCO (2003), preambolo.
- ¹⁶ *Ivi*, art. 2.
- ¹⁷ Settis, S. (2007), pag. 10.
- ¹⁸ *Ivi*, pag. 59.
- ¹⁹ Ippoliti, E., Albisinni, P. (2016), pag. E.6.
- ²⁰ D.P.C.M. 2 dicembre 2019, n. 169, Capo I - Funzioni e organizzazione del Ministero per i beni e le attività culturali e per il turismo, art. 1:
<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2020/01/21/20G00006/sg>
- ²¹ Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, art. 6.
- ²² Antinucci, F. (2014), pag. XIII.
- ²³ Eco, U. (1988), pag. 16.
- ²⁴ Mirzoeff, N. (2002), pag. 36.
- ²⁵ Bolter, J., Grusin, R. (2003).
- ²⁶ Clarke, G. (2009).
- ²⁷ McLuhan, M. (1964). Citato da Gesuele, A., Verza, V. (2003), pag. 198.
- ²⁸ Elio Teone, *Progymnasmata*, 118, 7. Citato da Stavru, A. (2017), p.20.
- ²⁹ Cometa, M. (2012), pag. 52.
- ³⁰ Stavru, A. (2017), pag. 24.
- ³¹ *L'ekphrasis* è una nozione codificata ufficialmente nel I sec d.C. da Elio Teone nei suoi esercizi preparatori (*Progymnasmata*) pensati per la formazione degli oratori.
- ³² Carpo, M. (1998), pag. 25.
- ³³ *Ivi*, pag. 26.
- ³⁴ La xilografia è una tecnica di incisione in rilievo che prevede la realizzazione di matrici per la stampa grazie all'asportazione delle parti non costituenti il disegno da una tavoletta di legno. Il disegno, rimasto così in rilievo, veniva posizionato all'interno di una forma tipografica, anche in combinazione con il testo, inchiostro e stampato.
- ³⁵ Mirzoeff, N. (2002), pag. 34.
- ³⁶ Da Vinci, L. D. 10r:
https://www.hs-augsburg.de/~harsch/italica/Cronologia/secolo15/Leonardo/leo_sc13.html.
- ³⁷ Petrucci, A. (1990).
- ³⁸ "The Illustrated London News" è considerata la prima rivista illustrata del mondo. Fondata da Herbert Ingram, fu pubblicata ininterrottamente, a diverse cadenze, dal 1842 fino al 2003. Da allora continua la sua attività con il nome ILN (Illustrated London News) come *content marketing* e *digital agency*.
- ³⁹ Emporio Pittoresco, n.1, p.1. Consultato il 20 marzo 2021 all'indirizzo
https://www.google.it/books/edition/L_emporio_pittoresco_giornale_settimanal/oDjcDwpiWJsC?hl=it&gbpv=1
- ⁴⁰ Bonacini, E. (2020), pag. 43.
- ⁴¹ Il progetto "Fumetti nei musei" promosso dal MiC, l'elenco di tutte le graphic novel realizzate e le istituzioni che hanno aderito sono disponibili al link:
<https://fumettineimusei.it/>
- ⁴² Panofsky, E. (2013), pag. 11.
- ⁴³ Bertocci, S., Bini, M. (2012), pag. 13.
- ⁴⁴ Le due tavolette rappresentavano il Battistero di S.Giovanni visto da «tre braccia all'interno della porta centrale della Cattedrale» e Piazza della Signoria ritratta dal lato occidentale. Battisti, E. (1976), pag. 103.
- ⁴⁵ Manetti, A., *Vita di Filippo Brunelleschi*. Citato da Battisti, E. (1976), pag. 103.
- ⁴⁶ Mirzoeff, N. (2002), pag. 79-80.

- ⁴⁷ De Rosa, A. (2003b), pag. 16-17.
- ⁴⁸ Hockney, D. (2002). *Il segreto svelato. Tecniche e capolavori dei maestri antichi*. Milano: Mondadori Electa.
- ⁴⁹ <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8553021s/fl.item>
- ⁵⁰ Concina, E., Reale, I. (1995). *Luca Carlevarijs. Le Fabriche e vedute di Venetia*, cat. no. 95, pag. 10.
- ⁵¹ Brunetti, M. (1930). Bella, Gabriele, in *Enciclopedia Italiana*, Treccani.
- ⁵² Ne sono un esempio alcune vedute della pittura del Seicento olandese nelle quali emerge una «particolare esigenza di generare immagini dal forte carattere “ottico” più che “prospettico”, orientate a tramutare i limiti di una prospettiva lineare in una forma decisamente innovatrice», segnando così una rottura con «l’archetipo quattrocentesco maturato nel contesto italiano». La posizione di osservazione privilegiata di un’immagine non è più subordinata ad un *punctum optimum*, elemento caro all’Aberti, ma la sua efficacia si fonda piuttosto su un «osservatore dinamico, in movimento, svincolato dalla posizione statica risacimentale». Per approfondimenti vedasi: D’Acunto, G. (2003). Nascosto nei ‘punti di distanza’: osservatore e teoria prospettica nell’opera di H. Vredeman de Vries. In A. De Rosa (Ed.), *Lo sguardo denigrato ruolo dell’osservatore nell’era della rappresentazione digitale* Seminario di Studi, Venezia 30-31 ottobre 2003 (Imago rerum 1) (pp. 59-71). Venezia Padova: IUAV Il Poligrafo; Hockney, D. (2002). *op. cit.*
- ⁵³ Clarke, G. (2009), pag. 10.
- ⁵⁴ William Talbot brevettò nel 1841 un procedimento fotografico che consentiva lo sviluppo di immagini riproducibili con la tecnica del negativo/positivo. L’immagine fotografica, a differenza del dagherrotipo, era diventata riproducibile.
- ⁵⁵ Clarke, G. (2009), pag. 10-11.
- ⁵⁶ Mirzoeff, N. (2002), pag. 36-37.
- ⁵⁷ Ponti, G. (1932), pag. 285.
- ⁵⁸ Aterini, B. (2018), pag. X.
- ⁵⁹ Clarke, G. (2009). Pag. 17.
- ⁶⁰ Gaiani, M. (2003). Elementi per un approccio al disegno a partire dalla sua dimensione temporale. Dalla ‘visione’ alla grafica in tempo reale attraverso il disegno come modello per la costruzione. In A. De Rosa (a cura di) (2003a), pp. 341-354, pag. 344.
- ⁶¹ Clarke, G. (2009), pag. 26.
- ⁶² *Ivi*, pag. 23.
- ⁶³ Talbot, W. (2010), pag. 1.
- ⁶⁴ Clarke, G. (2009), pag. 49-51.
- ⁶⁵ Crary, J. (1990). *Techniques of the Observer. On Vision and Modernity in the Nineteenth Century*. Cambridge: MIT Press.
- ⁶⁶ Basti pensare alle innumerevoli trasmissioni televisive condotte da Piero Angela a partire dagli anni ‘70, con “Destinazione uomo” prima e la celebre “Quark” poi, che ha aperto la strada al filone documentaristico nella televisione italiana. La tipologia del documentario è diffusa oggi anche mediante le piattaforme web. Ne sono un esempio i portali “MemoMI”(<https://memomi.it/>), progetto nato nel 2014 con l’obiettivo di fornire uno strumento educativo per la scoperta e la memoria della città di Milano, o il progetto “Documentando. Archivio del Documentario italiano” (<https://documentando.org/it/home>), piattaforma aperta nel 2022 allo scopo di rendere disponibili in *streaming* documentari realizzati da autori italiani.
- ⁶⁷ Scremin, P. (2003). Critofilm, *Enciclopedia Treccani*.
- ⁶⁸ <https://www.fondazionezagghianti.it/2582-2/>
- ⁶⁹ Mostra online “Il paesaggio toscano nei critofilm di Carlo Ludovico Ragghianti”:
<https://centropatos.it/il-paesaggio-toscano-nei-critofilm-di-carlo-ludovico-zagghianti/>
- ⁷⁰ Gerosa, M. (2021). Il virtuale analogico, la realtà virtuale e il postvirtuale nell’arte di Samantha Torrisi. *Artribune*.
<https://www.artribune.com/arti-visive/arte-contemporanea/2021/01/virtuale-pittura-samantha-torrisi/>
- ⁷¹ Mirzoeff, N. (2002), pag. 145.
- ⁷² Quici, F. (2003), pag. 99.
- ⁷³ Cometa, M. (2016), pag. 40.
- ⁷⁴ Mirzoeff, N. (2002), pag. 149.
- ⁷⁵ Parrinello, S., Picchio, F., Dell’Amico, A. (2019), pag. 214.
- ⁷⁶ McLellan, H. (2004), pag. 462
- ⁷⁷ Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., Kishino, F. (1994), pag. 283.
- ⁷⁸ Cruz-Neira, C., Sandin, D., DeFanti, T., Kenyon, R., Hart, J. (1992).
- ⁷⁹ Mirzoeff, N. (2002), pag. 150.



CAPITOLO 2

LE INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES (ICT) E IL PATRIMONIO CULTURALE

Dalla seconda metà del XX secolo la rivoluzione digitale, con lo sviluppo di tecnologie informatiche alla portata di tutti e di una rete di connessione globale, ha contribuito ad uno «spostamento dal paradigma meccanico a quello elettronico»¹ che ha influito, non solo sui metodi di comunicazione ed i relativi contenuti, ma anche sulle meccaniche di interazione tra utente e rappresentazione. Fino ad allora la realtà era documentabile e trasmissibile attraverso un unico punto di vista, scelto a discrezione di colui che realizzava la rappresentazione, mentre ora le nuove tecnologie informatiche consentono di restituire un'immagine del mondo “navigabile” dotata di innumerevoli punti di vista ed interpretazioni. Nel capitolo precedente abbiamo potuto osservare come ogni epoca, in base al suo contesto culturale e alla disponibilità di tecnologie, abbia sviluppato e realizzato una propria idea di rappresentazione, al fine di sperimentare ed attuare metodi sempre più immediati per la comunicazione della cultura, in un'ottica progressivamente più inclusiva ed interattiva. Oggi, con la rivoluzione dei media digitali, i mezzi comunicativi hanno perso la loro classica “fisicità” e la loro “permanenza” in favore di mezzi più flessibili ed in costante mutamento, integrabili e adattabili

al mutare delle esigenze di comunicazione. Grazie alle tecnologie digitali, e a Internet e al World Wide Web in particolare, i nuovi media sono diventati uno strumento indispensabile per condividere conoscenza in tutto il mondo. Oltre ad alimentare la crescita dei mercati hanno consentito ad abbattere i «confini fisici, geografici e culturali»², offrendo possibilità di comunicazione e partecipazione mai viste prima. Attraverso i computer e i dispositivi portatili l'utente può infatti svincolarsi dai luoghi fisici della fruizione ed accedere in un “mondo virtuale” in cui avere immediata disponibilità di una grande quantità di dati. «Questo spazio virtuale è indipendente dal luogo in cui il visitatore si trova; costituisce un flusso, uno spazio dei flussi, costantemente disponibile, cui l'utente può accedere in ogni momento»³. Inoltre, consentono di integrare l'esperienza diretta della realtà con una pluralità di contenuti multimediali che mirano ad «agevolare la comprensione, a chiarire aspetti di complessità, a presentare i concetti in modo più chiaro e conciso, a rendere più esplicite e fruibili le informazioni»⁴. Perciò la grande rivoluzione dei nuovi media è che, rispetto a quelli precedenti, consentono un accesso illimitato all'informazione, da qualunque luogo e a qualunque momento. Possibilità

FIG. 2.1. Un'immagine di “Cezanne, the Lights of Provence” in programmazione al museo Atelier des Lumières, Parigi [<https://www.atelier-lumieres.com/en/cezanne>].

fornita in primo luogo dalla creazione di dispositivi portatili sempre più performanti e in secondo luogo dalla rapidissima ricerca nel campo delle reti di connessione mondiale. L'utente fisico si è trasformato quindi in un «utente remoto» che, come afferma Paolo Galluzzi «non si appaga dell'»aura» magica delle sale dei musei» e che, ora, «più che di evocazioni egli è in cerca di informazioni»⁵.

Le cosiddette *Information and Communication Technologies* (ICT) rappresentano l'insieme delle tecnologie («componenti, sistemi e programmi software) che consentono la rappresentazione, l'organizzazione, l'elaborazione e lo scambio delle informazioni»⁶ attraverso la trasmissione dati di varia natura: testuali, visivi, uditivi, ecc., o una combinazione di questi, chiamati appunto «contenuti multimediali». Le ICT nonostante siano un tema strettamente informatico e tecnologico sono ormai permeate in tutti i settori della nostra società rivestendo un ruolo sempre più centrale in ogni aspetto della vita. Negli ultimi decenni abbiamo assistito ad un uso sempre più massiccio di queste tecnologie all'interno del settore dei beni culturali, del quale ne hanno trasformato i tradizionali sistemi di gestione, studio e ricerca, diagnosi, restauro, tutela, comunicazione-divulgazione, formazione e fruizione⁷. Inoltre, hanno avuto un grande impatto anche sui sistemi di creazione, produzione e distribuzione dei prodotti culturali, nei quali i processi di digitalizzazione hanno attuato una vera e propria rivoluzione. Da una prima applicazione per la conservazione e la gestione degli archivi, le tecnologie digitali si sono affermate anche in contesti museali ed espositivi, andando ad affiancare contenuti integrativi virtuali (informazioni, dati multimediali, modelli 3D, applicazioni interattive, ecc.) alla visita fisica o creando da zero esperienze di fruizione virtuale indipendenti da un luogo reale, «generando un decisivo salto di qualità nella comunicazione e nelle modalità di visita»⁸.

Il capitolo affronta le tematiche dell'ICT in relazione al patrimonio culturale evidenziando quelli che sono stati i maggiori cambiamenti innescati dalle nuove tecnologie sia nella concezione stessa di patrimonio culturale che nelle modalità di comunicazione e fruizione, focalizzando l'attenzione in particolare sull'evoluzione dei contesti museali e sulla nascita dei cosiddetti «musei virtuali».

2.1. DA *CULTURAL HERITAGE A* *DIGITAL CULTURAL HERITAGE*

L'avvento delle tecnologie e di Internet ha profondamente cambiato il modo in cui il patrimonio culturale viene creato, usato e disseminato. In particolare, le innovazioni tecniche hanno contribuito alla conversione degli oggetti culturali, da una forma analogica ad una digitale, producendo una grande quantità di risorse disponibili virtualmente: antichi manoscritti, dipinti, fotografie, film, modelli 3d, ecc. Ma ancora di più ha portato all'estensione del concetto stesso di bene culturale e alla formazione di un vero e proprio «nuovo» patrimonio culturale. Quest'ultimo, costituito dall'insieme delle trasposizioni digitali di un bene fisico, da ricostruzioni storiche o da opere *born digital*, ovvero presenti esclusivamente in formato digitale, consente di istituire nuove connessioni tra oggetti, luoghi o entità contribuendo così ad ampliare le sue possibilità rappresentative e comunicative. Nonostante la perdita dell'»autenticità» e dell'»aura» di un'opera in seguito alla sua riproduzione, teorizzata da Walter Benjamin con il concetto di riproducibilità dell'opera d'arte⁹, la digitalizzazione si pone oggi come un processo essenziale al fine di istituire nuove possibilità di valorizzazione, lettura, fruizione, tutela, per garantire al cittadino una migliore accessibilità alla cultura e alla memoria del passato.

Tuttavia, mentre l'aumento delle capacità tecnologiche

ha presentato ai responsabili delle politiche e alle istituzioni culturali una serie di nuove opportunità per modellare il quadro del patrimonio culturale, ha anche comportato sfide significative, specialmente in termini di conservazione del patrimonio¹⁰. Infatti, a causa di molteplici minacce, come la «rapida obsolescenza dell'hardware e del software»¹¹ di creazione e di archiviazione, esso rischia di andare perduto. La *Carta della Conservazione del Patrimonio Digitale*, adottata da UNESCO nel 2003, ha avuto proprio il ruolo di definire la centralità del *Digital Heritage* e la necessità di identificare indirizzi e strategie di conservazione al fine di garantirne la sopravvivenza e fruizione pubblica. Il *Digital Heritage* viene definito dall'art.1 della Carta come:

«...un'insieme di risorse insostituibili di conoscenza ed espressione umana. Esso comprende risorse culturali, formative, scientifiche e amministrative, come anche informazioni di natura tecnica, giuridica, medica e di altro genere, create in digitale, o convertite in forma digitale a partire da risorse analogiche già esistenti. Se si tratta di risorse "create in digitale", l'unico formato è l'oggetto digitale.»¹²

Tali risorse digitali «di informazione e espressione creativa», «prodotte, distribuite, rese accessibili e mantenute in forma digitale», costituiscono un vero e proprio patrimonio in grado di ampliare «le opportunità di creazione, comunicazione e condivisione di conoscenza tra tutti i popoli»¹³. Per questo motivo la Carta stabilisce la necessità di fondare le strategie di conservazione su politiche comuni e su un chiaro quadro di riferimento giuridico, tecnico ed istituzionale, innescando processi di cooperazione e partenariato tra esperti del settore digitale e istituzioni pubbliche. Le *Recommendation concerning the Preservation of, and Access to, Documentary Heritage including in Digital Form* del 2016 e successive linee guida, integrano i contenuti della Carta del 2003, fornendo una base

legislativa e di applicazione per quanto riguarda l'identificazione, la conservazione, l'accesso al *documentary heritage*, le misure politiche e gli standard per cooperazione nazionale ed internazionale.

Per affrontare queste sfide UNESCO ha individuato la necessità di un approccio mirato attraverso misure adeguate in termini di creazione, mantenimento e gestione di materiali digitali. L'organizzazione ha quindi sviluppato una serie di principi guida per gli stati membri, le istituzioni culturali e gli altri soggetti coinvolti in questo compito, tra i quali:

a) Selezionare cosa conservare.

La selezione preventiva del patrimonio digitale è considerata il primo passo per la sua conservazione. Secondo la Carta i processi di selezione devono avvenire in base a criteri stabiliti dal singolo Paese, ma basati principalmente sul valore culturale, scientifico o di altro genere, dando precedenza al patrimonio *born digital*.

b) Continuità del digitale.

Le azioni di conservazione del patrimonio digitale devono essere finalizzate ad una sua conservazione a lungo termine, attraverso misure «relative all'interno ciclo di vita dell'informazione digitale, dalla creazione all'accesso»¹⁴.

c) Garantire l'accesso al patrimonio.

Gli Stati devono promuovere e facilitare l'accesso al patrimonio digitale e il suo utilizzo, in maniera il più possibile inclusiva, provvedendo a fornire servizi, strumenti di ricerca e contenuti aggiornati, attenendosi agli standard internazionali e a criteri di interoperabilità.

d) Garantire l'integrità e l'autenticità del patrimonio digitale.

È necessario definire un quadro tecnico e

giuridico di riferimento al fine di prevenire la manipolazione e l'alterazione del patrimonio digitale e di garantire l'autenticità dei documenti e dei contenuti.

Il *Digital Cultural Heritage* viene pertanto considerato al pari del patrimonio culturale materiale ed immateriale e come quest'ultimo necessita azioni di salvaguardia e tutela che ne garantiscano la sua permanenza e conservazione, attraverso l'applicazione di protocolli condivisi nella produzione dei contenuti digitali e nella loro gestione.

2.2. COMUNICARE IL PATRIMONIO CULTURALE ATTRAVERSO LE ICT

Nella prima parte della tesi abbiamo osservato come fino alla fine del XIX secolo la comunicazione e la trasmissione di informazioni culturali ad un pubblico diffuso avveniva specialmente grazie alle possibilità di riproduzione meccanica dell'immagine e del testo fornite dall'invenzione della stampa. Se fino ad allora il cittadino aveva a disposizione soprattutto supporti cartacei, come libri, gazzette, riviste, per conoscere un luogo, monumento o una determinata cultura lontana, dal XX secolo, con la progressiva industrializzazione dei processi di produzione e distribuzione, si diffusero capillarmente i supporti audiovisivi e di comunicazione di massa, come televisione, radio ecc. Le possibilità di comunicazione si ampliarono ulteriormente nel XXI secolo quando le immagini acquisirono progressivamente sempre più risoluzione e i supporti divennero sempre più trasportabili e, con l'avvento di internet, connessi, fino ad instaurare dei sistemi comunicativi non più basati su un processo unilaterale ma su un processo "partecipativo". Le nuove tecnologie della comunicazione hanno così contribuito alla creazione di nuovi legami sociali e di condivisione fondati sulla

collaborazione, formando quella che Pierre Levy definisce «intelligenza collettiva»¹⁵, con la quale ogni individuo non fa più appello esclusivamente alla propria memoria ma ad un sapere ora diffuso. Le nuove realtà mediatiche hanno subito perciò profondi mutamenti e di conseguenza i limiti delle applicazioni delle nuove tecnologie nei settori culturali sono stati via via ridefiniti: da visualizzazioni racchiuse all'interno di cornici a mondi virtuali completamente fruibili nei quali i vincoli imposti dalle leggi che regolano il mondo fisico vengono meno. Le nuove modalità comunicative e di fruizione del patrimonio culturale contribuiscono pertanto ad incrementare le possibilità di valorizzazione dei beni culturali, innescando non solo una crescita culturale ma al contempo una crescita economica e sociale. Come afferma Oppedisano «il bene culturale nell'ambito della comunicazione può assumere la connotazione di prodotto culturale, articolandosi in un complesso di connessioni nelle quali gli artefatti crescono di valore in relazione alla diffusione e condivisione sociale che sono capaci di raccogliere.»¹⁶ Per questo motivo diviene evidente la necessità di applicare regole codificate poiché «il passaggio da una società dei consumi ad una società della consapevolezza, non può avviarsi senza il contributo di una cultura del progetto capace di riesaminare anche il ruolo della comunicazione»¹⁷.

Quando si parla di comunicazione si intende «il modo per trasferire conoscenze, informazioni, da qualcuno che le ha a qualcuno che non le ha»¹⁸, identificati nelle figure dell'emittente e del destinatario. La peculiarità della trasmissione della cultura, costituita da beni culturali materiali ed immateriali, è che gli oggetti della comunicazione sono essi stessi segni e in quanto tali devono essere messi in condizione di svolgere il loro «atto comunicativo, che è alla base della loro generazione e costituzione»¹⁹. Lo scopo della comunicazione del patrimonio culturale è

perciò quello di consentire al destinatario di arrivare a comprendere il bene, attraverso la messa in pratica di tutte le strategie necessarie. La condizione di accesso fisico al bene, in un'epoca in cui il digitale consente di essere "sempre e ovunque", non è più strettamente necessaria. Diventa però sempre più fondamentale mettere in opera «un processo di interpretazione dei beni che sia attento e documentato e che utilizzi linguaggi, strumenti e modalità chiari e diversificati in ragione delle esigenze delle diverse categorie di pubblico»²⁰. In questo il settore del Rilievo e Rappresentazione gioca un ruolo fondamentale, in quanto consente di strutturare una solida base scientifica sulla quale è possibile fondare i processi di interpretazione ed elaborare eventuali strategie di comunicazione e di conoscenza.

Come scrive Antinucci in riferimento alla comunicazione di un'opera d'arte, il processo di comprensione di un'opera necessita di due stadi: la "lettura" e l'"interpretazione"²¹. Questo processo può però facilmente essere applicato al patrimonio culturale nel suo insieme, sia ad una singola opera d'arte o a un sito naturale, archeologico o monumentale che ad un patrimonio diffuso.

La "lettura" è definita come quel processo di lettura del segno, ovvero di acquisizione del significante, che permette di rendere appunto leggibile l'opera. È quindi l'insieme di azioni alla base del processo di comunicazione, senza le quali il processo di interpretazione non potrebbe neppure iniziare. La lettura può essere eseguita attraverso una restituzione svolta direttamente sull'opera o su un suo "simulacro". Mentre la prima comprende tutte quelle azioni legate al restauro, il secondo caso comprende le modalità di restituzione "virtuale" che si sono rese possibili in seguito alla forte diffusione delle tecnologie informatiche. Attraverso le nuove tecnologie, infatti, è possibile eseguire riproduzioni fedeli all'originale, visualizzare ipotesi ricostruttive differenti nel caso

di resti archeologici, senza intervenire direttamente sull'opera reale.

L'"interpretazione" è il passaggio dal significante al significato e si attua fornendo all'osservatore conoscenze contestuali (contesto) e l'"iconografia" (codice), identificazione di figure, luoghi, eventi, ecc. Sono parte del processo di interpretazione, ad esempio, le scelte cinematografiche all'interno di una sequenza filmica o la composizione all'interno di un'immagine, che prediligono una inquadratura rispetto ad un'altra o operano un montaggio ponderato al fine di comunicare determinati concetti, o infine le scelte progettuali all'interno di un progetto di valorizzazione digitale. ICOMOS nella *Charter for the Interpretation and Presentation of Cultural Heritage sites* (2008) definisce l'interpretazione come «l'intera gamma di potenziali attività destinate a sensibilizzare e migliorare la comprensione pubblica del patrimonio culturale. Queste possono includere le pubblicazioni cartacee ed elettroniche, le conferenze pubbliche, installazioni on-site ed off-site strettamente interconnesse, programmi educativi, attività comunitarie e ricerca in corso, formazione e valutazione del processo interpretativo stesso»²².

Al procedimento dell'interpretazione ICOMOS fa seguire la "presentazione" che invece «indica specificamente la comunicazione [...] dei contenuti interpretativi attraverso la disposizione di informazioni interpretative, l'accesso fisico, e le infrastrutture interpretative in un sito del patrimonio culturale.» Queste informazioni possono essere trasmesse attraverso diversi mezzi: «elementi come pannelli informativi, allestimenti di tipo museale, tour a piedi formalizzati, conferenze e visite guidate, applicazioni multimediali e siti web»²³.

È attraverso questo procedimento che il messaggio giunge al destinatario sotto forma di messaggi verbali, che vengono elaborati in modalità "analitico-costruttiva", o visivi, elaborati in modalità "senso-

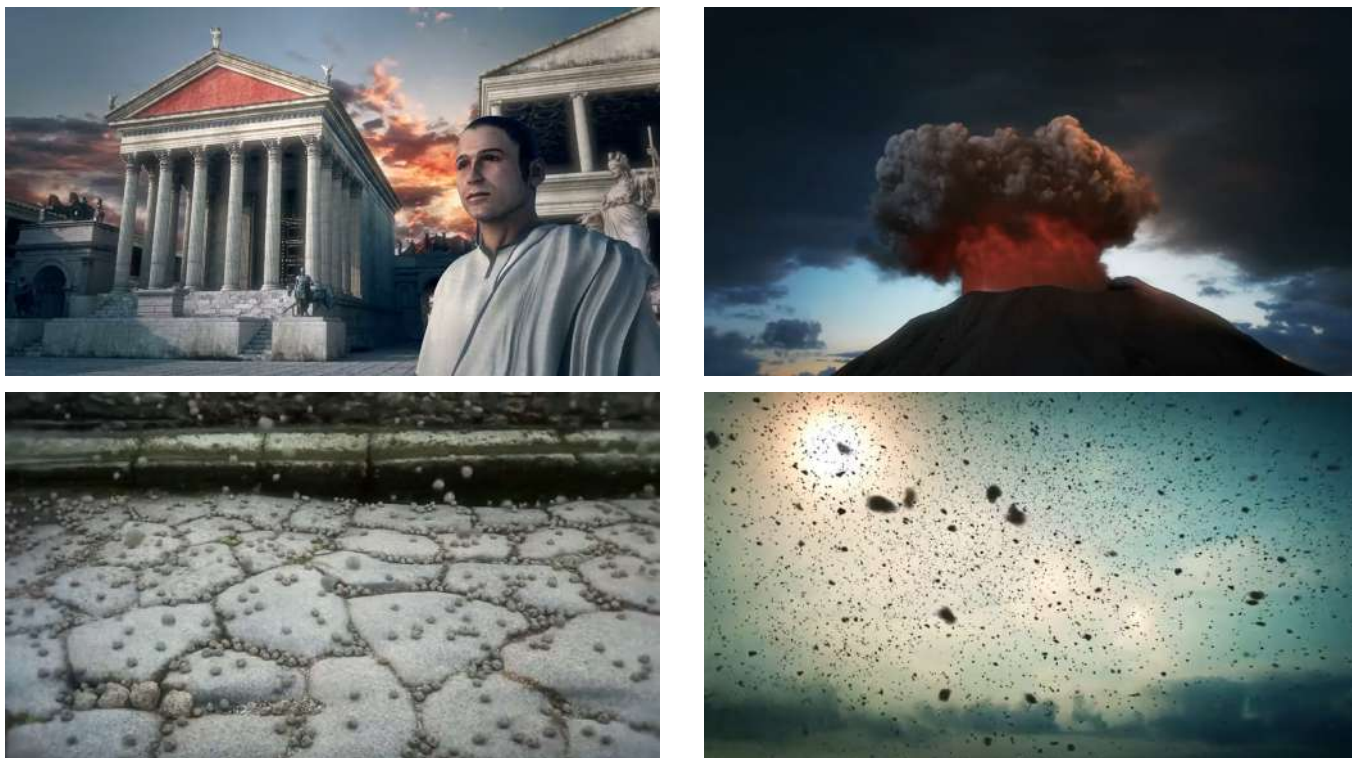


FIG. 2.2. Alcuni frame del video di “Pompei 3D. Una storia sepolta”, progetto realizzato nel 2015 da Archeo Tour, che propone in forma di docu-drama animato la messa in scena dell’ultimo giorno di Pompei, prima dell’eruzione del Vesuvio [https://www.youtube.com/watch?v=8YhuWT7am3k&ab_channel=FEDERCRALITALIA].

motoria”. La potenza delle tecnologie digitali per la trasmissione della cultura risiede nella possibilità di veicolare le informazioni non solo attraverso la modalità “analitico-ricostruttiva”, che opera lentamente «elemento per elemento, sequenzialmente [...] e in modo conscio»²⁴, ma specialmente attraverso la modalità “senso-motoria”, una modalità “olistica” che al contrario dell’altra «opera molto velocemente e, soprattutto, in maniera del tutto inconscia»²⁵. La possibilità di entrare in mondi virtuali, spostarsi, osservare ed interagire con ciò che vi è contenuto innesca processi di percezione più naturali, legati alla nostra realtà di vivere il mondo fisico e di farne esperienza. Gli strumenti digitali «hanno sostanzialmente modificato, ampliandolo, il tradizionale processo della comunicazione, agendo nel

profondo della relazione tra fruitore [...], strumento [...] e messaggio»²⁶. Se prima la comunicazione era unidirezionale, ora tra gli attori in gioco si instaurano dei rapporti trasversali, in cui il destinatario non è più il punto di arrivo di un messaggio ma piuttosto una figura attiva da cui si originano nuove strategie di rappresentazione e comunicazione del patrimonio culturale.

Infine, il processo della comunicazione per essere efficace deve essere supportato dalla “motivazione” del destinatario che lo spinge a compiere il processo cognitivo di comprensione²⁷. Per questo sarebbe opportuno adottare forme di comunicazione che siano più “attraenti” di altre al fine di mantenere il livello di interesse tale da non abbandonare il processo cognitivo. Antinucci le divide le forme di

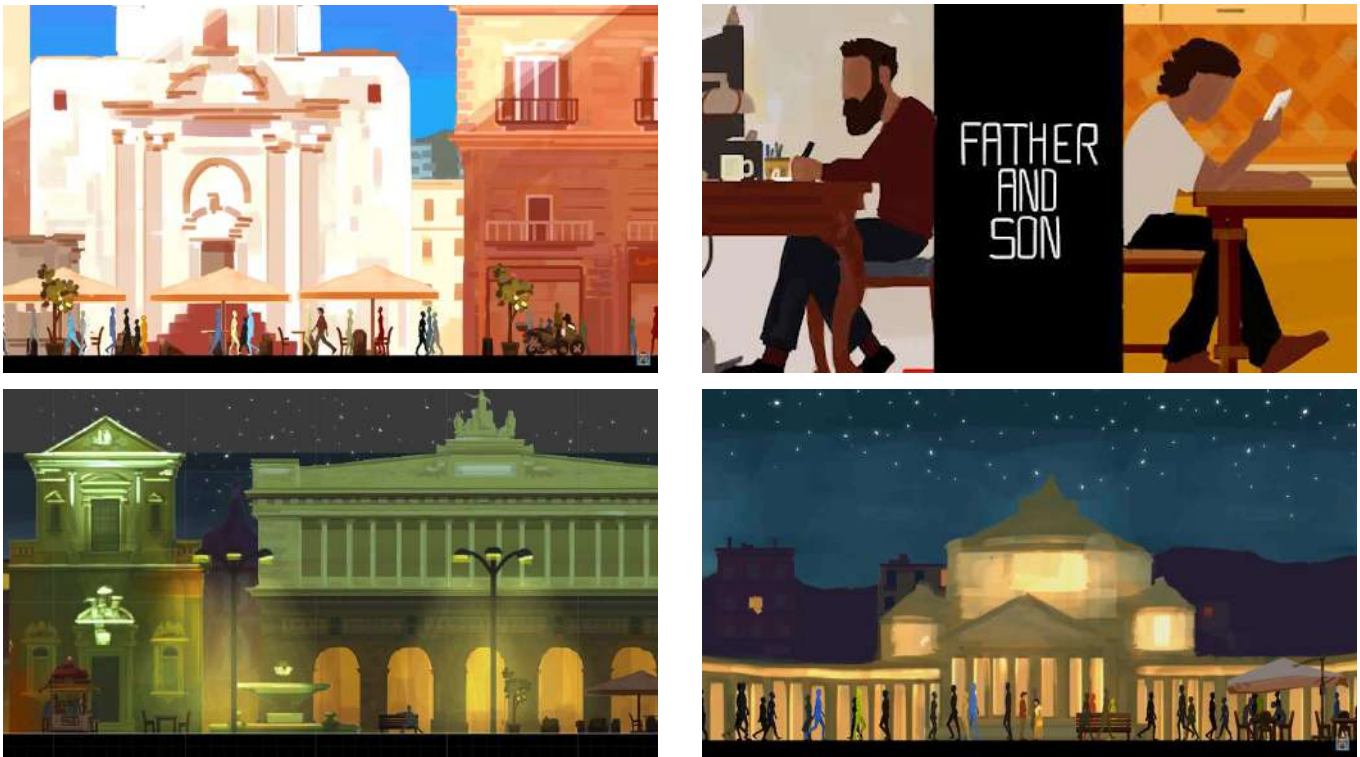


FIG. 2.3. Il gioco “Father and Son” (2013) sviluppato da TuoMuseo per il MANN di Napoli. Attraverso la forma del videogioco e la dimensione narrativa il fruitore ripercorre diverse epoche storiche al fine di scoprire le collezioni ospitate dal Museo: pompeiana, Farnese ed egizia [screenshot tratti dal gioco].

comunicazione in “descrittivo-esplicativa” (vengono riportati in forma descrittiva dati e informazioni in forma orale, scritta o visiva), forma del “racconto” (informazioni narrate come storia) e forma della “drammatizzazione” (azione e dialogo da parte dei personaggi).

2.2.1. Il *digital storytelling*

La ricerca di metodi di comunicazione del patrimonio sempre più coinvolgenti e inclusivi ha da tempo rifocalizzato la propria attenzione verso strategie che coniugano le nuove tecnologie digitali a strutture fortemente narrative. Il *digital storytelling* rappresenta oggi una delle tecniche di comunicazione a disposizione delle istituzioni culturali, attraverso

la quale sperimentare nuove forme del narrare e nuovi linguaggi. Lo “storytelling”, letteralmente “raccontare una storia”, è un processo comunicativo che sfrutta il narrato per creare racconti ricchi di significati ed informazioni, «contribuendo a costruire esperienza e senso di appartenenza intorno a un patrimonio condiviso, così riuscendo a trasmettere, orizzontalmente (tra contemporanei) o verticalmente (tra generazioni) valori e contenuti culturali»²⁸. Se lo *storytelling* come forma comunicativa si è sviluppato parallelamente alla storia della cultura umana, il *digital storytelling* è nato nei primi anni '90, con la diffusione delle tecnologie digitali e con le sperimentazioni del *Centre for Digital Storytelling* di San Francisco e dell'*American Film Institute* di Los Angeles²⁹. Rispetto ai primi progetti, in cui l'utente veniva coinvolto solo

per fornire *feedback* in seguito ad una visita, ora le applicazioni, specialmente grazie al Web e ai social media, sono arrivate a coinvolgerlo attivamente innescando processi co-creativi e pro-attivi, nell'ottica di attuare politiche di *audience development* e *audience engagement*. Oltre a favorire il coinvolgimento e la comunicazione bidirezionale tali applicazioni favoriscono la creazione del senso di appartenenza a una comunità, come abbiamo visto elemento imprescindibile per garantire la valorizzazione del patrimonio culturale. La narrazione del patrimonio attraverso storie, aneddoti e curiosità avvicina il fruitore, con il quale si instaura una "connessione emotiva", facilitando la "accessibilità cognitiva" che, come fa notare Elisa Bonacini citando Anna Maria Marras, oltre alla accessibilità fisica e digitale è «la prima forma di accessibilità che si deve poter garantire, in termini di inclusione culturale e sociale»³⁰. I nuovi strumenti digitali, attraverso ricostruzioni immersive ed effetti sensoriali, consentono di amplificare tale connessione emotiva con il fruitore e di creare nuove strutture narrative, nelle quali viene presa in considerazione la capacità dell'utente di interagire con il mondo virtuale. Come già faceva notare Palombini nel 2012, «tutto ciò offre anche potenzialità enormi e facilmente intuibili per l'apprendimento. Intanto perché l'interattività del visitatore, il suo dover agire all'interno della cornice divulgativa, lo porta a non essere più un fruitore passivo di informazioni, ma un soggetto che cerca autonomamente un proprio percorso esplicativo, con evidente potenziamento della curiosità e della ricettività culturale; poi perché le nuove strutture consentono di disseminare informazioni molteplici che non sono più legate a un singolo reperto decontestualizzato ma, come elementi di un contesto narrativo vissuto emotivamente, possono essere fruite in modo più o meno ripetitivo, fornendo contemporaneamente all'utente un bagaglio utile al proseguimento dell'esperienza stessa»³¹.

2.3. IL CAMBIAMENTO NEI CONTESTI ESPOSITIVI E MUSEALI

«Il museo è un'istituzione permanente, senza scopo di lucro, al servizio della società, e del suo sviluppo, aperta al pubblico, che effettua ricerche sulle testimonianze materiali ed immateriali dell'uomo e del suo ambiente, le acquisisce, le conserva, e le comunica e specificatamente le espone per scopi di studio, educazione e diletto.»³²

La definizione di museo elaborata da ICOM durante la XX^o assemblea evidenzia la pluralità di funzioni che un museo ha il compito di assolvere, con il fine principale di mettersi a servizio della società. Per compiere la sua missione quindi il museo odierno deve necessariamente aprirsi al pubblico ed instaurare un nuovo rapporto con i visitatori, ai quali proporre nuove modalità di fruizione e conoscenza, e con strutture esterne, in qualità di partner e collaboratore³³. Già nel 1917 John Cotton Dana sottolinea la vocazione sociale dei musei nel suo libro *The New Museum* in cui scrive: «Un buon museo attrae, intrattiene, crea curiosità, promuove l'apprendimento. [...] Il museo può aiutare le persone solo se queste lo utilizzano; lo utilizzeranno solo se lo conoscono e solo se l'attenzione all'interpretazione degli oggetti è posta in modo che le persone possano capirla». Il museo, inteso come istituzione che conserva ed espone (che siano indipendentemente opere d'arte, monumenti, città, siti archeologici, tradizioni, culture, ecc.), è forse il luogo in cui la centralità del tema della comunicazione del patrimonio si è fatta nel tempo più pressante ed è all'interno di questo contesto che si sono realizzati i cambiamenti più importanti nelle modalità di fruizione e comunicazione.

Il museo da sempre è stato un luogo in grado di mutare il proprio aspetto e adattarsi alle diverse esigenze scaturite dal progredire del sapere scientifico e tecnologico. Nati come spazi dedicati alla



FIG. 2.4. Una raffigurazione del museo di Ferrante Imperato contenuta nella sua opera "Dell'istoria naturale" (1599) [Ritratto.MuseoFerranteImperato.jpg].

discussione, allo studio ed alla ricerca, costituiscono oggi dei veri e propri centri di «intermediazione del sapere»³⁴ e di mediazione fra cultura e società. Il museo odierno, come istituzione aperta al pubblico, ha origine dalle raccolte di oggetti e collezioni private che nell'antichità possiamo ritrovare sottoforma di rari "tesori"³⁵. Questi tesori raccoglievano una grande varietà di oggetti con gli intenti più variegati: gli oggetti potevano essere raccolti per motivi di culto, accumulati nei *thesauroi* dei templi o come offerte

votive nelle tombe dei defunti; a scopi celebrativi e come dimostrazione di potenza, come nel caso dei bottini di guerra; per ragioni mistiche e contemplative, come la vasta collezione di oggetti sacri e profani dell'abate cistercense Suger. A differenza del periodo Medievale, durante il quale l'interesse per l'antico e l'arte classica era quasi esclusivamente dettato da finalità strumentali (*spolia*), nel corso del XIII e XIV secolo si afferma l'idea della centralità del mondo classico, il quale rappresenta l'esempio su

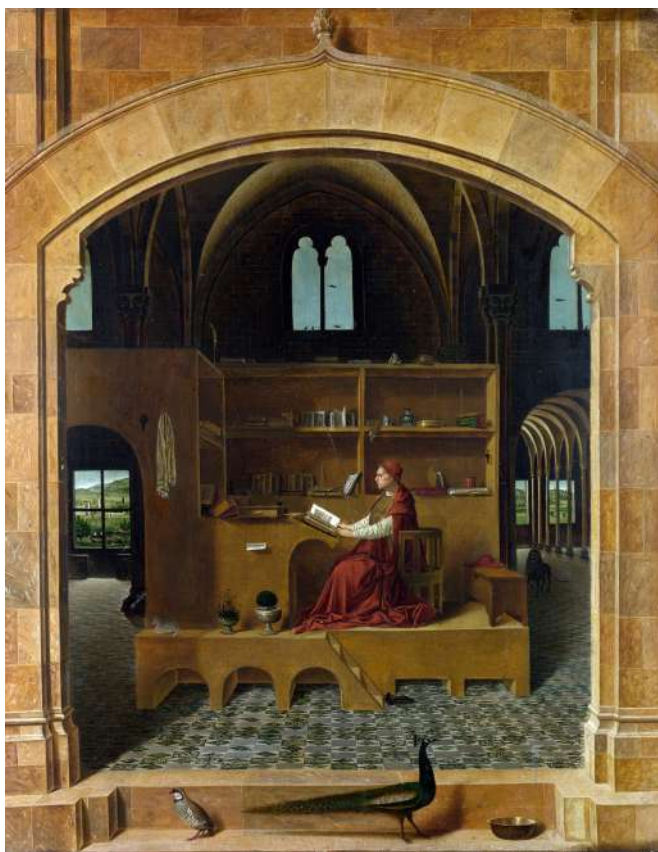


FIG. 2.5. A sinistra “San Girolamo nello studio” di Antonello da Messina (1474 ca.), National Gallery, London [Antonello da Messina - St Jerome in his study - National Gallery LondonFXD.jpg]. A destra lo studiolo di Francesco I de’ Medici (1570 ca.) a Palazzo Vecchio [Vista del Studiolo de Francisco I.jpg].

cui modellare la propria vita. Così, assieme a questo rinnovato modello culturale, nascono gli “studioli” umanistici, luoghi deputati sia alla conservazione delle opere d’arte che allo studio ed alla riflessione³⁶. All’interno di questi ambienti gli oggetti culturali acquistano così un ruolo evocativo: gli oggetti diventano, come li definisce Krzysztof Pomian, “semiofori”, ovvero elementi che, al di là della loro funzione originaria e del loro valore venale, sono dei portatori di significato e sono in grado di creare un collegamento diretto con il passato da cui derivano³⁷. Parallelamente alle collezioni principesche, raccolte nei vari “studioli” (fig. 2.5.) o nelle “quadrerie”, nel XVI secolo si affermano anche i cosiddetti “teatri

della natura”, collezioni naturalistiche formate allo scopo di raccogliere, osservare e studiare gli oggetti naturali, tra le quali la più rinomata fu senz’altro quella del naturalista bolognese Ulisse Aldrovandi (1522-1605). Lo stesso interesse per la natura è condiviso anche dalle *Wunderkammern* (camere delle meraviglie) (fig. 2.4.) di tradizione nord-europea, con le quali condividono inoltre le modalità di presentazione degli oggetti: disposti sulle pareti, in scaffalature e persino sul soffitto, a saturare completamente lo spazio a disposizione. Gli oggetti comprendevano *Naturalia* (come piante, animali impagliati, muschi, pietre), *Artificialia* (ad esempio opere d’arte, strumenti meccanici, giochi, profumi), e *Merabilia*

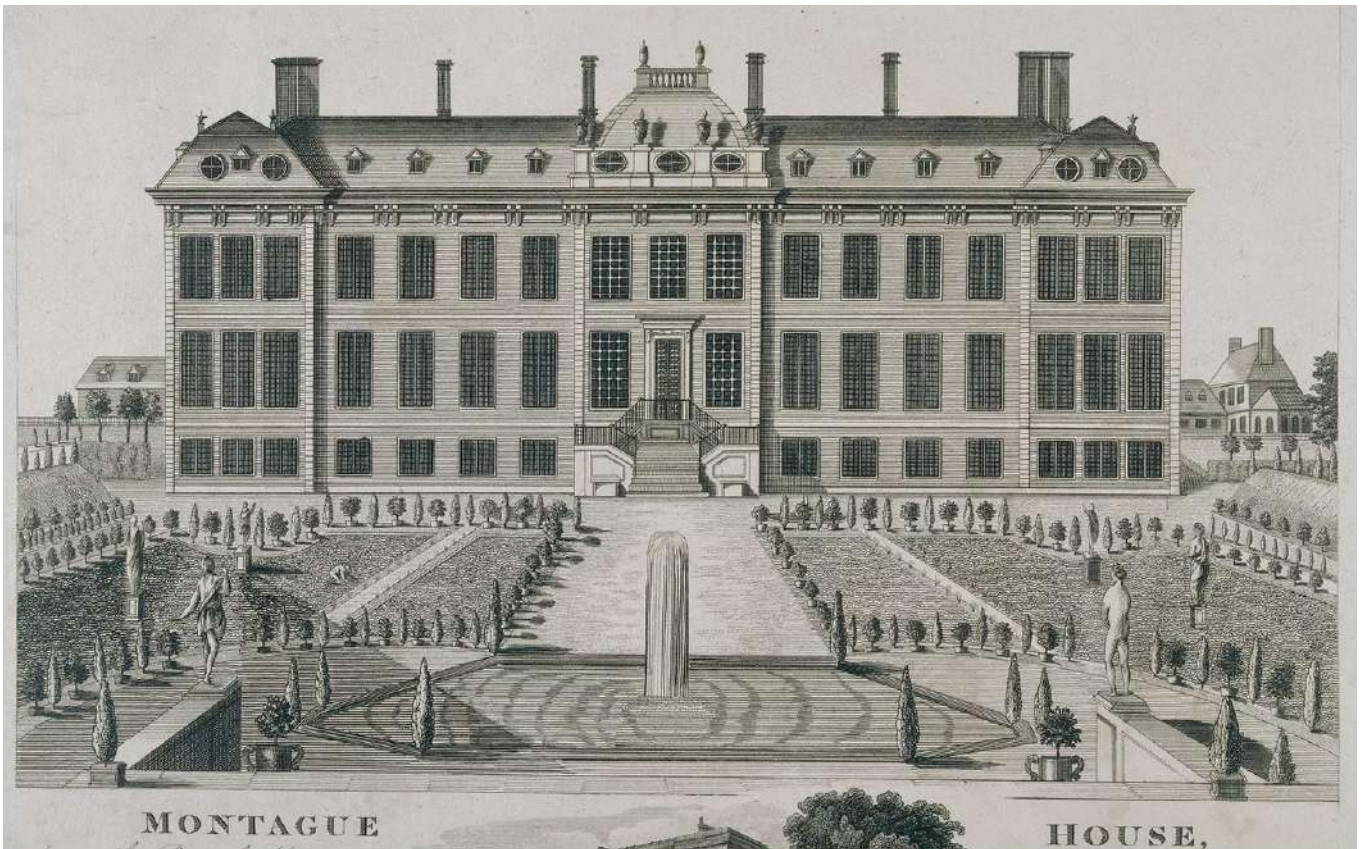


FIG. 2.6. La prima sede del British Museum a Montagu House, in una incisione di James Simon del 1714 [<https://www.britishmuseum.org/blog/montagu-house-first-british-museum>].

(oggetti misteriosi e a volte mostruosi provenienti da luoghi lontani e poco conosciuti). A differenza delle collezioni naturalistiche l'organizzazione non seguiva però veri e propri criteri di ordinazione ma gli oggetti venivano affiancati in un ammasso caotico con l'obiettivo di destare stupore e meraviglia. Queste sperimentazioni prefigurano un tipo di "comunicazione" del sapere che veniva veicolato, non solo attraverso i loro allestimenti ma anche attraverso i loro cataloghi, manoscritti o a stampa, nei quali venivano incluse tavole illustrate delle loro gallerie³⁸. Una descrizione dei musei del tempo e delle modalità di allestimento è contenuta nella *Museographia* (1727) di Caspar Friedrich Neickel, nella quale il termine

museografia fa la sua prima ufficiale comparsa. Oltre a dare indicazioni tecniche e strutturali di allestimento Neickel fornisce anche un censimento delle principali raccolte europee d'arte e di "rarità".

A partire dalla seconda metà del Settecento, con la donazione o trasformazione delle numerose raccolte collezionistiche private, iniziano a formarsi i primi musei pubblici. Per fare alcuni esempi, il British Museum (1759) fu costituito sulla base della collezione del medico e naturalista inglese Hans Sloane, i Musei Capitolini di Roma (1734) sulle collezioni di Sisto IV e il museo degli Uffizi di Firenze, aperto al pubblico nel 1769, sulla base delle collezioni medicee donate da Anna Maria Luisa de' Medici con la stipula del



FIG. 2.8. Immagini del Depot Boijmans Van Beuningen a Rotterdam di MVRDV, primo deposito d'arte completamente accessibile al pubblico. [<https://www.mvrdv.nl/projects/10/depot-boijmans-van-beuningen>]

Questo concetto è pienamente espresso anche dall'architettura realizzata per il museo da Renzo Piano e Richard Rogers, che unisce indissolubilmente lo spazio urbano e museale eliminando le murature perimetrali e lasciando così libera la vista di spaziare dall'esterno all'interno, o viceversa. A partire dagli ultimi decenni del XX secolo quindi l'idea del museo come luogo del capolavoro, della cultura inarrivabile e del privilegio intellettuale si è andata sgretolando, affermandosi, al suo posto, un'immagine del museo come luogo di espressione di una comunità, di aggregazione e testimone di memorie collettive. Se prima gli spazi delle raccolte e collezioni private erano accessibili ad un pubblico d'élite ora i musei si aprono verso le comunità non solo diventando accessibili a tutti ma accogliendone anche richieste e necessità. A testimoniare questa totale apertura dell'istituzione museale sono le tendenze contemporanee sia ad

integrare all'interno del museo e del percorso di visita funzioni differenti (spazi ristoro, laboratori creativi e didattici, auditorium, ecc.) che la volontà di valorizzare e rendere accessibili le funzioni tipicamente più chiuse e private, come laboratori di restauro o gli spazi deposito, i quali spesso racchiudono all'interno delle proprie pareti la maggior parte delle collezioni del museo. Il Depot Boijmans Van Beuningen a Rotterdam (fig. 2.8.), progettato da MVRDV e inaugurato nel 2021, rappresenta il primo deposito d'arte completamente accessibile al pubblico. L'edificio, espressione di una vera e propria nuova tipologia espositiva, è interamente progettato in modo da rendere visibile ciò che originariamente è custodito "dietro le quinte" di un museo. All'interno del "Depot" il visitatore può infatti accedere al 99% degli spazi⁴² e osservare, oltre le varie sale espositive presenti, anche i processi di conservazione e restauro,



FIG. 2.9. Un'immagine di "Cezanne, the Lights of Provence" in programmazione al museo Atelier des Lumières, Parigi [<https://www.atelier-lumieres.com/en/cezanne>].

di imballaggio e trasporto di opere d'arte.

In questo scenario, e parallelamente all'espansione del concetto di Patrimonio avvenuto a partire dagli anni '70 (vedi cap. 1), si sono formate anche nuove tipologie di museo come gli ecomusei e i musei diffusi. I primi, nati da un termine coniato nel 1971 dal museologo francese Hugues de Varine, a differenza dei musei non si identificano in un edificio museale ma rappresentano un territorio nel suo insieme, originandosi a partire dalle comunità di riferimento e valorizzandone il patrimonio naturalistico e storico-artistico, invece di limitarsi ad assemblare e gestire una specifica collezione⁴³. I secondi rappresentano invece delle vere e proprie reti che mettono a sistema le sedi museali e le componenti architettoniche, monumentali ed urbanistiche di una città.

Così gli spazi museali, assieme alle discipline della museografia e museologia, si sono evoluti nel corso del tempo, fino all'ultimo cambiamento sostanziale che li ha interessati: la rivoluzione digitale. Con la diffusione di Internet e delle *Information and Communication Technologies* (ICT), le possibilità di narrazione dei musei si sono ampliate esponenzialmente grazie alla possibilità di affiancare all'esposizione e ai tradizionali strumenti di comunicazione (didascalie, pannelli esplicativi, ecc.) nuove strategie di esplorazione digitale. Dai primi display touch, audioguide e dispositivi portatili si è arrivati a fruire le collezioni dei musei attraverso portali web e visite virtuali immersive ed interattive. Questo ha consentito alle istituzioni culturali di espandere la loro accessibilità e migliorare la comunicazione del loro patrimonio,

attraverso una rivalutazione del rapporto che si instaura tra visitatore, bene culturale e struttura museale⁴⁴. In particolare, con l'avvento dei social network le istituzioni culturali hanno avuto la possibilità di non limitarsi a fornire nuove modalità di accesso o di lettura delle loro opere ma di trasformare il museo in una vera e propria "piazza" virtuale, una piattaforma di connessione tra i vari attori coinvolti, i quali sono chiamati a collaborare all'interno di processi partecipativi e co-creativi di produzione o di narrazione dell'offerta culturale.

Se da un lato le tecnologie digitali hanno consentito di integrare le modalità di visita all'interno dei musei o portare le loro collezioni in ambienti digitali dall'altro hanno portato anche alla creazione di esposizioni completamente digitali, nelle quale le opere reali non sono presenti ma sono visibili attraverso rappresentazioni virtuali. Ne è un esempio il centro di arte digitale Atelier des Lumières di Parigi (fig. 2.9.), aperto nel 2018, il quale propone esposizioni tematiche immersive realizzate attraverso l'utilizzo delle proiezioni digitali. Se da un certo punto di vista queste esposizioni possono cadere nella eccessiva "spettacolarizzazione" della cultura⁴⁵, nella quale l'"evento" viene realizzato in primis per un beneficio economico, è comunque riconosciuto che tali modalità espositive, oltre ad attrarre e ad avvicinare nuovo pubblico, consentono di aprire nuove strade verso un rinnovamento delle classiche modalità di fruizione.

Per i musei si apre così la dimensione della virtualità, nella quale gli oggetti della collezione o del territorio non sono più ancorati ad un luogo fisico ma possono essere diffusi in qualsiasi parte del mondo. Queste tecnologie forniscono la possibilità di creare una copia fruibile virtualmente di un museo reale o costruirne di nuovi, aggregando elementi ed opere distribuite in una pluralità di sedi, e consentendo così di rendere visibili le relazioni fra esse e fornire chiavi di lettura

ulteriori rispetto a quelle possibili all'interno di un museo fisico.

Se, come sottolinea Francesco Antinucci, i musei sono dei luoghi «decontestualizzatori»⁴⁶ delle opere, i "musei virtuali" consentono invece di ristabilire/ricostruire le condizioni originarie che consentono alle opere di tornare ad essere «segni comunicanti»⁴⁷.

2.3.1. Le tipologie di museo virtuale

«Il museo virtuale è la proiezione comunicativa a tutto campo del museo reale»⁴⁸.

Antinucci con queste parole riesce a catturare e comunicare l'essenza di ogni museo virtuale: uno spazio comunicativo che riesce a sfruttare tutti i mezzi a disposizione di un museo reale senza però le sue limitazioni fisiche. Un museo virtuale sfrutta pertanto strumenti multimediali e telematici per la creazione di nuovi "spazi espositivi", siano essi piattaforme 2D o mondi tridimensionali, in cui è possibile mettere a disposizione del visitatore una collezione di risorse digitali. Gli elementi digitalizzati a disposizione dell'utente possono essere i più disparati: fotografie, quadri, libri, siti archeologici o una loro ricostruzione storica, ambienti architettonici, siti naturali, reperti storici, o delle rappresentazioni secondarie di questi. In ogni caso le caratteristiche comuni e più diffuse dei musei virtuali, come schematizza Pancioli, sono rappresentate dalla multimedialità, ovvero dall'utilizzo simultaneo di «differenti codici espressivi (testi, immagini, suoni)»⁴⁹, dall'interazione, quindi dalla possibilità per l'utente di scegliere e personalizzare attivamente la propria visita, o infine, dalla connessione, ossia dalla caratteristica di essere una realtà museale connessa ad una rete in tempo reale.

In ogni caso, il fenomeno dei musei virtuale ha assunto, specialmente negli ultimi anni, «una valenza sempre più sfuggente, soprattutto a



FIG. 2.10. *A sinistra, un fotogramma del video promozionale su vimeo della mostra “L’Ara com’era” [https://vimeo.com/210724556]. A destra, una foto della Sala Ottagonale della Domus Aurea durante la mostra “Raffaello e la Domus Aurea. L’invenzione delle grottesche” [pb: E. Bordini].*

causa delle continue trasformazioni tecnologiche della comunicazione e dell’informazione⁵⁰. Se al momento della sua introduzione veniva utilizzato esclusivamente per identificare una rappresentazione digitale di un museo reale, oggi costituisce un’entità in costante mutamento e che assume differenti “forme”: da estensione digitale fruibile in loco in un museo reale, a spazio immaginario progettato ad hoc per raccogliere opere reali, fino ai *serious game* o alle piattaforme fruibili online. In generale, i musei virtuali, intesi come l’insieme di tutte queste differenti esperienze, possono essere suddivisi in:

- musei fisici integrati da strumenti digitali;
- musei reali in digitale,

- musei virtuali.

Nella prima categoria rientrano i progetti che prevedono l’utilizzo delle tecnologie digitali ed informatiche in combinazione alla visita di un museo reale, i cui contenuti sono pertanto accessibili esclusivamente mediante una fruizione fisica del sito. Possono prevedere l’impiego di supporti a schermo, come display o touch screen, sfruttare le tecnologie dell’AR e della VR o sistemi di proiezioni digitali per consentire la visione di contenuti specifici all’utente. Ne sono alcuni esempi la mostra “L’Ara com’era”(2016-2019) al Museo dell’Ara Pacis (fig. 2.10.), che consentiva al visitatore, tramite un percorso in VR e AR, di osservare l’aspetto e i colori dell’Ara Pacis nel suo stato originario, o il percorso

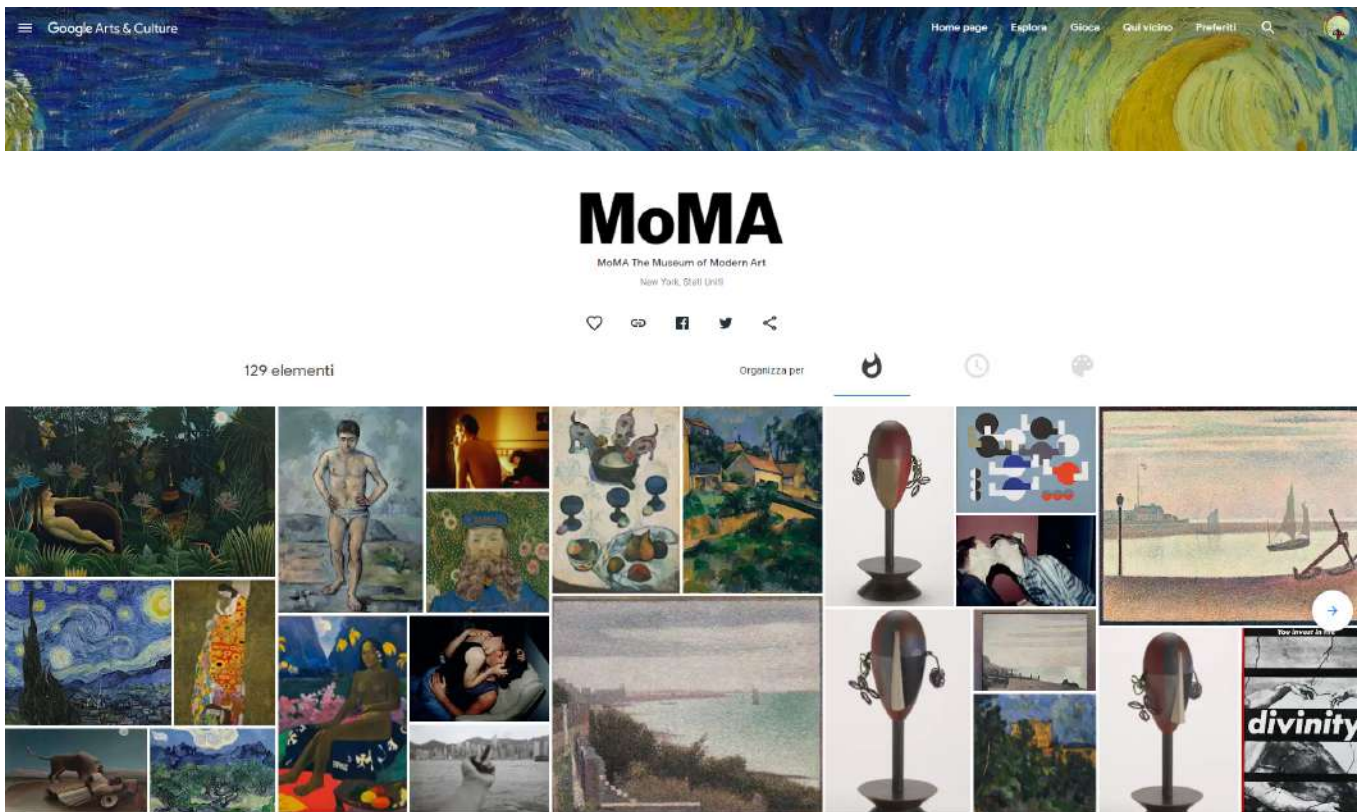


FIG. 2.11. Parte della pagina web del MoMA nella piattaforma Google Arts & Culture [https://artsandculture.google.com/partner/moma-the-museum-of-modern-art].

multimediale e multisensoriale organizzato all'interno della Domus Aurea a Roma. Questo, realizzato da Progetto Katatexilux e integrato alla visita nel 2017, è costituito dallo sfruttamento di varie tecnologie, come proiezioni digitali, realizzate mediante tecniche di *videomapping*, e realtà virtuale. Il percorso multimediale è stato poi implementato nel 2021 dall'esposizione temporanea all'interno della Sala Ottagona "Raffaello e la Domus Aurea. L'invenzione delle grottesche" (2021-2022) promossa dal Parco archeologico del Colosseo e prodotta dalla casa editrice Electa (fig. 2.10.). L'allestimento progettato da Dotdotdot organizzava nella sala principale una proiezione di immagini astrologiche desunte dall'Atlante Farnese, collocato al centro della sala, e negli ambienti limitrofi ripercorreva la storia delle grottesche alternando

audio-racconti, video, animazioni e applicazioni interattive. In questa categoria infine rientrano anche quelle iniziative interamente digitali e non necessariamente connesse al luogo che le ospita, ma piuttosto incentrate su un tema specifico, come la mostra "Magister Giotto" organizzata a Venezia nel 2017 e dedicata all'artista toscano o le molteplici esposizioni ospitate nella Cattedrale dell'Immagine di Firenze⁵¹, tra le quali la più recente "Inside Dalí". La categoria dei musei reali in digitale comprende invece quei musei virtuali direttamente connessi ad uno specifico museo reale e del quale ne presentano le collezioni in rete. Come evidenziano B. Caprara, A. Colombi, C. Scala nel loro progetto di ricerca *Virtual & Real* sulle possibilità fornite dai siti Web per i musei, la visita virtuale avviene così secondo tre

possibili itinerari: precedente, simultanea o successiva alla visita fisica al museo reale configurando così il museo virtuale come “anticipazione”, “espansione”, o “consolidamento”⁵². I musei virtuali che rientrano in questa categoria possono organizzare i loro contenuti in piattaforme web, chiamate anche *Web Museum*, come nel caso della sezione “Collection” nel sito del British Museum, o riportare interamente il museo e la struttura che lo ospita in ambiente digitale mediante la strutturazione di Virtual Tour 360° o attraverso la modellazione tridimensionale degli ambienti e la conseguente collocazione delle opere digitalizzate. Tutti i più grandi musei odierni sono ormai dotati di un corrispettivo virtuale, dei quali il sito web Google Arts & Culture è il più grande aggregatore (fig. 2.11.). Progetto lanciato nel 2011 con il nome di Google art project, raccoglie tuttora le collezioni di più di 2000 musei fruibili attraverso immagini ad alta definizione, contenuti audio e video, virtual tour 360°, 3D, *serious game* e spazi tridimensionali navigabili ed interattivi.

La terza e ultima categoria comprende, infine, tutti i musei che esistono esclusivamente in uno spazio digitale, come le ricostruzioni storiche di siti archeologici o le gallerie d’invenzione, che espongono e raccolgono risorse digitali provenienti da luoghi, ambiti tematici e collezioni differenti all’interno di un unico spazio virtuale. Il progetto UMA Universal Museum of Art lanciato nel 2017 con la prima mostra “The Founding Myths” si colloca in quest’ultima categoria. Non si tratta infatti di uno spazio virtuale che ospita uno o più musei reali ma di un museo immaginario creato appositamente per esistere esclusivamente online, ogni volta riprogettato e ricalibrato al fine di ospitare una specifica mostra tematica. Nato come spazio completamente gratuito, attualmente conta tredici mostre a disposizione dell’utente, delle quali cinque a pagamento.

Grazie alle tecnologie digitali e al loro massivo impiego all’interno di ambiti espositivi il museo ha visto così

un graduale abbandono della tradizionale tipologia espositiva in favore di modalità e spazi dinamici che, grazie alle loro caratteristiche di interattività, multimedialità e connettività si configurano come strumenti attrattori capaci di offrire forme di esperienza culturale diversificate e di proporsi come una nuova modalità di apprendimento.

2.3.2. Il settore culturale nello scenario post COVID-19

La centralità del tema del *Digital Cultural Heritage* e della sua comunicazione è stata rimarcata ulteriormente dalla pandemia COVID-19, durante la quale il settore culturale è stato duramente messo alla prova. L’impatto di questa chiusura non è stato solamente economico, investendo direttamente sia le istituzioni culturali⁵³ che le comunità che vi gravitano attorno, ma anche sociale. I musei rivestono infatti un ruolo chiave nella società contemporanea. Come sottolinea UNESCO⁵⁴, oltre a preservare il nostro patrimonio comune, i musei contribuiscono a creare degli spazi di trasmissione culturale nei quali si promuove il dialogo interculturale, l’apprendimento e la formazione, rafforzando così la coesione sociale, la veicolazione del valore culturale del patrimonio e la formazione di una memoria collettiva. Inoltre, rappresentano una grande risorsa di sviluppo economico, in particolare all’interno del settore creativo e culturale che, in alcuni casi, rappresenta la maggior fonte di reddito delle comunità. Con la chiusura forzata imposta dal lockdown questi meccanismi sono venuti meno e le criticità nel campo della digitalizzazione sono diventate un problema di primaria importanza. Secondo il Report UNESCO *Museums around the World in the face of Covid-19* pubblicato a maggio 2020, circa il 90% dei musei nel mondo sono stati costretti a chiudere temporaneamente i loro spazi, il 12,8% dei quali con il rischio di incorrere in una chiusura definitiva⁵⁵.

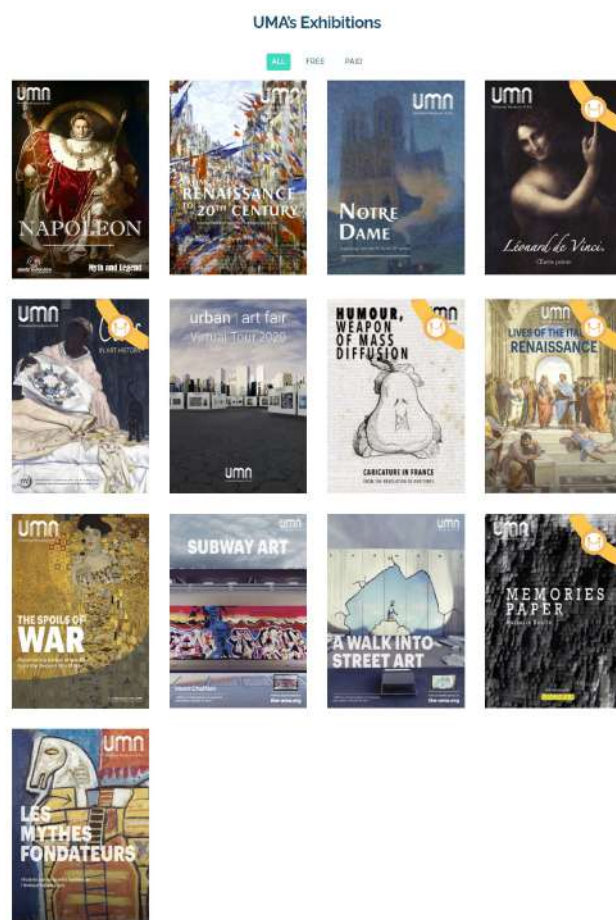
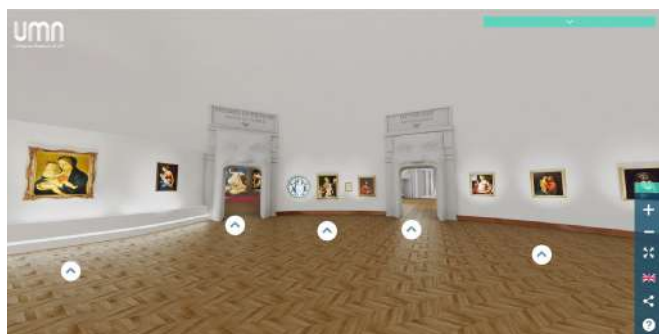
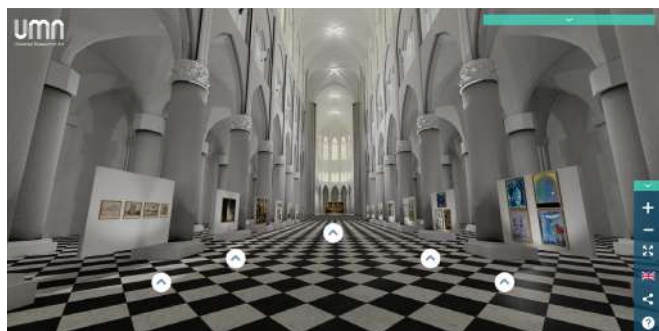
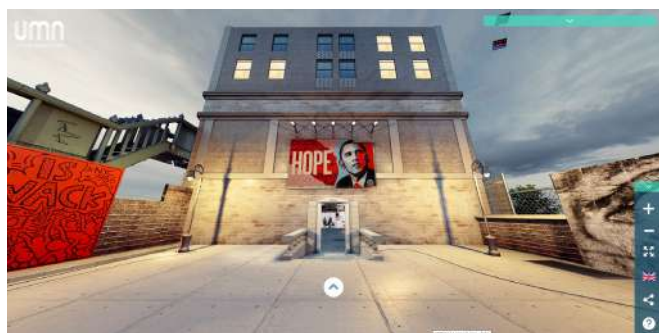
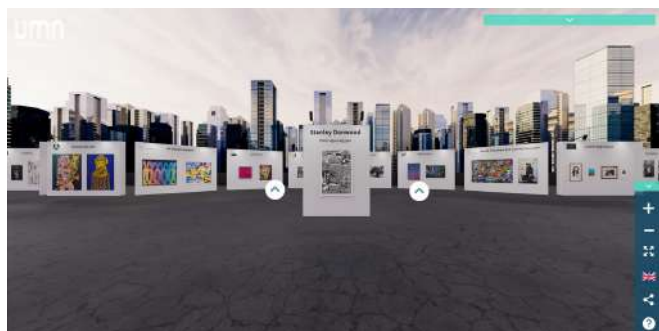


FIG. 2.12. A sinistra, alcune delle esposizioni virtuali gratuite del UMA (Universal Museum of Art). A destra, il logo e l'elenco delle mostre attuali [<https://www.the-uma.org/en/>].

What digital services does your museum provide?

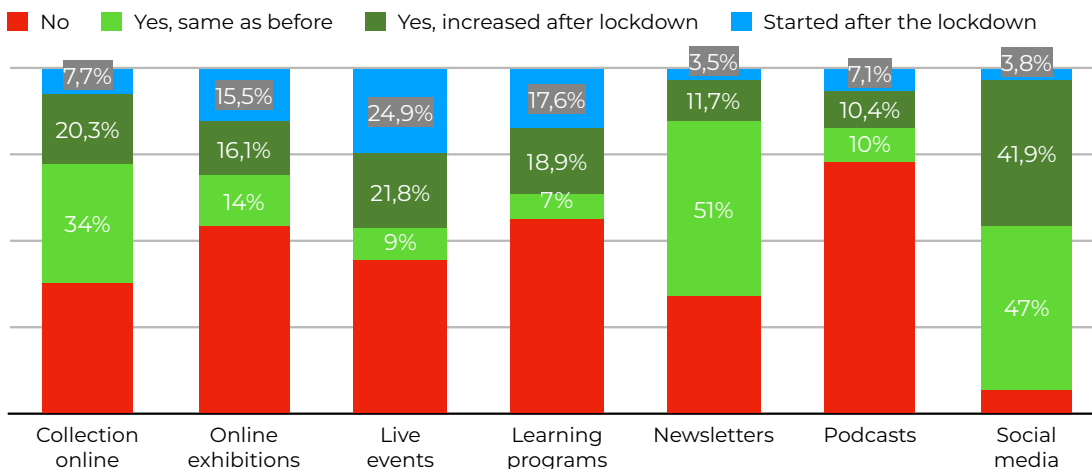


FIG. 2.13. Dati del sondaggio sulle attività digitali dei musei durante il lockdown, condotto da ICOM e inserito all'interno del Report "Museums, museum professionals and COVID-19: follow-up survey" [ICOM (2020a), p. 17].

Nonostante la situazione di crisi molti professionisti del settore e istituzioni culturali si sono adoperati per trovare nuovi strumenti e metodi al fine di continuare ad assicurare al loro pubblico l'accesso alla cultura, a dispetto delle misure di contenimento adottate. Organizzazioni internazionali, come UNESCO, ICOMOS e ICOM, europee, come NEMO⁵⁶, e nazionali, ad esempio la Direzione generale Musei del MiC, al fine di incentivare l'accessibilità digitale dei luoghi della cultura e di fornire supporto alle istituzioni per la conversione al digitale, hanno fornito linee guida, raccomandazioni, webinar e una grande varietà di risorse online. Questa sfida ha quindi accelerato la spinta verso quei processi di digitalizzazione e transizione online dei musei che era parzialmente già in atto prima della pandemia globale. Il digitale, il mondo del web, i social network e le ICT hanno rappresentato la via più veloce ed efficace per i musei di rimanere connessi con il pubblico ed hanno consentito di adottare strategie comunicative alternative alla visita in loco. Da un lato c'è stato

chi ha digitalizzato le proprie collezioni e le ha rese disponibili gratuitamente online, dall'altro chi ha sfruttato la potenza comunicativa dei social network per innescare processi partecipativi più interattivi e bidirezionali. Come ad esempio le numerose iniziative avanzate dai musei sulle varie piattaforme, tra le quali quella promossa dal Ghetty Museum che ha invitato gli utenti a ricreare quadri famosi utilizzando gli oggetti che ognuno aveva a disposizione da casa. Il museo di oggi sta diventando da luogo statico ed autoreferenziale a quello che Nina Simon definisce come *participatory museum*⁵⁷, nel quale i visitatori possono creare contenuti, dividerli, e connettersi tra loro. Il museo fisico si è così trasformato in un "museo di connessione"⁵⁸ e le infrastrutture digitali nel veicolo di connessione fra istituzioni e utenti. La transizione online del settore culturale, oltre a velocizzare i processi di cambiamento già in atto, ha accentuato però le criticità già presenti ed il divario tra coloro, fra istituzioni ed utenti, che hanno accesso ad Internet e coloro che non ce l'hanno. Secondo

L'International Communication Union, a fine 2019, circa 3,7 miliardi di persone risultano essere ancora offline⁵⁹. Il digital divide non riguarda solamente utenti di differenti fasce di età o genere ma interessa interi paesi. Si pensi che in Africa e nel Sud-Est asiatico, ad eccezione di alcune differenze interne, alcuni paesi presentano una percentuale tra il 75-100% di persone che non hanno ancora accesso ad Internet.

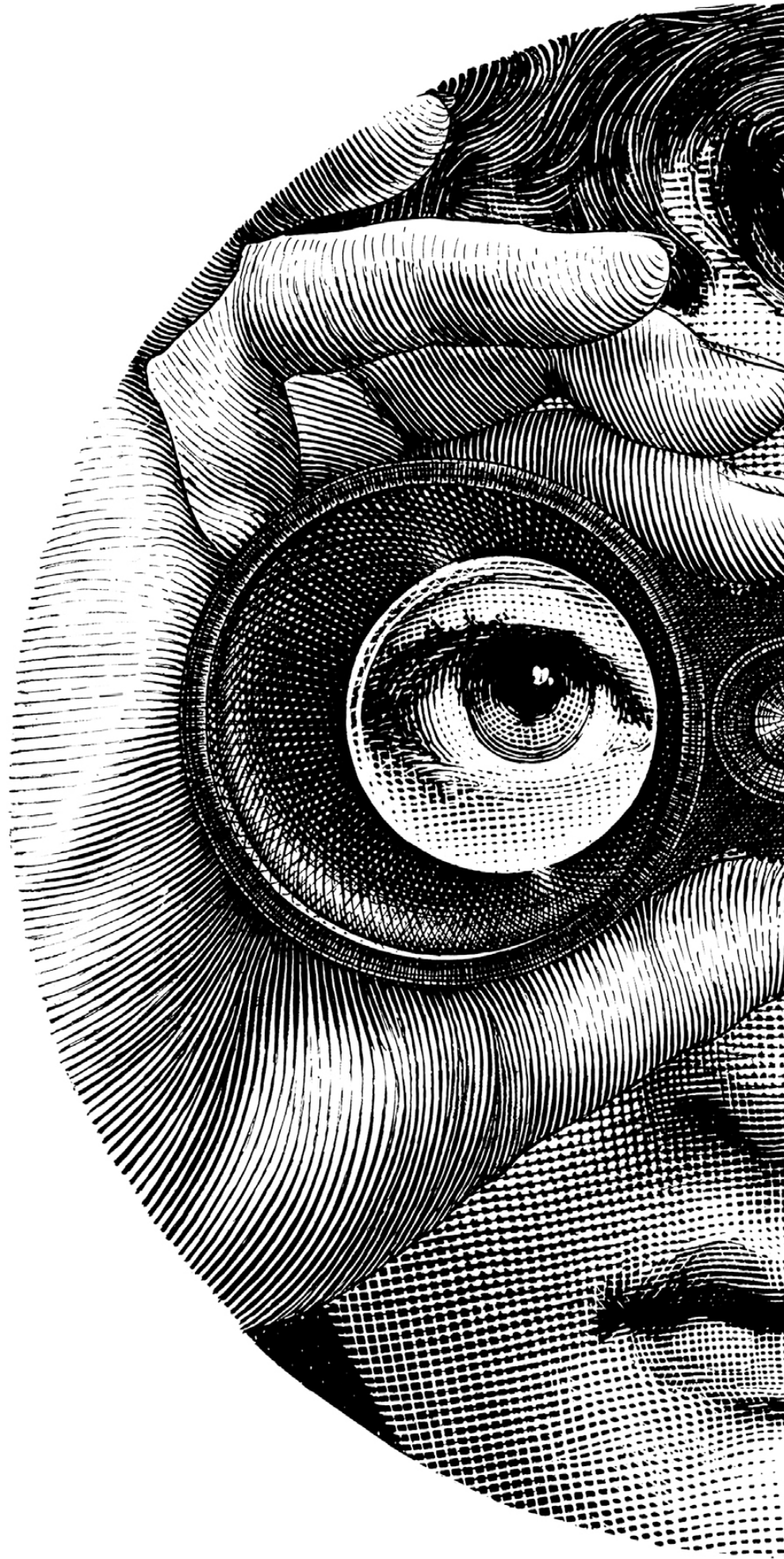
Oltre a problemi infrastrutturali di più ampia portata il processo di digitalizzazione “forzata” ha messo in evidenza anche le criticità interne delle varie realtà museali. L'indagine condotta da NEMO a fine 2021⁶⁰ ha fatto emergere un ulteriore aspetto, legato alla mancanza di risorse e di personale specializzato. Infatti, nonostante l'evidente incremento delle attività digitali ed online⁶¹, il 65% dei musei ha affermato di non aver aumentato il budget e le risorse a disposizione e solo il 7% dei musei ha assunto staff specializzato per la loro gestione. Un altro dato rilevante riguarda le priorità delle istituzioni museali riguardo la transizione digitale. Il 41,5% ha infatti evidenziato la mancanza e la necessità di una strategia digitale da mettere in atto, seguito dal bisogno di nuove infrastrutture digitali (23,2%) e di formazione del personale in materia (18,7%).

NOTE

- ¹ Eisenman, P. (1992), pag. 17.
- ² Bonacini, E. (2011), pag. 19.
- ³ Monaci, S. (2003), pag. 3.
- ⁴ Meschini, A. (2011), pag. I.15.
- ⁵ Galluzzi, P. (1997). Introduzione. In P. Galluzzi, P. A. Valentino (1997), pag XXII.
- ⁶ Miola, A. (2012), pag. 17.
- ⁷ Paolini, P., Di Blas, N., Alonzo, F. (2005), pag. 44.
- ⁸ Bonacini, E. (2011), pag. 11.
- ⁹ Benjamin, W. (2012).
- ¹⁰ Von Schorlemer, S. (2020), pag.
- ¹¹ UNESCO (2003), *Carta per la conservazione del patrimonio digitale*, art.3.
- ¹² *Ivi*, art.1.
- ¹³ *Ivi*, preambolo.
- ¹⁴ *Ivi*, art.5.
- ¹⁵ Levy, P. (199). *L'intelligenza collettiva per un'antropologia del cyberspazio* (3.rd ed., Interzone). Milano: Feltrinelli.
- ¹⁶ Oppedisano, F., Rossi, D. (2012), pag. 211.
- ¹⁷ Oppedisano, F., Berruti, G. (2010), pag. 9.
- ¹⁸ Antinucci, F. (2014), pag. 14.
- ¹⁹ *Ivi*, pag. 10.
- ²⁰ MiBACT, DGE (2015-16), *I Piano Nazionale per l'Educazione al patrimonio culturale*, pag. 8.
- ²¹ Antinucci, F. (2014), pag. 109.
- ²² ICOMOS (2008), pag. 2. «*Interpretation refers to the full range of potential activities intended to heighten public awareness and enhance understanding of cultural heritage site. These can include print and electronic publications, public lectures, on-site and directly related off-site installations, educational programmes, community activities, and ongoing research, training, and evaluation of the interpretation process itself.*»
- ²³ *Ibidem*. «*Presentation more specifically denotes the carefully planned communication of interpretive content through the arrangement of interpretive information, physical access, and interpretive infrastructure at a cultural heritage site. It can be conveyed through a variety of technical means, including, yet not requiring, such elements as informational panels, museum-type displays, formalized walking tours, lectures and guided tours, and multimedia applications and websites.*»]
- ²⁴ Antinucci, F. (2014), pag. 135.
- ²⁵ *Ibidem*.
- ²⁶ Ippoliti, E., Casale, A. (2018), pag. 130.
- ²⁷ Antinucci, F. (2014), pag. 109.
- ²⁸ Bonacini, E. (2020), pag. 38.
- ²⁹ *Ivi*, pag. 28.
- ³⁰ *Ivi*, pag. 39.
- ³¹ Palombini, A. (2012), pag. 17.
- ³² Definizione di Museo dallo Statuto di ICOM approvato nella Conferenza Generale ICOM di Vienna del 2007: <https://www.icom-italia.org/definizione-di-museo-di-icom/>
- ³³ Panciroli, C. (2010), pag. 4.
- ³⁴ Solima, L. (2011), pag. 279.
- ³⁵ Merzagora, M., Rodari, P. (2007), pag. 15.
- ³⁶ Fiorio, M., Schiavi, A. (2018), pag. 30.
- ³⁷ Eco, U. (2007); Antinucci, F. (2014).
- ³⁸ Marani, P., & Pavoni, R. (2006), pag. 33.
- ³⁹ Antinucci, F. (2014), pag. 60; Fiorio, M., Schiavi, A. (2018), pag. 55.
- ⁴⁰ Antinucci, F. (2014), pag. 61.
- ⁴¹ Marani, P., & Pavoni, R. (2006), pag. 67.
- ⁴² Il progetto del Depot Boijmans Van Beuningen è visibile sul sito di MVRDV all'indirizzo: <https://www.mvrdv.nl/projects/10/depot-boijmans-van-beuningen>
- ⁴³ De Varine, H. (2003), Un témoignage sur les écomusées en Europe et dans le monde depuis vingt ans, pag. 1: <http://www.ecomusei.eu/mondilocali/wp-content/uploads/2011/03/2003-de-Varine.pdf>
- ⁴⁴ Alunno, V. (2017), pag. 267.
- ⁴⁵ Valentino, P. A. (1997). Criteri e metodi per la scelta delle tecnologie informatiche applicabili ai beni culturali. In P. Galluzzi, P. A. Valentino (a cura di) (1997), pag. 182.
- ⁴⁶ Antinucci, F. (2014), pag. 36.
- ⁴⁷ *Ivi*, pag. 79.
- ⁴⁸ Antinucci, F. (2007), pag. 115.
- ⁴⁹ Panciroli, C. (2010), pag. 8.
- ⁵⁰ Galluzzi, P. (2010), Museo virtuale. In *Enciclopedia Treccani*.
- ⁵¹ La Cattedrale dell'Immagine di Firenze trova luogo dal 2015 all'interno degli spazi della chiesa sconsecrata di Santo Stefano al

Ponte e rappresenta il primo teatro di Arte Immersiva in Italia.

- ⁵² Caprara, B., Colombi, A., Scala, C. (2018).
- ⁵³ Secondo il sondaggio di NEMO sull'impatto del COVID-19 sui musei europei durante la pandemia, il 44% dei musei hanno avuto una perdita di 1.000 €/settimana, il 31% fino a 5.000 €/settimana, il 18% fino a 30.000 €/settimana e l'8% più di 50.000 €/settimana. NEMO (2020). *Survey on the impact of the COVID-19 situation on museums in Europe*. Final Report, apr 2020, pag. 7.
- ⁵⁴ UNESCO (2015), *Recommendation concerning the Protection and Promotion of Museums and Collections, their Diversity and their Role in Society*, art. 1.
- ⁵⁵ ICOM (2020), *Museums, museum professionals and COVID-19*. ICOM Report, may 2020, pag. 6.
- ⁵⁶ NEMO (Network of European Museum Organisations) è stata fondata nel 1992 con lo scopo di rappresentare la comunità dei musei degli stati membri dell'Unione Europea. Fanno parte dell'organizzazione più di 30.000 musei in 40 paesi:
<https://www.ne-mo.org>
- ⁵⁷ Simon, N. (2010), pag. ii-iii.
- ⁵⁸ Bonacini, E. (2020), pag. 277.
- ⁵⁹ ITU (2019), *Measuring digital development*. Facts and Figures 2019, pag. 2.
- ⁶⁰ NEMO (2021), pag. 15.
- ⁶¹ Secondo il sondaggio di NEMO il 93% dei musei ha incrementato, iniziato o reindirizzato le risorse ad almeno 1 servizio online durante la pandemia. I due aumenti più drastici osservati sono i post sui social media in aumento del 67% e i contenuti video in aumento del 39%. Come nuovo servizio, i più segnalati sono stati i tour virtuali attraverso i musei (29%) e i programmi di apprendimento online (27%). *Ivi*, pag. 14.



CAPITOLO 3

POLITICHE IN MATERIA DI DIGITALIZZAZIONE E VISUALIZZAZIONE DEL PATRIMONIO CULTURALE

3.1. POLITICHE INTERNAZIONALI

Come abbiamo visto nei capitoli precedenti le tecnologie digitali nel settore dei beni culturali hanno portato alla creazione di nuovi concetti come il *Digital Heritage*, musei virtuali, *Digital Humanities* ecc. Parallelamente allo sviluppo di questi nuovi campi di applicazione è risultato necessario elaborare carte, direttive, raccomandazioni che potessero fornire ai diversi paesi delle procedure di gestione, creazione, conservazione e comunicazione fondate su degli standard comuni. A livello internazionale l'ente principale che si occupa di definire linee di sviluppo per i vari paesi è l'UNESCO (*The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*)¹, supportato poi da enti come ICOM (*International Council on Monuments and Sites*)², ICCROM (*The International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property*)³ e ICOMOS (*International Council on Monuments and Sites*)⁴, focalizzati rispettivamente sui musei e i suoi professionisti, sul settore della conservazione e del restauro e, infine, sui monumenti e siti di interesse culturale. L'ingresso ufficiale delle *Information and Communication Technologies (ICT)* nel settore dei Beni Culturali è sancito dalla *Charter of Krakow - Principles for the Conservation and Restoration of Built Heritage* del 2000. L'articolo 5 della Carta indica: «Nella tutela e nella presentazione pubblica dei siti archeologici è necessario promuovere l'uso delle moderne

tecnologie, delle banche dati, del sistema informativo e delle tecniche di presentazione virtuale». Benché faccia riferimento solo al patrimonio archeologico, questa raccomandazione, mai apparsa nelle direttive precedenti, segnò una svolta importante nell'uso dei dispositivi informatici come strumenti applicabili nelle attività di conservazione e presentazione⁵. La Carta di Cracovia, infatti, aprirà la strada alla stesura di nuovi testi internazionali volti a regolamentare l'uso delle nuove tecnologie nel campo dei beni culturali. Come abbiamo visto nel capitolo precedente, la *Carta della Conservazione del Patrimonio Digitale* del 2003 adottata dall'UNESCO risulta essere stata il primo documento a considerare i prodotti culturali digitali come un vero e proprio patrimonio da proteggere, contro l'obsolescenza progressiva degli hardware e dei software. Questo patrimonio comprende le ricostruzioni virtuali, digitalizzazioni 3D, immagini fotografiche, dati multimediali ecc. La Carta non solo definiva nello specifico il concetto di “patrimonio digitale” ma aveva l'obiettivo di regolare l'utilizzo delle nuove tecnologie nel campo dei beni culturali. Oltre alla realizzazione di piani e strategie per conservare il patrimonio fisico e digitale sono state sviluppate anche direttive e linee guida sui modi con cui questo patrimonio viene creato, gestito e divulgato. Il primo documento a trattare in modo approfondito l'argomento della comunicazione del Patrimonio è stata la Carta per l'*Interpretazione e la*

FIG. 3.1. Illustrazione dalla serie “Tema e Variazioni” di P. Fornasetti e copertina del primo report “Io Sono Cultura”, ricerca, promossa da Symbola e Unioncamere, sulla cultura intesa come settore trainante dell'economia italiana [<https://www.symbola.net/ricerca/italia-che-verra-industria-culturale-made-in-italy-e-territori/>].

Presentazione dei siti del Patrimonio Culturale, o *Ename Charter*, ratificata da ICOMOS nel 2008. Il documento aveva l'obiettivo di definire i principi fondamentali per l'interpretazione e comunicazione del patrimonio al fine di migliorarne la comprensione da parte del pubblico. Il secondo principio della Carta, "*Information Sources*", mette in evidenza la necessità di realizzare il processo di interpretazione e presentazione sulla base di dati raccolti secondo procedimenti scientifici e accademici, e di rendere tali dati disponibili al pubblico. In particolare, raccomanda che le ricostruzioni virtuali e le visualizzazioni elaborate per la comunicazione del bene culturale siano basate su analisi dettagliate e sistematiche di dati ambientali, archeologici, architettonici e storici, includendo fonti scritte, orali e iconografiche.

Queste tre carte hanno gettato le basi per le regolamentazioni successive, come la *Carta di Londra* e i *Principi di Siviglia*, che ad oggi costituiscono i più importanti riferimenti sull'integrazione tra ICT e patrimonio culturale.

3.1.1. La Carta di Londra

Lo sviluppo esponenziale delle ICT e la loro disponibilità crescente, a causa dell'abbassamento dei prezzi sia di strumentazioni che di software, hanno portato a un incremento di sperimentazioni delle tecnologie digitali nel campo dei beni culturali da parte di istituzioni, accademie e ricercatori. I numerosi progetti sviluppati nel corso degli anni hanno dimostrato non solo lo straordinario potenziale della visualizzazione digitale, ma anche le sue numerose debolezze e incongruenze. Questo ha reso urgente una definizione di principi e protocolli metodologici per i progetti di visualizzazione digitale, che nel 2008, si è tradotta nella *Carta di Londra*. Il documento è focalizzato sulle tecnologie digitali a servizio del patrimonio culturale e, attraverso una serie di principi,

mira a «ottenere una certa conformità operativa da parte di tutti gli interessati alla ricerca e alla divulgazione dei beni culturali»⁶. Il suo obiettivo è quello di fornire una validazione scientifica alla visualizzazione del patrimonio e di rendere quindi visibile il rigore della ricerca che l'ha prodotta⁷. La *Carta di Londra*, ad oggi uno dei documenti più avanzati in questa direzione, fornisce «una serie di principi che assicurino che la visualizzazione digitale del patrimonio culturale sia intellettualmente e tecnicamente rigorosa»⁸ che, se rispettati ne garantiscono l'integrità metodologica.

- Principio 1: Implementazione

«I principi della Carta di Londra sono validi ogniqualvolta è applicata la visualizzazione digitale alla ricerca e alla disseminazione relative ai beni culturali.»

Dato che gli scopi che motivano l'utilizzo di metodi di visualizzazione differiscono a seconda dei contesti, il Principio 1 sottolinea l'importanza di applicare i principi della Carta e di prevedere una loro implementazione da parte di ogni comunità di soggetti che si apprestino a realizzare un'attività di visualizzazione digitale. Inoltre, il costo di una determinata strategia di visualizzazione deve essere proporzionale ai benefici e al valore economico che produrrà.

- Principio 2: Scopi e metodi

«Un metodo di visualizzazione digitale dovrebbe normalmente essere usato solo quando è il metodo disponibile più appropriato per quello scopo.»

È necessario valutare caso per caso il metodo più idoneo da applicare, se convenzionale o digitale, sulla base di una valutazione delle ipotetiche probabilità di successo di ciascun approccio, senza dare per scontato che il metodo digitale sia il più appropriato per ogni progetto. Quindi nella realizzazione di un progetto di visualizzazione va definita a priori una strategia in

cui obiettivi, strumenti, target, siano definiti in modo chiaro da guidare nelle scelte metodologiche e di sviluppo.

- Principio 3: Fonti della ricerca

«Per assicurare l'integrità intellettuale dei metodi e dei risultati della visualizzazione digitale, le fonti rilevanti devono essere identificate e valutate in maniera documentata e strutturata.»

Le fonti comprendono tutti quei documenti e dati (articoli scientifici, libri, documenti storici, fotografie, modelli 3D, dati acquisiti sul campo, dati di rilevamento, ecc.) che concorrono e hanno diretta influenza sul prodotto della visualizzazione. È importante che tali dati vengano selezionati e analizzati e che consentano di ottenere una visualizzazione il più possibile scientifica ed obiettiva.

- Principio 4: Documentazione

«Sufficienti informazioni dovrebbero essere fornite per permettere ai metodi e ai risultati della visualizzazione digitale di essere compresi e valutati in maniera appropriata rispetto ai contesti e agli scopi nei quali e per i quali sono divulgati.»

Il processo della documentazione rappresenta la base del processo di visualizzazione ed è il cuore della carta. Le strategie di documentazione dovrebbero essere strutturate in modo tale da incentivare ed aiutare la visualizzazione digitale e in modo da garantire la loro analisi e comparazione. La documentazione da predisporre e rendere disponibile al fine di garantire la scientificità e la comprensione del prodotto non comprende solamente le fonti della ricerca ma documentazione riguardo il procedimento utilizzato (*paradata*), i metodi e i criteri della visualizzazione e sui motivi che hanno condizionato tali scelte, e le relazioni tra gli elementi della ricerca (che siano ipotetiche o conseguenti). Infine, il principio 4 indica la necessità di utilizzare formati e standard condivisi

ed utilizzare per la divulgazione i media disponibili più efficaci.

- Principio 5: Sostenibilità

«Dovrebbero essere pianificate e implementate strategie per assicurare la sostenibilità a lungo termine della documentazione e dei risultati di visualizzazione digitale riguardante i beni culturali per prevenire perdite di questa parte crescente del patrimonio culturale, economico, sociale, intellettuale dell'umanità.»

Questo principio è diventato negli ultimi anni una delle principali priorità dell'Unione Europea, sotto il nome di *long-term preservation*. Queste preoccupazioni derivano dalla continua perdita di informazioni che si è verificata negli ultimi anni. È il caso ad esempio delle mostre temporanee, che una volta concluse normalmente non hanno un piano di conservazione, secondo il quale i modelli digitali o le visualizzazioni 3D possono essere riutilizzati⁹. Per questo motivo è necessario utilizzare forme di archiviazione affidabili al fine di mantenere i dati della visualizzazione e le informazioni sufficienti a garantire un loro utilizzo futuro «per esempio quelle necessarie alla migrazione in differenti formati o al loro utilizzo con diversi software di emulazione»¹⁰. Se l'archiviazione digitale non è il modo più sicuro per assicurare questa continuità è necessaria una riproduzione fisica, anche se parziale, del prodotto attraverso repliche cartacee o fisiche (2D o 3D).

- Principio 6: Accessibilità

«Nella creazione e divulgazione delle visualizzazioni digitali si dovrebbero tenere in considerazione i modi in cui i risultati del lavoro possono contribuire allo studio, alla conoscenza, all'interpretazione e alla gestione del patrimonio culturale.»

Le visualizzazioni digitali quindi dovrebbero essere

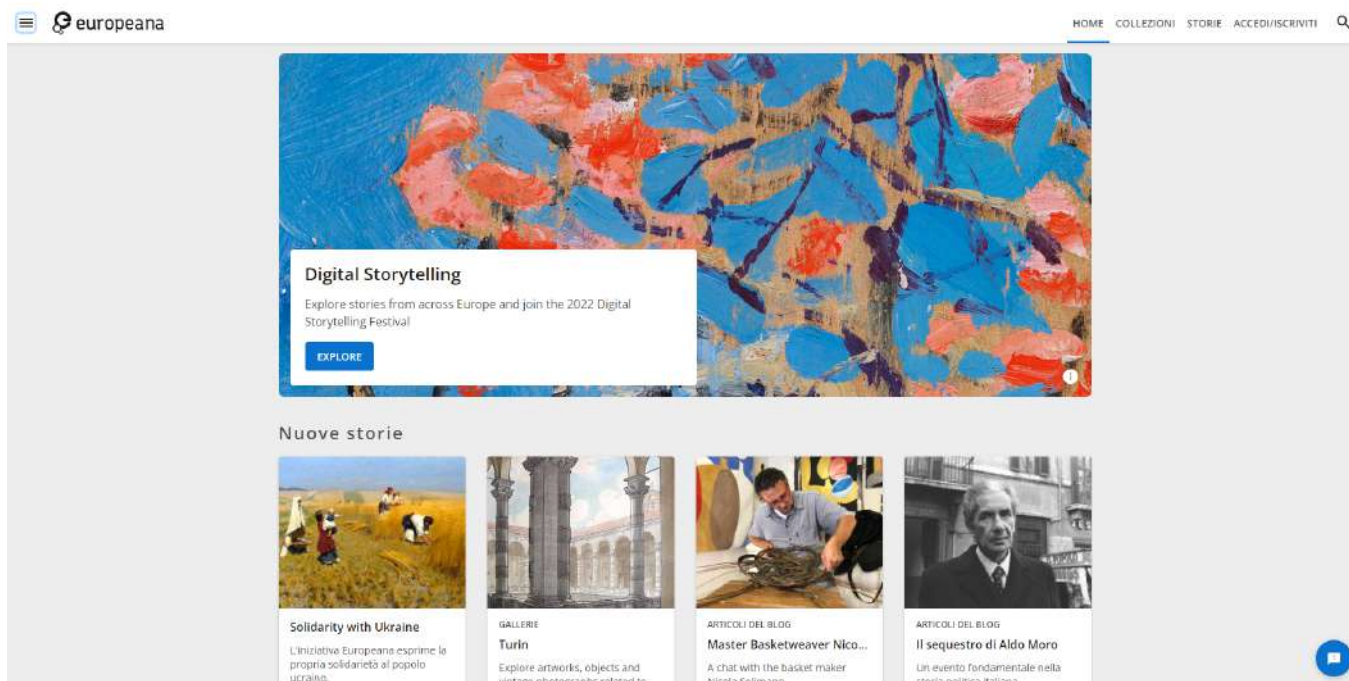


FIG. 3.2. Homepage del portale Europeana [<https://www.europeana.eu/it/>].

orientate, per quanto possibile, a migliorare la ricerca, la conservazione e la diffusione dei beni culturali. Per questo motivo il principio pone l'attenzione verso la garanzia di accessibilità alle informazioni nel caso in cui il bene culturale risulti inaccessibile, sia per motivi di perdita o danneggiamento che per impedimenti causati da problemi di salute, fisici o di carattere economico, politico o ambientale. In tali casi, la creazione di repliche virtuali può svolgere un ruolo importante nel lavoro di ricerca, conservazione e divulgazione, in quanto tali repliche sono dati consultabili e fruibili da esperti e utenti di qualsiasi luogo, a condizione che tali prodotti siano accessibili tramite Internet. Logicamente, questo potenziale può essere sfruttato solo quando i progetti di visualizzazione 3D siano sviluppati attraverso strategie adeguate che non pongano barriere all'accesso alle loro informazioni: come l'ottimizzazione dei modelli 3D e la loro riduzione geometrica o l'adattamento di contenuti in pagine web utili sia per gli esperti che per

il pubblico non specializzato.

3.1.2. I Principi di Siviglia

I *Principi di Siviglia* del 2011 recepiscono le linee guida della Carta di Londra e mirano a fornire applicazioni pratiche dei suoi principi al fine di migliorarne l'attuazione nel campo del patrimonio archeologico. Scritta dai membri dell'*International Forum of Virtual Archaeology* e ratificata dalla 19th ICOMOS *General Assembly* a New Delhi a dicembre 2017, la Carta contiene otto principi: Interdisciplinarietà, Finalità, Complementarità, Autenticità, Rigore storico, Efficienza, Trasparenza scientifica¹¹, Formazione e valutazione. I principi seguono una sequenza logica strutturata secondo le fasi di sviluppo e realizzazione di un progetto di archeologia virtuale e i loro contenuti riprendono quelli della *Carta di Londra* con alcune aggiunte e precisazioni. Un principio completamente nuovo è quello però della Interdisciplinarietà, dal quale



FIG. 3.3. A sinistra, il logo di Europeana. A destra, il numero di contenuti suddivisi per tipologia (immagine, testo, audio, video, 3D) che contiene la piattaforma alla data 24 maggio 2022 [<https://www.europeana.eu/it>].

ne discendono tutti gli altri¹². Il principio afferma che «qualsiasi progetto che implichi l'uso di nuove tecnologie, legate alla visualizzazione computerizzata nel campo del patrimonio archeologico, sia per la ricerca, la documentazione, la conservazione o la divulgazione, deve essere supportato da un team di professionisti provenienti da diversi rami del sapere»¹³. Con la diffusione sempre più capillare delle tecnologie informatiche all'interno dei beni culturali, la formazione di nuovi settori specifici all'interno di ogni disciplina e la sempre più forte specializzazione delle figure professionali è necessario un lavoro interdisciplinare basato su un continuo flusso e scambio di idee, al fine di garantire la riuscita di un progetto di visualizzazione completo ed efficace sia dal punto di vista scientifico che grafico o informatico.

3.1.3. La situazione europea

Sebbene la politica nel settore del patrimonio culturale sia principalmente di competenza dei singoli Stati membri e delle autorità regionali e locali, l'Unione Europea è impegnata a salvaguardare e valorizzare il patrimonio culturale europeo attraverso una serie di politiche e programmi che forniscono linee guida e raccomandazioni agli Stati.

Uno dei primi passi¹⁴ della Commissione Europea¹⁵

verso un processo di sensibilizzazione alle opportunità fornite dalle tecnologie digitali per la protezione del patrimonio è rappresentato dalle *Raccomandazioni sulla digitalizzazione e l'accessibilità in rete dei materiali culturali e sulla conservazione digitale* del 2011 (implementazione delle raccomandazioni del 2006¹⁶), e relative conclusioni. Attraverso questo documento la commissione riconosce l'importanza strategica della digitalizzazione e fornisce agli Stati membri «norme aggiornate sulla digitalizzazione e la messa in rete del patrimonio e sulla conservazione digitale»¹⁷. La Commissione europea raccomanda di: sviluppare la pianificazione e il monitoraggio della digitalizzazione dei «materiali culturali»¹⁸(art.1), incoraggiare i partenariati fra le istituzioni culturali e il settore privato(art.2), migliorare l'accesso e la fruizione dei materiali culturali digitalizzati di pubblico dominio (art.5) e soggetti a diritto d'autore (art.6), rafforzare le strategie nazionali di conservazione a lungo termine dei materiali digitalizzati (art.8) e contribuire a sviluppare ulteriormente Europeana (art.7). Quest'ultima, creata nel 2008 e finanziata dalla Commissione Europea, è una biblioteca digitale multilingue che fornisce l'accesso a circa 53 milioni di opere digitalizzate, tra cui libri, film, dipinti, archivi, manoscritti, fotografie, provenienti da tutta Europa (fig. 3.2., 3.3.). Oltre a fornire la possibilità di effettuare

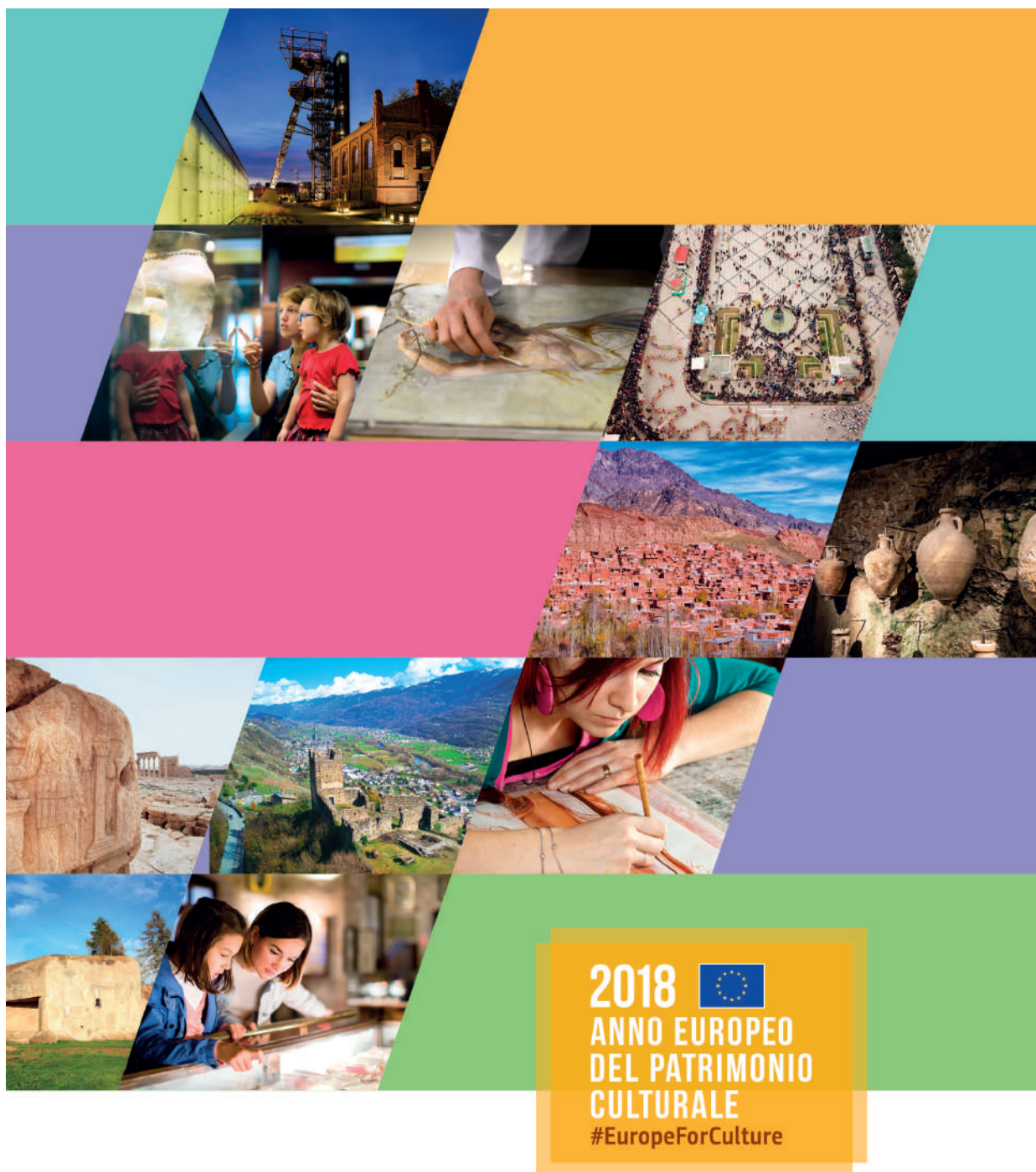


FIG. 3.4. *La copertina del “Quadro d’azione europeo sul patrimonio culturale” prodotto al termine dell’European Year of Cultural Heritage 2018[Commissione Europea (2018) p. 1].*

ricerche nel *repository* virtuale grazie alle logiche del Web Semantico, Europea organizza i documenti digitalizzati in alta qualità in aree tematiche, argomenti, periodo storico e mostre virtuali, strutturando così un archivio digitale fruibile, non solo da professionisti ed esperti ma anche da fruitori «non particolarmente provveduti»¹⁹, come li definisce Antinucci. Fin dalla sua fondazione Europea è in costante aggiornamento e, dal 2017, è affiancata dal *Digital Cultural Heritage and Europeaana Expert Group* (DCHE)²⁰, istituito allo scopo di assistere la Commissione Europea nel monitoraggio dei progressi e nella valutazione dell'impatto dell'attuazione delle Raccomandazioni sulla digitalizzazione e di fornire consulenza, tramite un suo sottogruppo apposito, sugli obiettivi generali, la *governance*, il piano strategico 2020-2025, l'evoluzione e la sostenibilità di Europea²¹.

L'integrazione tra tecnologie digitali e patrimonio culturale è stato anche uno degli obiettivi dello *European Year of Cultural Heritage* 2018, il quale «mirava a celebrare il patrimonio culturale in quanto risorsa condivisa, sensibilizzando alla storia e ai valori comuni e rafforzando il senso di appartenenza a uno spazio culturale e politico comune europeo»²². Lo *European Year of Cultural Heritage* è stato un'iniziativa inclusiva di ampio respiro che ha coinvolto tutte le istituzioni dell'UE, tutti gli Stati membri e nove paesi partner, oltre a un ampio ventaglio di parti interessate del settore della cultura, tra le quali la *European Heritage Alliance* 3.3²³. Durante questo periodo in tutta Europa si sono tenuti oltre 23000 eventi ed iniziative²⁴ riguardo il patrimonio in tutte le sue sfaccettature, considerate come inseparabili e strettamente interconnesse: materiale, immateriale e digitale, sia *born digital* che digitalizzato. Un prodotto di questo evento è stato lo *European Framework for Action on Cultural Heritage* (fig. 3.4.), creato con l'obiettivo di «sfruttare l'impulso creato durante l'Anno europeo del patrimonio culturale, tramite una serie continua di

azioni a breve e medio termine»²⁵. Il Quadro è basato su cinque pilastri fondamentali:

- partecipazione ed accesso;
- soluzioni intelligenti per un futuro sostenibile;
- salvaguardia del patrimonio culturale in pericolo;
- mobilitazione di conoscenze e ricerca;
- rafforzamento della cooperazione internazionale.

In particolare, nel primo e nel quarto settore le ICT rivestono un ruolo fondamentale. Sono infatti considerate dall'UE uno degli strumenti principali per l'accessibilità del patrimonio culturale in grado di giocare un ruolo fondamentale sul coinvolgimento dei cittadini. Per questo motivo è necessario investire nell'incentivazione all'utilizzo di tali tecnologie e alla loro applicazione in progetti di ricerca ed innovazione legati al patrimonio culturale.

La digitalizzazione riveste un ruolo chiave nella programmazione europea tanto che «nell'ultimo periodo di lavoro (2014-2020), l'Unione europea ha investito circa 256.000.000 € in ricerca e supporto per la digitalizzazione del patrimonio culturale, principalmente attraverso il Programma Quadro *Horizon2020* e il *Connecting Europe Facility* (CEF), il fondo per gli investimenti infrastrutturali dell'Unione»²⁶. Inoltre, nel gennaio 2021 la commissione europea ha lanciato il progetto "*Competence Centre for the Conservation of Cultural Heritage*"²⁷, nell'ambito di *Horizon2020*, con un finanziamento di 3.000.000 di euro per la creazione di un'infrastruttura virtuale con il seguente obiettivo: «*aims to set up the methodological, procedural, and organizational framework of a Competence Centre able to seamlessly work with a network of national, regional, and local Cultural Institutions, providing them with advice, support, and services focused on the preservation and conservation of historical monuments and sites*»²⁸.

3.2. LO SCENARIO ITALIANO

L'Italia in materia di digitalizzazione del patrimonio culturale ha iniziato a seguire concretamente le direttive europee con un ritardo di alcuni anni. Nel primo decennio degli anni 2000 il Ministero per i Beni e le Attività Culturali ha investito molte risorse nel campo della digitalizzazione dei beni culturali per favorirne una valorizzazione, ed è proprio in questi anni che sono stati sviluppati una pluralità di progetti che hanno aperto la strada verso la definizione di un processo più strutturato. A questo periodo risale ad esempio il portale *CulturaItalia* (2008), il primo ingente progetto di presentazione di un unico *database* online dei beni del patrimonio nazionale, che funge inoltre da primo aggregatore di dati per il portale *Europeana*. Una vera e propria coordinazione è iniziata però solo nel 2017 quando il Mibact (dal 2021 MiC²⁹) con il DM 23 gennaio 2017 n. 37³⁰ ha affidato all'ICCD (Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione) il compito di curare «tramite il servizio Digital Library [Istituto centrale per la digitalizzazione del patrimonio culturale], il coordinamento dei programmi di digitalizzazione del patrimonio culturale». Nel Decreto viene inoltre specificato che il servizio «cura il coordinamento in materia di programmi di digitalizzazione del patrimonio culturale di competenza del Ministero; verifica lo stato dei progetti di digitalizzazione attuati dagli uffici del Ministero e monitora la consistenza delle risorse digitali disponibili; coordina appositi tavoli tecnici con rappresentanti degli istituti e degli uffici centrali e periferici del Ministero, ai fini dell'elaborazione e dell'attuazione del Piano nazionale di digitalizzazione del patrimonio culturale [PND]; fornisce supporto agli uffici del Ministero e redige accordi tipo per la realizzazione di progetti di digitalizzazione del patrimonio culturale, anche in collaborazione con altri enti pubblici o privati»³¹.

Quello che prima era considerato solamente un «servizio» afferente al ICCD, nel 2019, con il D.P.C.M. 2 dicembre 2019, diviene a tutti gli effetti un ufficio del Ministero dotato di autonomia speciale a livello dirigenziale, quindi, oltre alle attività sopra descritte «esprime parere obbligatorio e vincolante su ogni iniziativa del Ministero in materia»³² di digitalizzazione del patrimonio culturale.

Nel 2019 inoltre la Direzione Generale Musei, sollecitata dall'Unione Europea, ha pubblicato il *Piano Triennale per la Digitalizzazione e l'Innovazione dei Musei*, un documento che funge da «quadro di riferimento organico, affidabile e condiviso per adottare strumenti e processi digitali che concorrano agli obiettivi di tutela e valorizzazione del patrimonio culturale in un orizzonte di breve e medio periodo»³³. Il piano si pone i seguenti obiettivi:

- a) Migliorare la capacità di tutti i musei aderenti al Sistema Museale Nazionale di gestire il patrimonio, sia incrementando l'efficacia e l'efficienza dei processi di tutela (conservazione, sicurezza, catalogazione) grazie all'adozione degli standard catalografici e dei sistemi informativi già disponibili, sia stimolando nuovi percorsi di valorizzazione (creazione di modelli digitali in grado di rappresentare il bene, di facilitarne l'accesso e la distribuzione);
- b) Migliorare la capacità dei musei di proporre il patrimonio culturale ai propri interlocutori sia in termini di esposizione e narrazione delle opere che in termini di commercializzazione di servizi correlati o aggiuntivi;
- c) Rendere i musei spazi aperti di condivisione con i visitatori, gli studiosi, gli altri musei nazionali e internazionali, abilitando nuove forme di scambio e di comunicazione;
- d) Attivare nuove forme di accesso e fruizione dei dati relativi al patrimonio, mediate o abilitate da

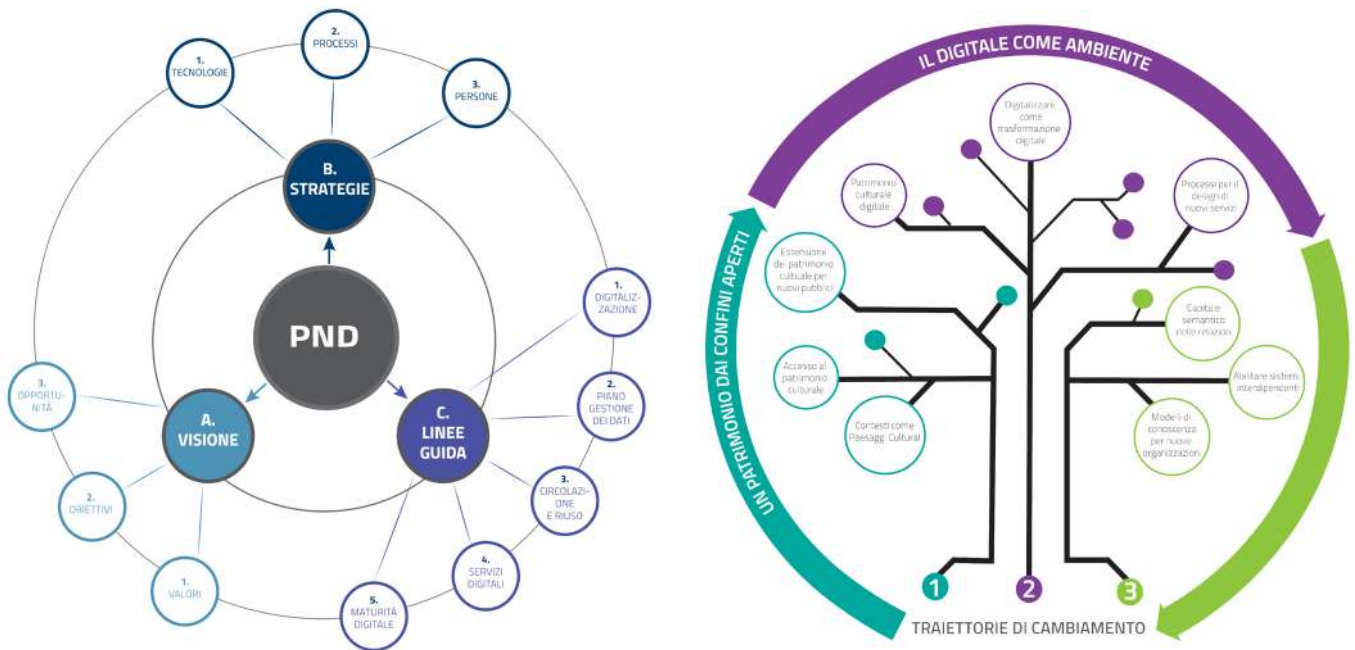


FIG. 3.5. *A sinistra, l’organizzazione schematica del Piano Nazionale di Digitalizzazione (PND) e, a destra, la “visione” secondo «tre traiettorie di cambiamento che pongono in un rapporto di reciproca interdipendenza i valori, gli obiettivi e le opportunità della trasformazione digitale». Il PND è in fase di consultazione e, secondo gli obiettivi della Digital Library, la versione definitiva dovrà essere approvata entro giugno 2022. La versione n.1 del piano è consultabile all’indirizzo: <https://partecipa.gov.it/processes/piano-nazionale-digitalizzazione-patrimonio-culturale>.*

soluzioni tecnologiche;

- e) Attivare azioni e stimolare le imprese e il mondo produttivo privato ad offrire prodotti e servizi a valore aggiunto negli ambiti delineati dal presente Piano.

La digitalizzazione rappresenta perciò un processo complesso che non si limita alla semplice “conversione” in digitale del bene culturale, ma costituisce una serie di azioni ramificate che includono l’implementazione sia dei servizi interni dei musei che dei servizi esterni, focalizzati sul miglioramento delle modalità di fruizione ed accessibilità al patrimonio. A queste direttive si aggiungono tutta una serie di iniziative «bottom-up», ovvero provenienti da un «processo partecipato di riflessione, progettazione e sperimentazione sviluppatosi attraverso le molteplici

realtà e istituzioni (università, scuole, associazioni, professionisti del settore, istituzioni culturali ecc.) aderenti alla rete *DiCultHers*³⁴. La *Carta di Pietrelcina sull’Educazione all’Eredità Culturale Digitale* (2020) rappresenta il risultato di tali riflessioni ed intende sottolineare come l’eredità culturale sia espressione delle creazioni tangibili, intangibili e digitali del territorio da cui trae origine. La Carta inoltre vuole essere un «quadro di riferimento per un’idea rinnovata di “spazi di apprendimento”, intesi come agorà virtuali dell’innovazione pedagogica»³⁵ e «proporsi quale premessa indispensabile a favorire la conoscenza approfondita dell’uso corretto e consapevole del Web, delle tecnologie ad esso collegate e degli strumenti e tecniche di comunicazione rese disponibili dalle nuove tecnologie digitali»³⁶.

NOTE

- ¹ UNESCO è un'agenzia delle Nazioni Unite istituita a Parigi nel 1946 con lo scopo di promuovere la pace e la comprensione degli Stati, tutelare il patrimonio culturale esistente, promuovere l'educazione, le scienze e la cultura. Attualmente (2021) sono membri dell'UNESCO 195 Paesi e 10 Membri Associati.
<http://www.unesco.it>
- ² ICOM (Consiglio Internazionale dei Musei) è la principale organizzazione internazionale non governativa che rappresenta i musei e i suoi professionisti. L'organizzazione, fondata nel 1946 a Parigi in occasione della prima conferenza generale dell'UNESCO, riunisce 40.860 soci in 138 paesi. L'obiettivo è quello di assistere la comunità nel preservare, conservare e condividere il patrimonio culturale presente e futuro, materiale e immateriale. ICOM-Italia gestisce l'organizzazione sul territorio nazionale italiano.
<https://icom.museum/en/>
- ³ ICCROM (Centro Internazionale di Studi per la Conservazione ed il Restauro dei beni culturali) è un'organizzazione intergovernativa fondata del 1956 per la conservazione del Patrimonio Culturale attraverso attività di training, informazione, ricerca, cooperazione e sensibilizzazione.
<https://www.iccrom.org/it>
- ⁴ ICOMOS (Consiglio Internazionale per i monumenti e i siti) è un'organizzazione internazionale non governativa fondata nel 1965 come risultato della Carta di Venezia del 1964 con l'obiettivo di fornire consulenza al Comitato del patrimonio mondiale dell'UNESCO sui Patrimoni dell'Umanità. Ne fanno parte oltre 10.000 membri.
<https://www.icomos.org/en>
- ⁵ López-Mencheró Bendicho, V.M., Flores Gutiérrez, M., Vincent, M.L., Grande Leon, A. (2017).
- ⁶ Brusaporci, S., Trizio, I. (2013), pag. 57.
- ⁷ Denard, H. (2012).
- ⁸ Carta di Londra (2008), Introduzione, pag. 2.
- ⁹ López-Mencheró Bendicho, V.M., Flores Gutiérrez, M., Vincent, M.L., Grande Leon, A. (2017), pag. 17.
- ¹⁰ Carta di Londra (2008), Principio 5, punto 5.2.
- ¹¹ In merito a questo principio è possibile trovare una trattazione esauriente in: Gabellone, F. (2012). La trasparenza scientifica in archeologia virtuale. Commenti al Principio N.7 della Carta di Siviglia. *SCIRES-IT*, 2(2)/2012, 99-124.
- ¹² Brusaporci, S., Trizio, I. (2013), pag. 59.
- ¹³ ICOMOS (2017), *The Seville Principles. International principles of virtual archaeology*, Principle 1, pag. 5. «Any project involving the use of new technologies, linked to computer-based visualisation in the field of archaeological heritage, whether for research, documentation, conservation or dissemination, must be supported by a team of professionals from different branches of knowledge.»
- ¹⁴ L'Europa ha iniziato a scommettere sulle opportunità fornite dalle nuove tecnologie dai primi anni 2000, dapprima con il piano di azione e-Europe, la costituzione del *Gruppo europeo dei rappresentanti nazionali per la digitalizzazione del patrimonio culturale* (NRG), i Principi di Lund e il progetto europeo MINERVA, che aveva lo scopo di coadiuvare l'attività del NRG e di facilitare la definizione di azioni e programmi in materia di digitalizzazione del patrimonio. Ma è con le raccomandazioni che si pongono delle vere e proprie basi e direttive per lo sviluppo della digitalizzazione nei vari paesi europei.
- ¹⁵ La Commissione Europea è una delle principali istituzioni dell'Unione Europea, fondata nel 1958, di cui costituisce suo organo esecutivo e promotrice del processo legislativo.
- ¹⁶ L 236/28, *RACCOMANDAZIONE DELLA COMMISSIONE del 24 agosto 2006 sulla digitalizzazione e l'accessibilità on line del materiale culturale e sulla conservazione digitale* (2006/585/CE).
- ¹⁷ Commissione Europea (2011), (5).
- ¹⁸ Vengono identificati come “materiali culturali” i «libri, riviste scientifiche, giornali, fotografie, oggetti museali, documenti d'archivio, materiali sonori e audiovisivi, monumenti e siti archeologici».
- ¹⁹ Antinucci, F. (2014), pag. 152.
- ²⁰ Il DCHE (*Expert Group in Digital Cultural Heritage and Europeana*) era una commissione istituita al fine di fornire consulenza in materia di patrimonio culturale digitale alla Commissione Europea. Si occupava inoltre del monitoraggio dei progressi e dell'impatto dell'attuazione delle Raccomandazioni del 2011 e dell'implementazione della piattaforma *Europeana*. Il DCHE ha terminato il suo mandato il 30 giugno 2021 ed è stato succeduto dal *Commission Expert Group on the common European Data Space for Cultural Heritage*.

- ²¹ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/europeana-digital-heritage-expert-group> <https://culturit.org/patrimonio-culturale-ed-europa-nuovi-orizzonti-nellera-digitale/>
- ²² Commissione Europea (2018), pag. 4.
- ²³ L'*European Heritage Alliance 3.3* è una piattaforma settoriale europea informale composta da 30 reti e organizzazioni europee o internazionali attive nel più ampio campo del patrimonio culturale, è stata lanciata nel giugno 2011 in occasione dell'European Heritage Congress 2011 organizzato da Europa Nostra ad Amsterdam.
- ²⁴ Durante l'Anno europeo sono state attuate diverse iniziative che evidenziano l'intersezione tra patrimonio culturale e digitale, come la "Story Map". Questo strumento interattivo online è stato sviluppato dal Centro comune di ricerca (JRC) della Commissione per fornire informazioni interattive e di facile accesso sulle iniziative in materia di patrimonio culturale in Europa attraverso delle "mappe narranti". <https://eu-commission.maps.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=e3e538d4e4b743c8a6bc7a363fbc2310>
- ²⁵ Commissione Europea (2018), pag. 5.
- ²⁶ Capozucca, R. (2019, 20 maggio). Passi avanti in Europa a favore del Patrimonio Culturale. *Il Sole 24 ore, Arteconomy24*: <https://st.ilsole24ore.com/art/arteconomy/2019-05-20/passi-avanti-europa-favore-digitalizzazione-patrimonio-culturale-124309.shtml?uuid=ACHydEF>
- ²⁷ <https://cordis.europa.eu/project/id/101004468>
- ²⁸ <https://www.4ch-project.eu/>
- ²⁹ Il MiBACT è stato ridenominato Ministero della Cultura (MiC) in seguito al DL 1° marzo 2021, n. 22 "Disposizioni urgenti in materia di riordino delle attribuzioni dei Ministeri".
- ³⁰ DM 7 ottobre 2008, recante il Regolamento dell'Istituto centrale per il catalogo e la documentazione (mod. DM 23 gennaio 2017): <http://www.iccd.beniculturali.it/getFile.php?id=5644#:~:text=1-Decreto%20ministeriale%207%20ottobre%202008%2C%20recante%20il%20Regolamento%20dell%27Istituto,del%20patrimonio%20culturale%20%E2%80%93%20Digital%20Library.&text=1>
- ³¹ *Inv*, art.1.
- ³² D.P.C.M. 2 dicembre 2019, n. 169, art. 35.
- ³³ Abstract del *Piano Triennale per la Digitalizzazione e l'Innovazione dei Musei*, pag. 1.
- <http://musei.beniculturali.it/wp-content/uploads/2019/08/Abstract-Piano-Triennale-per-la-Digitalizzazione-e-l%E2%80%99Innovazione-dei-Musei.pdf>
- ³⁴ Bonacini, E. (2020), pag. 24.
- ³⁵ Carta di pietrelcina (2020), pag. 6. <https://www.diculther.it/blog/2020/01/01/carta-di-pietrelcina-sulleducazione-alleredita-culturale-digitale/>
- ³⁶ *Ibidem*.

PARTE II



CAPITOLO 4

IL CASO STUDIO DELLA CUPOLA EMISFERICA DELLA SCARSELLA NELLA SAGRESTIA VECCHIA DI S. LORENZO

4.1. LA FABBRICA DELLA BASILICA DI SAN LORENZO A FIRENZE

La Basilica di San Lorenzo sorge nel centro storico di Firenze, nell'omonima piazza, e rappresenta uno dei centri di culto più antichi della città. La sua storia è stata segnata da numerosi interventi, demolizioni ed ampliamenti che ne hanno trasformato l'aspetto originario fino a farla diventare ciò che è oggi.

Le prime testimonianze sulla Basilica di San Lorenzo risalgono al IV secolo d.C. quando il vescovo di Milano, Aurelio Ambrogio, fu invitato da una delegazione di fiorentini a consacrare una basilica eretta in onore del martire San Lorenzo, tradizionalmente martirizzato il 10 agosto del 258. La basilica era stata edificata appena fuori dalle mura cittadine, a circa duecento metri fuori di Porta a Settentrione, su una piccola altura detta poi *monticulus Sancti Laurentii*, monte di San Lorenzo¹. Circa cinque secoli più tardi, nel gennaio del 1060, la chiesa di San Lorenzo fu consacrata una seconda volta, a seguito della radicale ristrutturazione e ampliamento voluta dal pontefice Nicolo II, Gherardo di Borgogna. Ci è giunta una testimonianza dell'aspetto che doveva avere l'edificio posteriormente a questi interventi grazie ad un disegno di Marco di Bartolomeo Rustici (1393-1457), orafo fiorentino, contenuto nel suo *Codice Rustici (Dimostrazione dell'andata del Santo Sepolcro)*. Questo manoscritto, composto da tre libri, rappresenta un

vero e proprio compendio di rappresentazioni visive della Firenze del '400. Affianca infatti al suo carattere narrativo numerosi disegni ed illustrazioni a penna ed acquerello, configurandosi come un'importante testimonianza dell'immagine degli edifici fiorentini anteriormente agli interventi rinascimentali. Nel primo dei tre libri egli compone una sorta di «guida sacra»² di Firenze, presentando al lettore la descrizione scritta e grafica di trentasette chiese della città. In particolare, la chiesa di San Lorenzo, rappresentata dall'esterno, appare come una struttura dotata di portico antistante e un campanile, mentre internamente, secondo i documenti conservati nell'archivio capitolare, doveva essere articolata in tre navate ed essere priva di transetto, come la coeva chiesa di S. Pier Scheraggio e Santa Reparata. La chiesa, immortalata dal Rustici nella prima metà del '400, rimase in piedi anche durante i primi lavori di costruzione dell'attuale Basilica, per essere poi definitivamente demolita nel 1465, nonostante i primi progetti prevedevano una possibile conservazione delle navate innestate nella nuova terminazione del transetto.

L'intenzione di operare questo ultimo imponente rinnovamento della chiesa è rintracciabile già nella seconda metà del '300, quando vengono concesse indulgenze dal vescovo Acciaiuoli per il proseguimento del progetto di ampliamento e quando il Comune di Firenze accoglie la richiesta avanzata dal Capitolo Laurenziano di inserire la chiesa «fra le sedi

FIG. 4.1 "Filippo Brunelleschi e Lorenzo Ghiberti presentano a Cosimo il modello della chiesa di San Lorenzo", Giorgio Vasari (1556-1558) [<https://catalogo.beniculturali.it/detail/HistoricOr.ArtisticProperty/0900281630-5>].



FIG. 4.2 *San Lorenzo da disegno del Rustici [Codice rustici, san lorenzo.jpg].*

dell'annuale omaggio dei ceri da parte della Mercanzia e dei Consoli delle Arti»³. Però solo tra il 1415 e il 1420 il priore Dolfini riuscì effettivamente a iniziare il progetto di ricostruzione ed ampliamento della chiesa di San Lorenzo, secondo un progetto affine a quello delle chiese di Santa Croce e di Santa Maria Novella e, con una cerimonia ufficiale, nel 1421 inaugurò la fondazione del transetto. Giovanni Averardo de' Medici, principale finanziatore dell'opera, conferì l'incarico della progettazione a Filippo Brunelleschi, il quale era già deputato alla realizzazione della sua cappella funeraria, l'odierna Sagrestia Vecchia. Per la realizzazione dell'ampliamento della Basilica di San Lorenzo vengono realizzate tra settembre e ottobre 1422, alcune demolizioni di edifici di proprietà del Capitolo di San Lorenzo e di parte del tessuto urbano



FIG. 4.3 *Il fianco della Basilica. [Baldini, U., Nardini, B. (1984)].*

della restrostante via dei Preti, oggi scomparsa. I lavori di costruzione del transetto, iniziarono quasi contemporaneamente alla Sagrestia, ma procedettero lentamente e con molte interruzioni. Nel frattempo la Sagrestia Vecchia veniva terminata e nel 1428 erano state edificate solamente le due cappelle del transetto con essa confinanti, apportando anche alcune alterazioni al progetto originale della Sagrestia. Successivamente alla morte di Giovanni nel 1429 i lavori subirono un arresto fino al 1442-1445, quando Cosimo de' Medici prese l'onere di proseguire la ricostruzione della chiesa. Alla morte di Brunelleschi la fabbrica risultava «interamente tracciata nel suo sviluppo, ma incompleta nella sua edificazione»⁴ e la direzione del cantiere passò nel 1457 ad Antonio di Manetto Ciaccheri. Egli, in seguito all'ottenimento



FIG. 4.4 Firenze come appare nella Carta della Catena (1490). Tra le abitazioni spiccano i vari luoghi di culto principali della città, tra cui la basilica di San Lorenzo, collocata al centro dell'immagine [<https://artsandculture.google.com/story/bgUbVU6eaWEI1Q?hl=it>].

per la Basilica del titolo di “*Collegiata insigne*” da parte del papa Pio II, concluse la costruzione del transetto e dell’altare maggiore nel 1461 e dell’intera chiesa nel 1470, ad eccezione della facciata rimasta tuttora incompiuta. Per quest’ultima, durante il concorso dei primi anni del XVI secolo pratocinato da papa Leone X, furono avanzate delle proposte da moltissimi maestri dell’epoca, come Giuliano da San Gallo, Raffaello, Michelangelo e Baccio d’Agnolo, ma nessuna di queste fu realizzata, lasciando al rustico le quaranta “ammorsature” della facciata⁵.

La Sagrestia Nuova (1520-1555) e la Biblioteca Laurenziana (1524-1568), opere michelangiolesche, si aggiunsero in seguito alle strutture rinascimentali della Basilica, completata con la costruzione della grande Cappella dei Principi (1568-1644) concepita

da Cosimo I dei Medici e promossa in seguito da Ferdinando I.

4.2. LA SAGRESTIA VECCHIA DI FILIPPO BRUNELLESCHI

Nel 1419 Giovanni di Averardo, detto Bicci, de’ Medici commissionò la costruzione dell’attuale Sagrestia Vecchia a Filippo Brunelleschi allo scopo di edificare la cappella funeraria per la famiglia Medici⁶, in concorrenza con quella iniziata nel 1418 da Lorenzo Ghiberti su commissione di Palla Strozzi nella chiesa di Santa Trinita. La costruzione iniziò probabilmente nel 1422, già sotto le direttive di Cosimo de’ Medici il Vecchio, figlio di Giovanni, e si protrasse fino al 1428,



FIG. 4.5 *Vista dello spazio interno della Sagrestia Vecchia [Baldini, U., Nardini, B. (1984)].*

data incisa sulla lanterna in sommità dell'edificio. La Sagrestia, considerata quasi unanimemente dagli storici come l'inizio dell'architettura rinascimentale, racchiude le sperimentazioni tecniche e linguistiche che l'architetto aveva avuto l'occasione di applicare nella realizzazione della cappella Ridolfi in San Jacopo oltr'Arno, oggi scomparsa, e la cappella Barbadori a Santa Felicita, giunta a noi in maniera estremamente frammentaria⁷, e contiene *in nuce* elementi stilistici sviluppati in momenti successivi ed impiegati nelle sue opere. La Sagrestia Vecchia rappresenta inoltre l'unica opera portata integralmente a compimento dal grande architetto, oltre ad essere «il più consapevole e

compiuto messaggio del primo Rinascimento»⁸. Nel progettare la Sagrestia, chiamata “vecchia” in seguito alla costruzione della Sagrestia Nuova (1520) ad opera di Michelangelo, Brunelleschi fa riferimento al suo vivissimo interesse per l'antichità romana, da cui ne desume i due elementi di base che compongono l'architettura, l'ordine architettonico e l'arco a tutto sesto, che declina ed applica nelle sue diverse opere. Oltre agli *exempla* classici di riferimento si possono riscontrare anche analogie con il Battistero di San Giovanni, per il quale nutriva una grande ammirazione, e con il Battistero di Padova, per le proporzioni dell'ambiente e per alcuni particolari (come le due

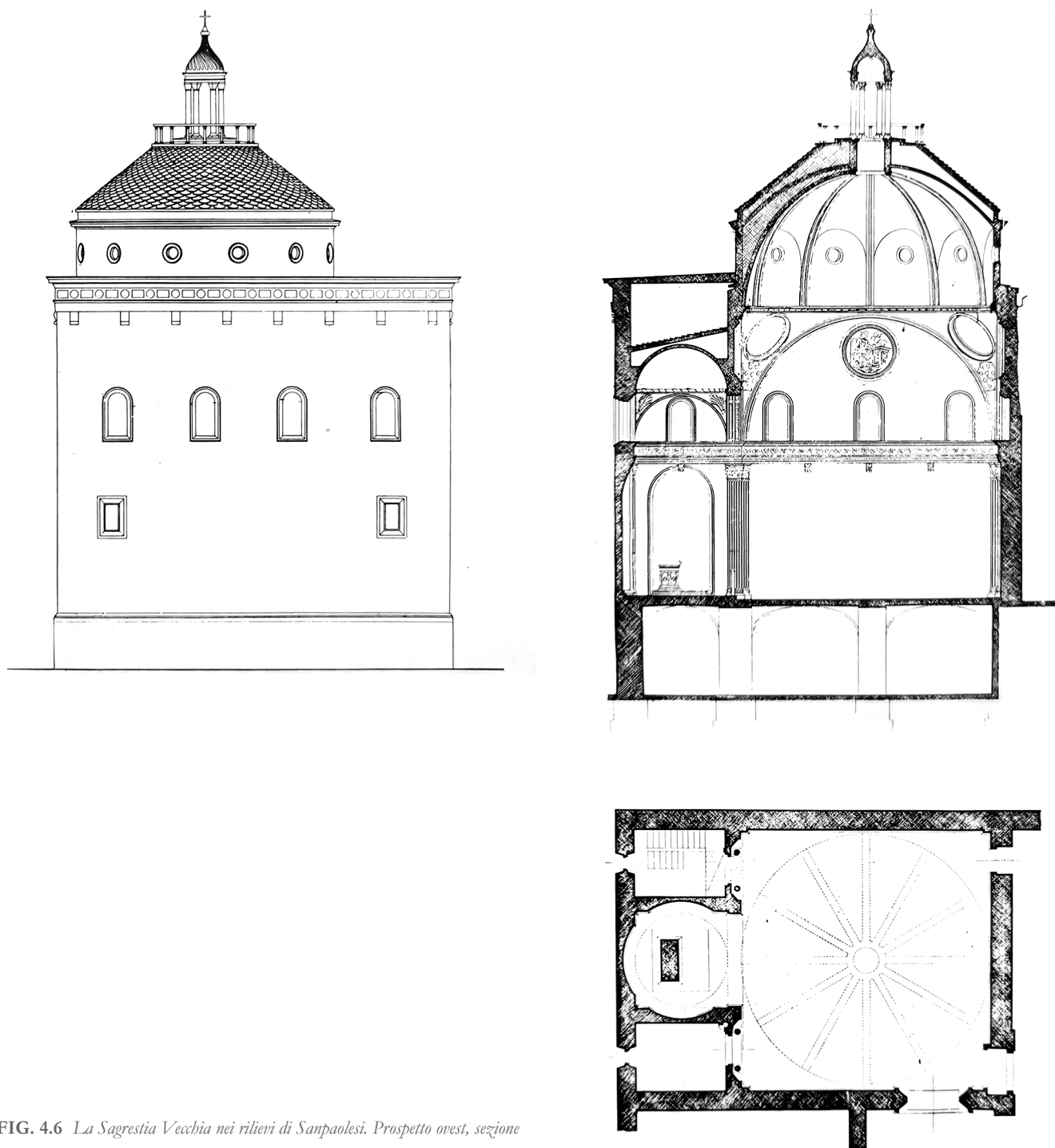


FIG. 4.6 *La Sagrestia Vecchia nei rilievi di Sanpaolesi. Prospetto ovest, sezione passate per i due vani principali (aula e scarsella) e pianta [Battisti, E. (1974), pag. 80].*

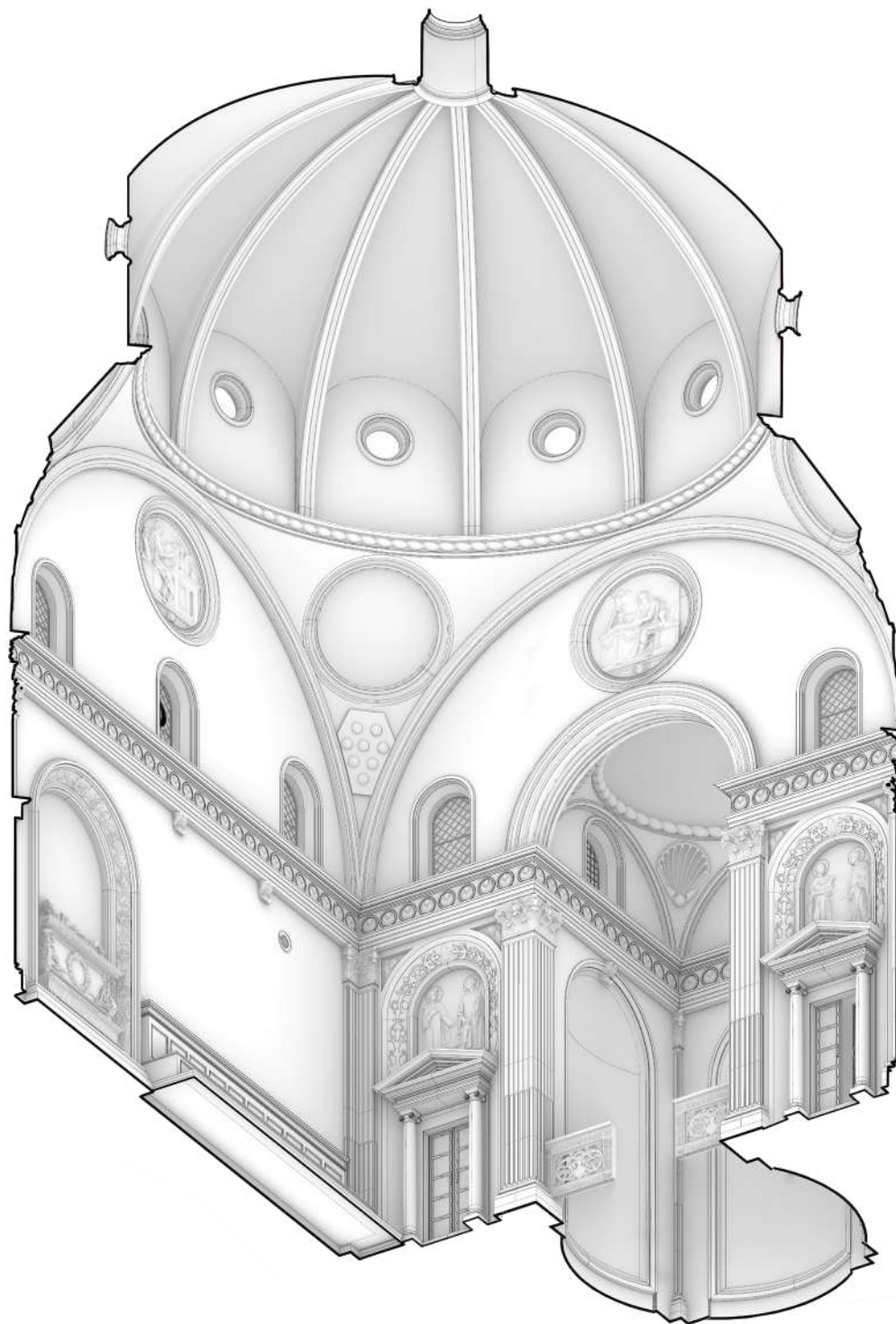
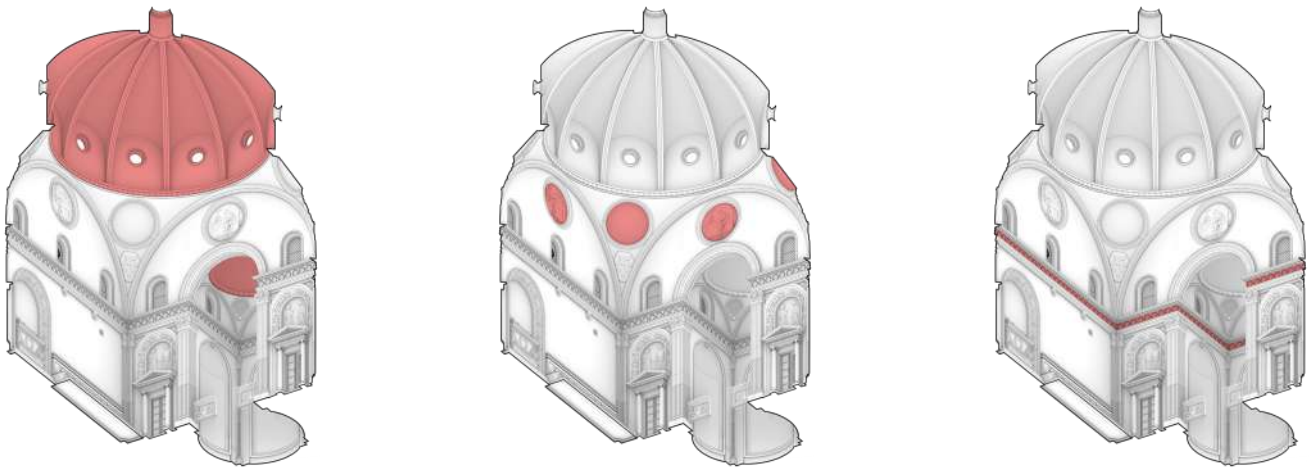


FIG. 4.7 *Spaccato assonometrico. Vista dal basso dello spazio interno della Sagrestia Vecchia.*



Identificazione delle due cupole della Sagrestia Vecchia: la cupola ad ombrello dell'aula e la cupola emisferica della scarsella.

Il sistema dei tondi di Donatello. Nei pennacchi sono collocati i tondi delle *Storie di San Giovanni Evangelista*, mentre, negli arconi, i tondi degli *Evangelisti*.

Il fregio, realizzato in terracotta policroma invetriata, ornato con i cherubini e serafini e attribuito a Luca della Robbia.

FIG. 4.8 Elementi caratterizzanti la parte superiore dello spazio interno.

finestre nelle pareti e ai lati della scarsella, le paraste angolari a libro, i pennacchi sferici con tondi). Concepita inizialmente come un ambiente autonomo⁹, anche se in comunicazione con il transetto di San Lorenzo, la Sagrestia Vecchia si presenta come un ambiente stereometrico caratterizzato da forme e solidi geometrici semplici (cubo e sfera) e dall'accostamento di due spazi a base quadrata, coperti da una cupola. Il primo è rappresentato da una grande aula, racchiudente la tomba di Giovanni di Bicci de' Medici e la moglie Piccarda Bueri, collocata nel 1433 sotto la mensa marmorea centrale, la quale svolgeva anche la «fondamentale funzione di impedire una lettura centrica, e quindi statica, dello spazio interno della Sagrestia»¹⁰. Il piano della mensa presenta un disco centrale in porfido rosso, posizionato in asse con l'occhio centrale della volta a ombrello soprastante e della medesima dimensione, realizzato con lo scopo di simboleggiare la proiezione sul piano consacrato dello spazio esterno, della Divinità Celeste. Questo ambiente è delimitato sui

quattro angoli da paraste scanalate che ne evidenziano la geometria e l'organizzazione spazio-strutturale e che «definiscono con estrema chiarezza e rigore l'organismo misurato e proporzionato secondo rapporti certi tra le parti»¹¹. Sui loro capitelli corinzi, corre una trabeazione caratterizzata da un fregio ornato da cherubini (in rosso) e serafini (in blu). Al di sopra di questa sono collocate tre aperture per lato (solo due verso la scarsella) e si impostano sui quattro lati degli archi a tutto sesto che, tramite dei pennacchi ornati con i tondi delle vicende di San Giovanni Evangelista, raccordano la base quadrata alla base circolare della cupola ad ombrello. La cupola «a creste e vele»¹², realizzata da archi rampanti e voltine in mattoni, lascia filtrare la luce da dodici aperture collocate fra le nervature e da un oculo in sommità (fig. 4.11.), coperto esternamente da un lanternino a forma di tempio su colonne. Sul lato opposto a quello di ingresso, l'aula centrale si apre verso l'ambiente più piccolo della scarsella, con la quale condivide la medesima trabeazione e le medesime

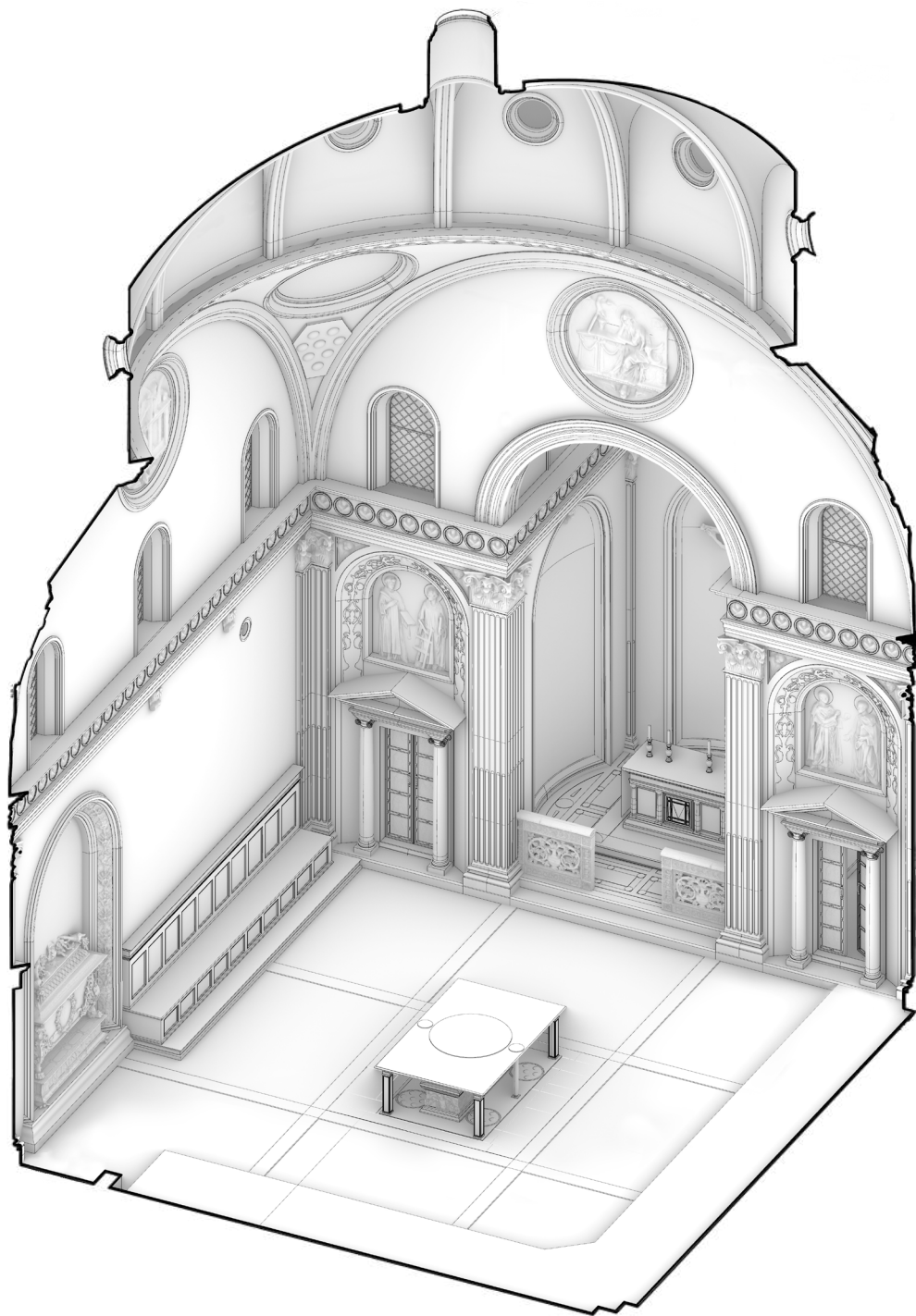
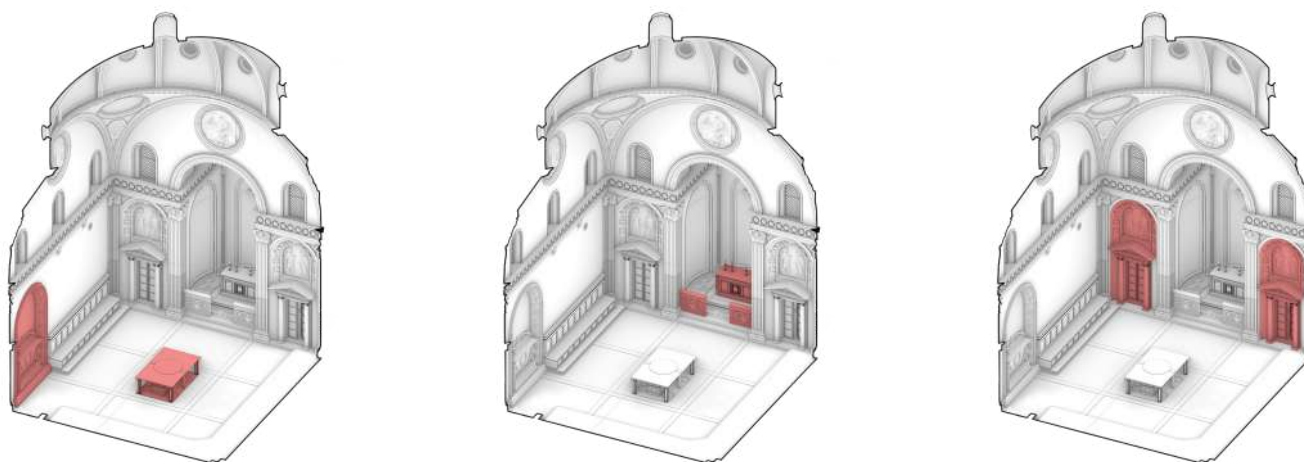


FIG. 4.9 *Spaccato assonometrico. Vista dall'alto dello spazio interno della Sagrestia Vecchia.*



I due sepolcri: a sinistra quello di Giovanni e Piero de' Medici, realizzato dal Verrocchio, e, al centro, sotto la mensa marmorea, quello di Giovanni di Bicci e moglie, del Buggiano.

Le transenne di marmo attribuite a Donatello e l'altare nella scarsella realizzato del Buggiano.

Le "facciate" di Donatello. A sinistra: l'edicola dei Santi Stefano e Lorenzo e la Porta dei Martiri; a destra: l'edicola dei Santi Cosma e Damiano e la Porta degli Apostoli.

FIG. 4.10 Elementi della parte inferiore dello spazio interno.

paraste. L'ingresso alla scarsella è delimitato da due transenne marmoree, due «traslucidi diaframmi», composte da «ampi girali traforati nascenti da un'anfora ansata centrale e racchiusi da ricche cornici decorate con conchiglie seriali»¹³. La transenna di sinistra presenta però differenze rispetto all'altra per quanto riguarda l'assemblaggio dei blocchi e la difformità di materiale ed esecuzione di uno degli elementi che la compongono (comprendente la cornice superiore decorata con le conchiglie seriali, la rosetta pluripetala di destra e una piccola porzione di piedritto sottostante). L'ipotesi avanzata da Ruschi è che si possa trattare di un frammento dell'antica basilica di San Lorenzo, sorta nel 393 e demolita nel Quattrocento per far posto alle navate della nuova. Tale frammento fu rimpiegato nella transenna della Sagrestia Vecchia non come semplice inserto archeologico ma come «creativo modello»¹⁴ del nuovo manufatto. Lo spazio della scarsella è caratterizzato da tre nicchie depresse su ogni lato, ricavate in pianta da un unico cerchio, e si configura come una sorta di

cappella tricora. L'ambiente è coperto da una cupola emisferica su pennacchi ornati da conchiglie, sorretta, analogamente allo spazio principale, da quattro archi a tutto sesto sui quali sono collocate tre aperture, una per lato. La cupolina emisferica di copertura si imposta su una cornice circolare «decorata a cordone come una fune di vela [...]». Nello stesso modo la cupola della scarsella è pensata come un «velario avvolto da lacci» che «trasfigura la muratura in vuoto attraverso il quale si vede il cielo»¹⁵. Sulla superficie della cupola è infatti presente una rappresentazione del cielo in una particolare data, assieme alla figurazione delle costellazioni visibili. Come fa notare E. Battisti la cupoletta sull'altare e la lanterna rappresentano elementi di origine esotica. Era infatti in uso nei paesi arabi l'impiego di decorazioni astrologiche all'interno delle cupole¹⁶ e la realizzazione di coronamenti a spirale (guglia tortile) nei tradizionali pinnacoli islamici¹⁷. Ai due lati della scarsella si trovano due ambienti di servizio, accessibili dai portali collocati a destra e sinistra dell'ingresso alla scarsella.



FIG. 4.11 Parte superiore della parete absidale e imposta della cupola ad ombrello sui pennacchi [Baldini, U., Nardini, B. (1984)].

Il progetto originale del Brunelleschi, che prevedeva un ambiente caratterizzato da un estremo rigore geometrico e dalla tradizionale bicromia del bianco, costituito dall'intonaco delle pareti, e grigio, della pietra serena dello "scheletro strutturale" apparente, senza grandi concessioni ornamentali, fu concluso negli anni seguenti con arredi e figurazioni decorative, anche se in contrasto con le idee dell'architetto. Se ne occuparono negli anni diverse figure, come Luca della Robbia, al quale sono attribuite le figure di terracotta invetriata nel fregio, il Buggiano, il quale realizzò l'altare nella scarsella e il sepolcro di Giovanni di Bicci e sua moglie, ed infine Donatello, che realizzò tra il 1428 e il 1443 la maggior parte delle decorazioni presenti. A lui sono dovuti i tondi dei *Quattro Evangelisti* sulle pareti e quelli con le *Storie di San Giovanni Evangelista* nei pennacchi, le edicole in stucco policromo ai lati della scarsella, i portali con

colonne ioniche e timpani e, infine, le figure delle porte bronzee, realizzate assieme a Michelozzo su commissione di Cosimo de' Medici.

Questa «diffusa e inusitata policromia» che si è venuta a creare, che «investe l'intero arredo plastico e pittorico interno e che si estende perfino sulla pietra serena»¹⁸, come fa notare Ruschi è una delle novità più significative della Sagrestia Vecchia, in contrasto con la classica architettura severa e monocroma di Brunelleschi. Dai colori degli stemmi medicei, della cupolina della scarsella e delle conchiglie nei pennacchi e dei cherubini e serafini della cornice marcapiano, fino agli stucchi donatelliani delle storie di San Giovanni Evangelista e alla densissima cromia delle "facciuole" ai lati della scarsella. A creare questo ambiente colorato contribuisce anche il pavimento, «realizzato con un cocciopesto rosso nell'aula e con un prezioso *opus sectile* policromo nella scarsella»¹⁹.



FIG. 4.12 Fotografia dal basso della cupola emisferica nella scarsella. Sulla sinistra si intravede la cupola a ombrello della sala principale.

4.3. LA CUPOLA EMISFERICA DELLA SCARSELLA

Il dipinto sulla cupolina della scarsella della Sagrestia Vecchia rappresenta una figurazione dell'emisfero celeste catturato in una particolare data e congiunzione astrale, e costituisce uno degli apparati pittorici «più inconsueti e affascinanti della prima metà del XV secolo»²⁰. Il dipinto è una vera e propria mappa del cielo, eseguita con una precisione sorprendente, nella quale sono raffigurate tutte le costellazioni visibili nell'emisfero boreale e le varie coordinate astronomiche (fig. 4.12.). Su uno sfondo blu scuro vengono rappresentati in oro i corpi celesti e le coordinate fondamentali del cielo: i coluri, il circolo polare, i tropici, l'equatore celeste, l'eclittica, evidenziata mediante la sua scomposizione in gradi attraverso un sistema reticolare, e la fascia zodiacale, rappresentata dalle due doppie linee continue. Tra il

sistema dei corpi celesti e delle coordinate si trovano le figure delle costellazioni dipinte a chiaroscuro e tracciate a mano libera²¹, creando così nell'insieme una visione estremamente suggestiva. A testimoniare la grande attenzione astronomica riservata nella realizzazione del dipinto, oltre alla estrema precisione della posizione degli astri, è il corretto orientamento secondo la direzione nord-sud, così da far corrispondere il cielo reale a quello dipinto, «proprio come se la cupola non esistesse»²². Di questo «planetario» ne esiste una copia esatta all'interno della Cappella Pazzi, progettata da Brunelleschi e decorata da Luca della Robbia per Andrea de Pazzi. Come il dipinto a San Lorenzo anche questo presenta un corretto orientamento secondo i punti cardinali, sebbene sia artisticamente e scientificamente più scadente. Al contrario dell'esemplare della Sagrestia Vecchia di questo ne rimane visibile solamente poco



FIG. 4.13 *Dettagli della cupola emisferica della Sagrestia. 1. Toro; 2. Cancro, Gemelli; 3. Orione, Lepre; 4. Cassiopea, Cefeo, Perseo; 5. Orsa Maggiore; 6. Auriga..*



FIG. 4.14 La cupola emisferica di Cappella Pazzi nel complesso di Santa Croce.

più della metà (fig.4.14).

Nonostante le straordinarie innovazioni²³ introdotte dal firmamento dipinto della Sagrestia Vecchia non è giunta a noi nessuna testimonianza o documento storico che ne faccia menzione. Per la sua riscoperta dovremo attendere infatti il XX secolo quando per la prima volta venne studiata ed analizzata, dal punto di vista astronomico e astrologico, da Aby Warburg e K. Graff, i quali considerarono però esclusivamente la posizione delle costellazioni²⁴. Lapi Ballerini attribuisce questo disinteresse verso la cupola alla scarsa visibilità che probabilmente la affliggeva nei secoli passati, sia causati dalla chiusura durante la metà del XV secolo di due delle tre finestre della scarsella che permettevano alla luce esterna di illuminarla adeguatamente, sia allo strato di sporco e nerofumo che ne comprometteva una chiara leggibilità. L'immagine originaria della cupola fu ristabilita solamente in seguito all'intervento di restauro conservativo realizzato tra il 1984 e il 1986 dalla Soprintendenza per i Beni Ambientali e Architettonici di Firenze e Pistoia e dall'Opificio delle Pietre Dure di Firenze. La pittura risultava infatti

interessata da un avanzato stato di degrado e da numerosi interventi di manutenzione, che ne avevano alterato i "valori originali". Per questo il restauro condotto dall'Opificio non si è configurato come un atto «strettamente conservativo, ma anche come atto filologico di conoscenza e di recupero storico dell'opera stessa, e, nell'intento di restituirle una migliore leggibilità, come ricerca di una più corretta valutazione dei suoi elementi costitutivi»²⁵. È proprio grazie ai lavori di restauro e alla possibilità di effettuare uno studio ravvicinato che gli studiosi hanno potuto verificare le modalità di realizzazione del dipinto²⁶ e l'estrema precisione che lo caratterizza. L'artista infatti non solo ha tracciato tutte le figurazioni a mano libera senza l'ausilio di disegni preparatori (spolvero, cartone, ecc.) ma ha anche posto particolare attenzione alla preventiva identificazione dei corpi celesti e delle linee di divisione del cielo, identificati tramite una "freccia" e poi incisi sulla superficie della volta mediante una punta metallica. Gli studi effettuati sul manufatto negli ultimi decenni hanno confermato l'elevata scientificità della rappresentazione celeste,

tanto che si considera come certo il coinvolgimento della figura di Paolo del Pozzo Toscanelli nella realizzazione della cartografia di supporto al dipinto²⁷. Egli dovette fissare «in carta i punti delle stelle»²⁸ e un pittore si occupò poi di trasferirli nella calotta e disegnarci attorno le costellazioni. Se la prima attribuzione a Toscanelli della progettazione cartografica della volta si deve a Parronchi nel 1978, nel 2016 ne è stata ribadita ulteriormente la paternità dall'astronomo Giangiacomo Gandolfi²⁹ in seguito al confronto da lui eseguito tra un campione di stelle del dipinto con le carte del Toscanelli, conservate nel Fondo Magliabechiano della Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze, e con il catalogo di Tolomeo.

La stessa “certezza” sulla realizzazione della cartografia celeste non si ritrova però nell'identificazione della figura che si occupò della realizzazione del dipinto. Nonostante sia generalmente riferita alla figura di Giuliano d'Arrigo (1367-1446), detto il Pesello, grazie alle affinità individuate nel disegno delle figurazione della volta con alcuni dipinti a lui attribuiti³⁰, negli anni sono state avanzate ipotesi che vedono coinvolte le figure di Brunelleschi come ideatore della raffigurazione³¹ o di Leon Battista Alberti³². Inoltre, il rinvenimento, durante i lavori di restauro dell'80, di differenti tipologie di tratto in due gruppi di figure lascia aperta la possibilità che parte del dipinto possa essere stato affrescato da una seconda mano, forse un «aiuto di bottega» del maestro incaricato o «un continuatore di un'opera per qualche ragione lasciata incompiuta»³³.

4.3.1. Interpretazioni critiche dell'affresco del cielo

La precisione nella rappresentazione della volta celeste dimostra la volontà dei committenti di rappresentare, ed in qualche modo “cifrare”, sulla superficie della cupola un preciso momento che per loro doveva

essere di centrale importanza, tanto da imprimerlo nel mausoleo sepolcrale della propria famiglia. Tale convinzione ha portato storici ed astronomi a cercare di identificare l'evento celato all'interno del dipinto, realizzando studi di carattere storico e scientifico, relazionandosi sia alle datazioni ipotizzate, sia all'anomalia della sua duplicazione nella Cappella Pazzi, che necessariamente estende il suo significato oltre i confini della cerchia della famiglia Medici.

Perciò all'incertezza sugli autori materiali dell'opera si aggiunge quella relativa alla suo significato e datazione. A causa della totale mancanza di documenti storici a riguardo, le ipotesi tracciate negli anni sono state effettuate in base a osservazioni di tipo astronomico e al confronto con cartografie celesti e in base alla contestualizzazione storica. Dopo le prime ipotesi avanzate da vari studiosi, in seguito all'identificazione di pianeti all'interno della rappresentazione, ad oggi la data più plausibile risulta essere quella fissata da Forti e Lapi Ballerini del 4/5 luglio 1442.

Nei paragrafi seguenti si ripercorrono brevemente le varie analisi ed ipotesi presentate nel corso degli anni.

- 1912 | Aby Warburg e K. Graff³⁴

Warburg e Graff, dopo aver definito una serie di date possibili, ipotizzarono la data **9 luglio 1422**, nella quale, secondo L. A. Giamboni in *Diario sacro e guida perpetua per visitare le chiese della città di Firenze* [...] (1700)³⁵, avvenne la consacrazione dell'altare di S. Lorenzo.

- 1932 | Gertrud Bing³⁶

Bing, vista la duplicazione dell'affresco nella Cappella Pazzi, aggiunse l'ipotesi del **6 luglio 1439** collegando l'emisfero con l'evento della cerimonia di chiusura del Concilio di Firenze, durante il quale fu sancita l'unione tra Chiesa d'Oriente e d'Occidente. In quel periodo Cosimo de' Medici era gonfaloniere e Andrea Pazzi priore.



FIG. 4.15 Particolare prima e dopo il restauro del 1984 [Lapi Ballerini, I. (1986), p. 83].

- 1967 | Arthur Beer³⁷
Propone la data del **14 luglio 1422**, facendo riferimento alla consacrazione dell'altare di S. Lorenzo.
- 1976 | Paolo Fraticelli e Stefania Salomone³⁸
Ripercorrendo la ricerca svolta da Warburg, Fraticelli e Salomone, grazie al supporto di Giuseppe Caprioli dell'Osservatorio Astronomico di Roma, proposero un ampio set di date che coincidevano con una serie di domeniche, in base al calendario liturgico: **6 luglio del 1483, 1499; 5 e 7 luglio del 1415, 1426, 1461, 1464, 1472; 14 luglio del 1409, 1482, 1493; 13-15 luglio del 1425, 1436, 1455, 1466.**
- 1981 | Patricia Fortini Brown³⁹
La data **6 luglio 1439** ipotizzata da Gertrud Bing venne affermata da Fontini Brown nel 1981, supportata dalle verifiche effettuate dal Prof. John Heilbron.
- 1979-1984 | Alessandro Parronchi⁴⁰
Nel 1979 e nel 1984 Parronchi, assieme alla conferma dell'attribuzione dell'affresco a Pesello e all'individuazione della figura di Toscanelli come supporto nella redazione del dipinto, definì la data del **16 luglio 1416**, corrispondente al giorno di nascita del primogenito di Cosimo il Vecchio, Piero de Medici.
- 1987 | Giuseppe Forti et al., Isabella Lapi Ballerini⁴¹
Nel periodo 1987-1989 G. Forti, P. Ranfagni, B. Monsignorini Fossi e I. Lapi Ballerini, in seguito al restauro, identificarono dei pianeti lungo l'eclittica e ipotizzarono una nuova datazione planetaria (prima erano stati fatti tentativi luni-solari) del

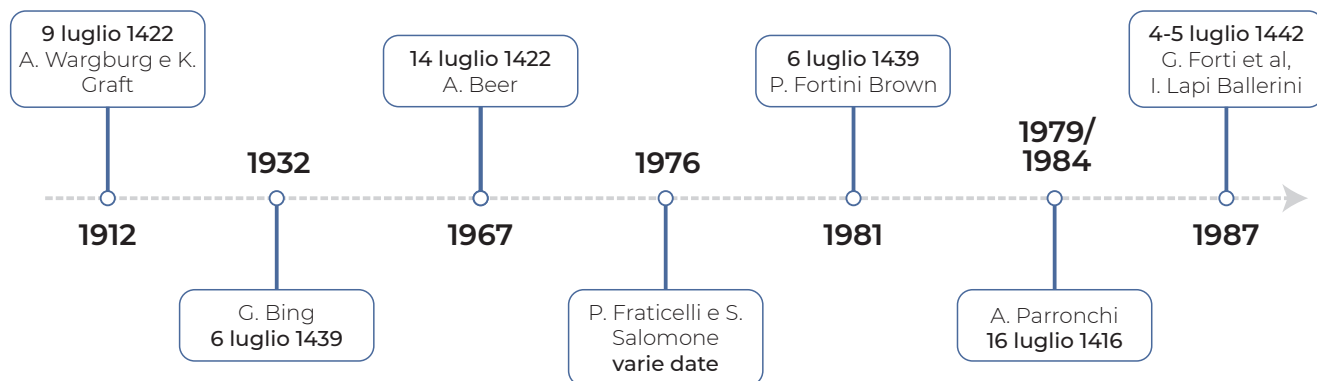


FIG. 4.16 Le varie interpretazioni sulla datazione della cupolina della scarsella.

4/5 luglio 1442, correlata con l'arrivo a Firenze il 15/16 luglio 1442 di Renato d'Angiò.

- 2006 | Dieter Blume⁴²

Basandosi sulla *Mathesis* di Firmico Materno, Blume realizza un'interpretazione astrologica dell'affresco, possibile grazie alla identificazione della posizione di tutti i pianeti, identificando la coincidenza di tre date all'interno dell'affresco: **5 aprile 802** – giorno della rifondazione carolingia di Firenze, **27 settembre 1389** – nascita di Cosimo e il **4 luglio 1442** che per Blume non ricopre nessun significato di per sé ma piuttosto rappresenta una «prova della predestinazione dei Medici».

- 2008 | Salvo De Meis⁴³

Ritiene errata la datazione di Heilbronn del 6 luglio 1339 e considera la data del **4 luglio 1442** come la più probabile (affermato anche in una comunicazione privata a G. Gandolfi⁴⁴).

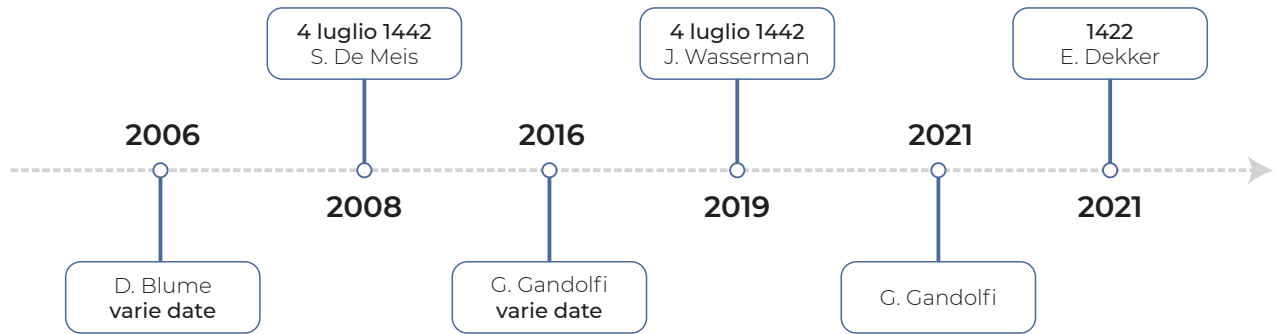
- 2016 | Giangiacomo Gandolfi⁴⁵

Gandolfi nel 2016 ha fornito una nuova

datazione astronomica, avvalendosi delle quasi coeve mappe astronomiche di Paolo dal Pozzo Toscanelli conservate nel Fondo Magliabechiano della Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze e del Catalogo di Tolomeo. Introduce quindi due nuove configurazioni, oltre a quella del **4/5 luglio 1442: 6 luglio 1439** (già ipotizzata da Bing nel 1932) e il **10 luglio 1444**, anche se quest'ultima viene poi scartata a causa di troppe discrepanze. Inoltre, avanza due ulteriori ipotesi sul significato astrologico:

6 luglio 1439 è possibile che la proclamazione dell'unificazione delle due Chiese fosse stata stabilita a priori nella mattina del 6 luglio 1439 da un'elezione e che poi Cosimo e i suoi alleati riproducessero tale data come simbolo del trionfo politico-diplomatico dei Medici;

4/5 luglio 1442 l'emisfero rappresenta la mattina del 4/5 luglio 1442 quando fu realizzata l'elezione per l'accordo sull'acquisizione di San Lorenzo e della sua Sagrestia, ratificata ad agosto, e quando al tempo stesso i Pazzi iniziarono i lavori a Santa Croce.



Un'ultima ipotesi vede la possibilità che l'affresco nella Sagrestia sia stato realizzato sulla base di un'Interrogazione personale e che la controparte nella Cappella Pazzi sia stato realizzato come omaggio artistico al capolavoro di Toscanelli e/o Alberti. Anche se considera improbabile una completa assenza di significato astrologico data l'innegabile attenzione alla geometria e all'orientamento del cielo.

- 2019 | Jack Wasserman⁴⁶

Wasserman ipotizza che la data del **4 luglio 1442** possa rappresentare il momento in cui Cosimo accettò di finanziare la costruzione di un nuovo transetto di San Lorenzo, a patto che l'edificio diventasse un luogo di sepoltura esclusivo della famiglia Medici. Inoltre, ipotizza che Cosimo intendesse simboleggiare, attraverso la cupola dipinta e le conchiglie sui pennacchi (simbolo di pellegrinaggio) l'ascesa dei Medici, lì sepolti, verso il cielo.

- 2021 | Giangiaco Gandolfi⁴⁷

Gandolfi evidenzia la possibilità che l'emisfero possa contenere significati più ampi collegandolo al Concilio e alla narrativa dei Magi, dal potere «propagandistico e mitopoietico» nella Firenze quattrocentesca, presente in molte opere commissionate da Cosimo dagli anni '40. Afferma della possibile allusione dell'emisfero all'identificazione della Stella di Betlemme e della celebrazione dei Medici e delle delegazioni consiliari attraverso i bassorilievi delle porte bronzee di Donatello.

- 2021 | Elly Dekker (comunicazione privata)⁴⁸

Dekker sostiene che il 1442 sia l'unico anno che coincide con la configurazione degli astri, anche se con errori considerevoli per alcuni (Mercurio, Venere, Luna). Riflette sul fatto che il disegno possa derivare da un'osservazione diretta e non da una tavola e di conseguenza essere meno precisa a causa del movimento veloce dei pianeti. Perciò, suggerisce una connotazione astrologica e non commemorativa.



FIG. 4.17 "Imagines coeli Septentrionales cum duodecim imaginibus zodiaci", Albrecht Dürer (1515) [<http://www.atlascoelestis.com/durer.htm>].



FIG. 4.18 “The Ambassadors”, Hans Holbein il Giovane (1533), National Gallery, Londra. Nel dipinto si possono notare molti strumenti scientifici: nel ripiano inferiore sono collocati oggetti legati al mondo terrestre, mentre nel ripiano superiore sono collocati quelli legati al mondo celeste tra cui (da sinistra) un globo celeste, una meridiana cilindrica, una meridiana equinoziale, un quadrante orario, una meridiana poliedrica e un torquetum [<https://artsandculture.google.com/asset/bQEWbLB26MG1LA>].

4.3.2. Le rappresentazioni astronomiche tridimensionali: i globi celesti

L'affresco della cupola emisferica nella scarsella rappresenta, come fa notare Dieter Blume, una riproduzione a dimensioni monumentali di un globo celeste⁴⁹, dal quale l'autore del dipinto potrebbe aver tratto ispirazione per la sua realizzazione. I globi, terrestri o celesti, rappresentano degli strumenti scientifici costituiti essenzialmente da una sfera sulla cui superficie veniva riprodotta la distribuzione delle terre e degli oceani o dei corpi celesti⁵⁰. Grazie alla loro immediatezza descrittiva facilitavano «la comprensione spaziale di cose, concetti, processi

o eventi nel mondo umano»⁵¹. Proprio per questo motivo, oltre ad essere stato un oggetto di uso comune nel settore cartografico ed astronomico (fig. 4.18.), venne impiegato per più di 300 anni come strumento principale per l'insegnamento della cosmografia. Nonostante la sua diffusione si concentrò tra il XV e il XVIII secolo, l'interesse per l'osservazione del cielo e la sua rappresentazione ha origine fin dai tempi più remoti e mutò nel tempo di pari passo alle scoperte astronomiche. Dall'antichità ci sono arrivate testimonianze, non solo di globi celesti o sfere armillari⁵², ma anche di veri e propri planetari meccanici che, grazie a ingegnosi meccanismi idraulici riproponevano la rotazione del cielo. Ne è un esempio



FIG. 4.19 Set dei “fusi” incisi da Vincenzo Coronelli nel 1698. Il globo progettato aveva lo scopo di mostrare il cielo come apparirebbe a un osservatore sulla terra, in contrasto con i globi convenzionali che, invece, rappresentavano le stelle viste dall’“esterno” su di una sfera immaginaria [<https://www.davidrumsey.com/>].

il dispositivo che Svetonio (ca. 70-140 d.C.) descrive nel suo libro “Vite dei Cesari”, il quale, adornato di rappresentazioni zodiacali e costellazioni, consentiva l’imitazione del firmamento, secondo alcune ipotesi, sulla cupola della sala ottagonale della Domus Aurea⁵⁵. Allo stesso periodo (II secolo ca.) risale anche uno dei primi globi celesti giunti fino a noi, l’Atlante Farnese, una scultura ellenistica in marmo, che rappresenta sulle spalle di Atlante un globo celeste sul quale sono scolpite in bassorilievo alcune costellazioni, l’eclittica e l’equatore celeste. La totalità delle conoscenze astronomiche proventi dal periodo ellenico è raccolta nell’*Almagesto* di Claudio Tolomeo (II secolo d.C.), trattato astronomico-matematico contenente la posizione di 1025 stelle raggruppate in 48 costellazioni, chiamate appunto “tolomaiche” al fine di ricordare la loro origine classica⁵⁴. Il catalogo di Tolomeo, in seguito alla sua “riscoperta” nel XII secolo grazie alla traduzione in latino, rappresentò il punto di riferimento per la produzione di mappe e globi per tutto il Rinascimento. Questi ultimi potevano essere realizzati in vario materiale, legno, ottone, rame, cartapesta, ecc. e potevano presentare diverse

indicazioni, attributi meccanici, e figurazioni delle costellazioni⁵⁵, la cui tendenza grafica nell’Europa del Cinquecento fu influenzata dalla pubblicazione delle due mappe celesti di Albrecht Dürer (fig. 4.17.). Con l’avvento della stampa il disegno della sfera celeste, prima realizzato manualmente, divenne molto più agevole grazie alla possibilità di riprodurre meccanicamente i vari “fusi”⁵⁶ della sfera e successivamente incollarli su un globo di legno e cartapesta. Questa tecnica rimase in uso per diversi secoli ed è anche quella descritta dal cosmografo veneziano Vincenzo Maria Coronelli (1650-1718) nell’*Epitome cosmografica* del 1693 ed utilizzata per la realizzazione dei suoi globi, quattro dei quali ospitati attualmente all’interno del Museo Galileo di Firenze. Le mappe stellari e i globi celesti prodotti anteriormente al 1600 presentavano però una rappresentazione parziale del cielo. La porzione a sud veniva infatti disegnata come una regione vuota, in quanto le stelle erano invisibili agli osservatori collocati a latitudini europee. I viaggi esplorativi compiuti nel corso del XV e XVI secolo contribuirono a colmare questo gap e, grazie ai rilievi astronomici condotti durante le



FIG. 4.20 Esempi di globi celesti e sfere armillari. Da in alto a sinistra: globo celeste di Johann Schöner (ca. 1533) [<https://brunelleschi.imss.fi.it/galileopalazzo/storici/oggetto/JohannSch%C3%B6nerGloboCeleste.html>], globo celeste di Vincenzo Maria Coronelli (1696) [Vincenzo coronelli, globo celeste, venezia 1696, 14.JPG], sfera armillare in ottone dorato del XVII secolo [<https://catalogue.museogalileo.it/gallery/ArmillarySphereInv1117.html>], sfera armillare di Antonio Santucci (1588-1593) realizzata in legno e metallo [<https://artsandculture.google.com/asset/armillary-sphere-antonio-santucci/ygGJaFnD9:caDrg?hl=it>].

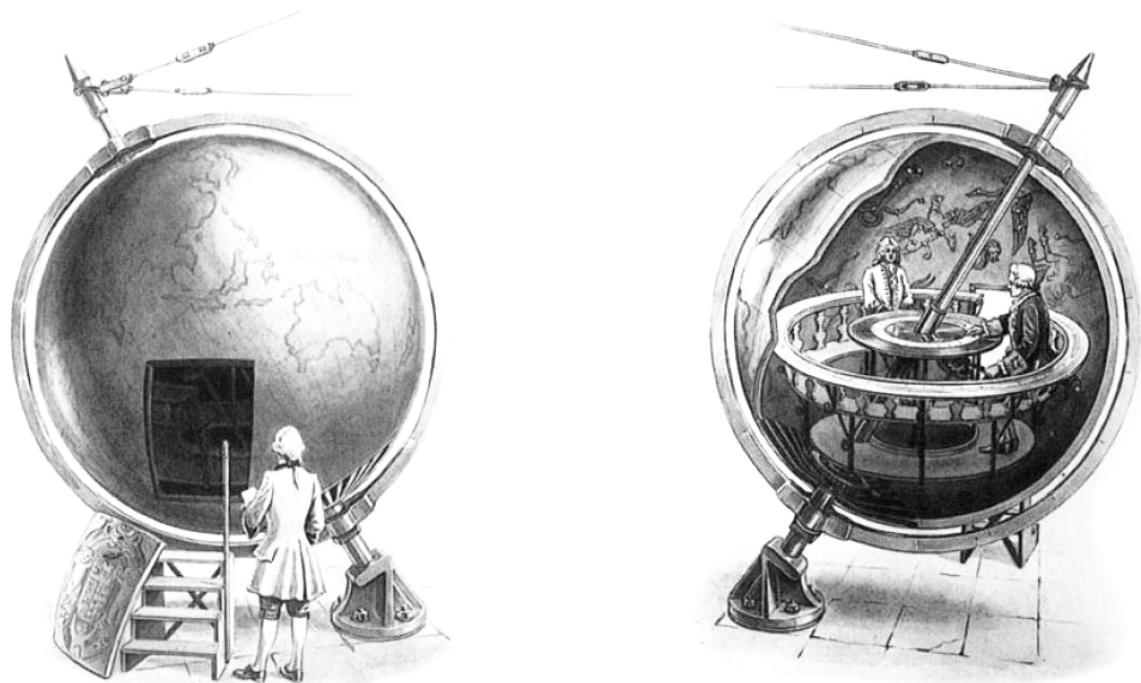


FIG. 4.21 *Il Globo di Gottorp* [<https://www.monumente-online.de/de/ausgaben/2008/5/im-inneren-der-welt.php>].

varie spedizioni, fu possibile riportare sui globi e sui vari cataloghi le stelle dell'emisfero che fino ad allora era sconosciuto⁵⁷.

La conoscenza completa del cielo e gli avanzamenti tecnologici permisero di migliorare ed implementare ulteriormente la realizzazione dei globi celesti che, con il tempo, aumentarono le loro dimensioni tanto da riuscire ad ospitare delle persone al proprio interno. Il Globo di Gottorp del 1664 (fig. 4.21.), costruito da Andreas Busch su richiesta del duca Karl Friedrich von Holstein-Gottorp, rappresenta uno dei primi esemplari di questo tipo. Il dispositivo era costituito da una sfera di rame cava di tre metri di diametro, sulla cui superficie esterna era rappresentata la sfera terrestre mentre all'interno una mappa del cielo. Il globo consentiva l'accesso ad una dozzina di persona circa e, mediante un sistema meccanico, permetteva la rotazione della sfera, simulando il movimento dei corpi celesti⁵⁸. Il Globo di Gottorp aprì la strada

alle sperimentazioni che avvennero nel '700 per la realizzazione di sistemi che potessero rappresentare sempre con più precisione e con più chiarezza i corpi e i movimenti celesti. Tali ricerche si concretizzarono nei numerosi planetari meccanici prodotti durante i secoli successivi impiegati specialmente come strumento di divulgazione astronomica all'interno dei corsi di filosofia naturale, conosciuti nel mondo anglosassone con il nome di *orrery* in onore del conte a cui è attribuita la loro invenzione (fig. 4.22.). A partire dal XX secolo i progressi nel campo tecnologico e dell'ottica consentirono l'ultimo grande avanzamento nella scienza della riproduzione tridimensionale del cielo ed aprirono la strada allo sviluppo dei planetari opto-meccanici e, con l'avvento dell'informatica, ai moderni planetari digitali.

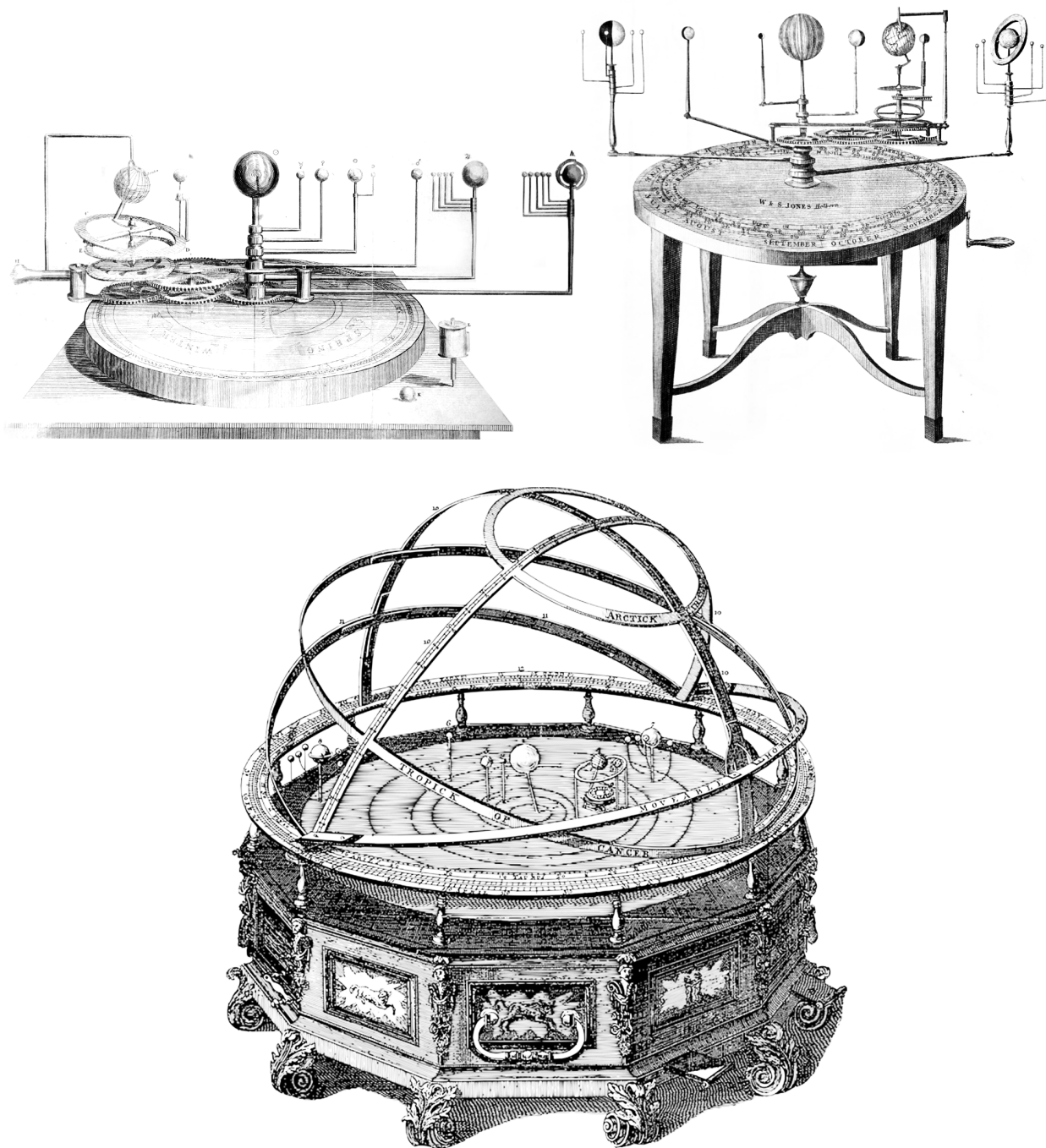


FIG. 4.22 Esempi di planetari meccanici, in inglese “orrery”: (in alto) “The new portable orrery” (1799) e “Planetarium” (1812) di W. & S. Jones [The description and use of a new portable orrery, on a simple construction, representing the motions and phenomena of the planetary system, but more particularly the motions of the earth and moon round the sun ... To which is prefixed, a short account of the solar system, or the true system of the world / by William Jones. Wellcome Collection]; (in basso) Orrery di William Jones (1797) Grand Orrery di John Rowley (1715-1728) [Astronomy; a large orrery, mounted on a dodecahedral base, d Wellcome V0024758.jpg].

NOTE

- ¹ Livi, A. (1984). Storia religiosa e civile della chiesa di San Lorenzo. In U. Baldini, B. Nardini (1984), pag. 15-28.
- ² Salvestrini, F. (2017). Rustici, Marco. In *Dizionario Biografico degli Italiani* (Enciclopedia Treccani), vol.89. https://www.treccani.it/enciclopedia/marco-rustici_%28Dizionario-Biografico%29/
- ³ Pacciani, R. (1994), pag. 85.
- ⁴ Gurrieri, F. (1984). La facciata; un'affascinante storia di occasioni perdute e di ambizione sbagliate. In U. Baldini, B. Nardini (1984), pag. 29-36, pag. 30.
- ⁵ Per approfondimenti vedasi: Gurrieri, F. (1984). *op. cit.*
- ⁶ Bruschi, A. (2006), pag. 85.
- ⁷ *Ivi*, pag. 76-85. La cappella Ridolfi in San Jacopo oltr'Arno (1418) è stata distrutta qualche secolo più tardi, mentre la cappella Barbadori in Santa Felicità (1419) ci è pervenuta mutilata ma facilmente ricostruibile: quattro pilastri su base attiche sorreggono una trabeazione, sopra di essa quattro pennacchi sorreggono la cupoletta emisferica a spina pesce. Lo schema compositivo della cappella Barbadori verrà poi reinterpretato con proporzioni e dimensioni diverse nel progetto della Sagrestia Vecchia. Lo schema della Sagrestia Vecchia, se la si immagina priva dei muri laterali – Brunelleschi proprio in questo modo aveva metaforicamente concepito queste superfici, che avrebbe voluto infatti spoglie e bianche – è un “fuori scala” di un ciborio sorretto da quattro pilastri angolari; in alzato si ripropone poi, sopra la trabeazione, lo schema architettonico della cappella Barbadori. Ciò che differenzia lo schema di queste due architetture, pressoché contemporanee, è la copertura a cupola; emisferica nella cappella (secondo il Manetti lo era anche nella cappella Ridolfi) e a ombrello, nella Sagrestia.
- ⁸ Ruschi, P. (2017), pag. 284.
- ⁹ Battisti, E. (1976), pag. 353. Come sottolinea Battisti, infatti, le due cappelle medicee edificate a fianco della Sagrestia non condividono con quest'ultima i rapporti e le proporzioni sia nell'alzato che nel sistema degli ordini.
- ¹⁰ Ruschi, P. (2017), pag. 286.
- ¹¹ Bruschi, A. (2006), pag. 95.
- ¹² Battisti, E. (1976), pag. 97.
- ¹³ Ruschi, P. (2017), pag. 286.
- ¹⁴ *Ivi*, pag. 286-290.
- ¹⁵ Bruschi, A. (2006), pag. 95.
- ¹⁶ Battisti, E., 1976, pag. 356. Ne è un'esempio la cupola zodiacale del palazzo di Qusayr' Amra nella Giordania occidentale, edificato nel VIII secolo.
- ¹⁷ *Ivi*, pag. 79.
- ¹⁸ Ruschi, P. (2017), pag. 284.
- ¹⁹ *Ivi*, pag. 284.
- ²⁰ Lapi Ballerini, I. (1986), pag. 76.
- ²¹ *Ivi*, pag. 79-82. Durante i lavori di restauro furono eseguiti degli esami di riflettografia infrarossa che evidenziarono la mancanza di un disegno preparatorio per la realizzazione della composizione. Le figure sono state perciò tracciate a mano libera direttamente sulla superficie della cupola e successivamente arricchite di sfumature e dettagli.
- ²² Forti, G. et. al (1987), pag. 9.
- ²³ Oltre alla enigmatica questione della sua duplicazione in un edificio differente, il caso della cupola emisferica di San Lorenzo rappresenta, come fa notare Gandolfi (2018), una cartografia astronomica su superficie emisferica dotata di «estremo realismo e precisione», ed è il primo caso in cui una raffigurazione astrologica è inserita e armonizzata all'interno di un contesto sacro.
- ²⁴ Parronchi, A. (1984), pag. 73.
- ²⁵ Lapi Ballerini, I. (1986), pag. 77.
- ²⁶ *Ivi*, pag. 77. «L'artista, dopo aver preparato un intonachino piuttosto consistente, di circa 5 mm di spessore, vi aveva condotto 'a fresco' uno strato preparatorio di 'morellone' (ocra rossa e nero di carbone), su cui aveva applicato 'a secco', ossia con l'ausilio di un legante di natura oggi non più individuabile ma probabilmente proteico, uno strato pittorico di azzurrite. Su questo fondo azzurro e prezioso aveva quindi eseguito, ancora 'a secco', le figurazioni, tracciandole prima e per lo più con un colore bruno (nero vite) e poi lumeggiandole con un colore bianco (bianco di piombo). Infine, sulle linee astronomiche e sulle sedi stellari già predisposte nella mappa zodiacale con una preparazione a biacca, aveva applicato l'oro.»
- ²⁷ Parronchi, A. (1984).
- ²⁸ *Ivi*, pag. 77.

- ²⁹ Sono 5 i motivi principali che avvalorano la sua ipotesi: il Toscanelli fu il più originale dei praticanti della Scienza delle Stelle nella cerchia di Cosimo de' Medici e Brunelleschi; il disegno della costellazione del Cancro dell'affresco è simile a quello disegnato nella tavola 252° del suo manoscritto; l'obliquità dell'eclittica della cupola è lo stesso valore calcolato dal Toscanelli e Alberti usando lo gnomone di Santa Maria del Fiore; la posizione delle stelle selezionate corrisponde esattamente con quella nelle uniche mappe conservate di Toscanelli; quattro delle stelle da lui analizzate sono mancanti in qualsiasi altro catalogo di stelle che ha potuto esaminare. Per una trattazione approfondita vedasi: Gandolfi, G. (2016).
- ³⁰ Parronchi, A. (1984). Parronchi conferma l'ipotesi avanzata da Federico Zeri nel 1969, il quale indicò come possibile autore del dipinto Giuliano Pesello.
- ³¹ *Ivi*, pag. 73; Parronchi, A., (1979). Il cielo notturno della Sacrestia Vecchia. Firenze: Biblioteca Medicea Laurenziana.
- ³² Beck, J. (1989). James Beck ipotizza che potrebbe essere stato Leon Battista Alberti a realizzare la raffigurazione pittorica, in base alla somiglianza con le pitture dell'altana di Palazzo Rucellai, attribuite dall'autore all'Alberti, e alla insistenza nelle rappresentazioni leonine nell'affresco. Per la realizzazione dell'affresco sarebbe stato aiutato da un collaboratore: Pesello o probabilmente Giovanni dal Ponte.
- ³³ Lapi Ballerini, I. (1986), pag. 82.
- ³⁴ Warburg, A. (1999), pag. 269-270.
- ³⁵ Giamboni, L. A. (1700). *Diario sacro e guida perpetua per visitare le chiese della città di Firenze*. <https://archive.org/details/diariosacroeguid00giam/page/136/mode/1up?q=altare>
- ³⁶ Warburg, A. (1999), pag. 467.
- ³⁷ Beer, A. (1967). Astronomical dating of works of art. *Vistas in Astronomy*, 9(1), 177-223.
- ³⁸ Fraticelli, P., Salomone, S. (1976). Analisi delle volte della Scarsella. Nota a Battisti, E. (1976), pp. 354-357.
- ³⁹ Fortini Brown, P. (1981).
- ⁴⁰ Parronchi, A., (1979). *Il cielo notturno della Sacrestia Vecchia*. Firenze: Biblioteca Medicea Laurenziana; Parronchi, A. (1984); Parronchi, A. (1984b) L'emisfero della Sacrestia Vecchia: Giuliano Pesello?, in M. Natale (Ed.) *Scritti di storia dell'arte in onore di Federico Zeri*. Milano: Electa. 2 voll., I, pp. 134-146.
- ⁴¹ Forti, G. et al. (1987); Lapi Ballerini, I. (1988).
- ⁴² Blume, D. (2006).
- ⁴³ https://www.academia.edu/37956558/Firenze_Cupole_Dati_preliminari
- ⁴⁴ Gandolfi, G. (2016), pag. 130, 147.
- ⁴⁵ *Ivi*.
- ⁴⁶ Wasserman, J. (2019).
- ⁴⁷ Gandolfi, G. (2021).
- ⁴⁸ The Saxl Project, consultato a febbraio 2022 all'indirizzo: <https://www.thesaxlproject.com/assets/Uploads/bibliography-FLORENCE-S-Lorenzo-23-Apr-2021-v4.pdf>
- ⁴⁹ Blume, D. (2006), pag. 151.
- ⁵⁰ Lippincott, K. (1999), pag. 75.
- ⁵¹ Dekker, E. (2007), pag. 136.
- ⁵² Brooke-Hitching, E. (2019). *The Sky Atlas: The Greatest Maps, Myths and Discoveries of the Universe*. Londra: Simon & Schuster UK; Stevenson, E. L. (2020). *Terrestrial and Celestial Globes* (vol. 1&2).
- ⁵³ Gandolfi, G. (2003).
- ⁵⁴ Dekker, E. (2002), pag. 61-62.
- ⁵⁵ *Ivi*, pag. 63-67.
- ⁵⁶ Il "fuso" rappresenta una porzione di cartografia compresa tra due meridiani. I vari fusi venivano stampati, ritagliati e successivamente incollati sulla superficie della sfera.
- ⁵⁷ Dekker, E. (2002), pag. 72.
- ⁵⁸ Chartrand, M. R. (1973). The History of the Planetarium. *Planetarian*, 2(3). Consultato il 17 febbraio, 2022, da https://www.ips-planetarium.org/page/a_chartrand1973



CAPITOLO 5

IL RILIEVO DIGITALE PER LA DOCUMENTAZIONE DEL CASO STUDIO

La documentazione del patrimonio architettonico, artistico, archeologico e paesaggistico rappresenta uno strumento conoscitivo di primaria importanza, il cui scopo è quello di identificare, descrivere e censire ciò che si definisce “bene culturale”. Al fine di conoscere un bene è necessario indagarlo nella sua complessità cogliendone le caratteristiche e i valori di cui è portatore. In questo senso il rilievo, inteso non come mera misurazione ma come vera e propria operazione conoscitiva, gioca un ruolo fondamentale per la tutela e la valorizzazione del nostro patrimonio. Consente infatti acquistare cognizione della proporzione dell’oggetto di studio¹ e di strutturare un eterogeneo sistema informativo (rappresentazioni grafiche bidimensionali e tridimensionali, modelli fisici, rappresentazioni statiche o dinamiche, applicazioni di realtà virtuale o aumentata) utile a fornire una “sintesi” degli aspetti rappresentativi dell’oggetto di studio, permettendo così il raggiungimento di una conoscenza più profonda e mirata. La discretizzazione dell’oggetto, derivante dalle indagini e dalle operazioni di rilevazione, permette quindi di costruire delle rappresentazioni critiche² utili alla comprensione degli aspetti geometrici, spaziali, tecnico-costruttivi, costituendo così il presupposto alla base di qualsiasi analisi ulteriore o progetto di valorizzazione. Questa pratica costituisce un passaggio obbligatorio dell’iter di ricerca e, assolvendo alla doppia funzione di documentazione e di interpretazione, il rilievo assume il ruolo di supporto per le operazioni compiute sul

bene culturale costituendo, in ogni momento, il punto di sintesi della ricerca e permettendo l’individuazione di possibili sviluppi e applicazioni future.

Come abbiamo visto, l’introduzione di tecnologie digitali ha incrementato le opportunità nell’ambito della documentazione e rappresentazione del patrimonio, favorendo lo sviluppo di sistemi sempre più intuitivi e immediati, che consentono, mediante l’integrazione con strumenti e tecnologie proprie del settore dell’*entertainment*, di ricreare virtualmente oggetti e ambienti reali, visitarli ed esplorarli con le stesse modalità dell’esperienza fisica. Questo cambio di paradigma ha avuto un’influenza diretta non solo sugli strumenti di rappresentazione grafica ma sulle modalità attraverso cui acquisire e riprodurre i beni culturali. Gli odierni sistemi a disposizione del rilevatore (scansione 3D e fotogrammetria SfM) consentono la creazione di un “doppio” del manufatto, sotto forma di modello 3D, attraverso l’acquisizione di nuvole di punti o fotografie. La ridondanza di informazioni prodotta, da un lato, comporta uno slittamento della gran parte del processo di interpretazione del manufatto alla fase di post-produzione del dato e, dall’altro, consente di ottenere un database digitale estremamente dettagliato che può essere rielaborato, informatizzato e restituito secondo modalità e finalità differenti. Pertanto, da un prodotto grafico statico, realizzato secondo i criteri, gli obiettivi ed il punto di vista del rilevatore, si è passati ad uno dinamico, caratterizzato da infiniti punti di vista e navigabile in

FIG. 5.1 Le due cupole della Sagrestia Vecchia. A destra la cupola ad ombrello dell’aula principale, a sinistra la cupola emisferica della scarsella (ph. Anastasia Cottini).



FIG. 5.2 Vista della nuvola di punti colorata e opportunamente trattata degli spazi esterni del complesso di San Lorenzo.

tempo reale.

Questi processi di digitalizzazione producono pertanto una copia digitale dell'oggetto reale che, come afferma Forte³, rappresenta un bene ulteriore, nuovo. Svincolato dalla sua fisicità, il bene digitale presenta una serie di potenzialità che ne permettono una maggiore diffusione e fruibilità, ne moltiplicano le possibilità di studio e di narrazione, e consentono la creazione di molteplici strumenti cognitivi ed esperienze percettive diversificate.

Il rilievo digitale, perciò, si pone come un fondamentale mezzo d'indagine e di valorizzazione del bene, che consente, non solo di reperire informazioni morfologiche e materiche dell'opera, ma di "conservarne l'immagine" sotto forma di *Digital Heritage* e di comunicarne la storia e i valori. La presente tesi affronta nei due capitoli successivi una

pipeline metodologica applicata al caso studio della Sagrestia Vecchia di Firenze, incentrata in particolare alla cupola emisferica della scarsella, che a partire dal rilievo digitale di complessi monumentali consente di realizzare contenuti e modelli 3D da impiegare all'interno di scenari virtuali.

5.1. LE CAMPAGNE DI RILIEVO DIGITALE

Le operazioni di rilievo della Sagrestia Vecchia si sono inserite in un progetto di ricerca più ampio riguardante l'acquisizione dell'intero complesso di San Lorenzo. Il progetto, svolto a partire da febbraio 2020 in collaborazione con l'Opera Medicea Laurenziana, è stato parte integrante delle attività del Laboratorio di Rilievo dell'Università degli Studi di Firenze,



FIG. 5.3 Vista della nuvola di punti colorata e opportunamente trattata degli spazi interni della Sagrestia Vecchia.

condotto dal prof. Stefano Bertocci⁴. Al progetto di restituzione ne hanno preso parte i corsi di laurea della Scuola di Specializzazione che, alla data odierna (marzo 2022) hanno contribuito alla documentazione della parte del complesso comprendente la Sagrestia Vecchia, la Biblioteca Laurenziana, parte del transetto sinistro della basilica ed il chiostro. Inoltre, relativamente alla Sagrestia Vecchia, è stata sviluppata una tesi di laurea incentrata sulla realizzazione di uno studio atto a ricostruire e mostrare l'illuminazione naturale all'interno dell'ambiente anteriormente alle edificazioni che vi si sono stratificate nei secoli seguenti. Tale mole di dati ha costituito le fondamenta della presente tesi che, facendo un passo ulteriore, mira a evidenziare le potenzialità dello sfruttamento dei dati derivanti dalle campagne di rilievo digitale per la comunicazione e la divulgazione del Patrimonio

Culturale.

Seguendo le direttive della Carta di Londra, il rilievo digitale è stato affiancato da una fase di reperimento e studio di fonti documentali e bibliografiche al fine di formare una solida base utile alla comprensione del manufatto e ad «assicurare l'integrità intellettuale dei metodi e dei risultati della visualizzazione digitale»⁵. Tali informazioni, oltre a fornire una visione critica sull'oggetto da rappresentare, evidenziandone il ruolo e le relazioni che istaura con il sistema nel quale è inserito, si configurano come elemento imprescindibile per la realizzazione di un progetto di valorizzazione e comunicazione del Patrimonio. Questo quadro d'insieme ha consentito di realizzare una programmazione ragionata della successiva fase di documentazione metrica e materica del bene, realizzata mediante l'integrazione di due

<i>Ambiente</i>	<i>Strumento</i>	<i>Colore - B/W</i>	<i>N° Scansioni</i>
Esterni			
	Z+F 5016	Colore	21
	FARO M70	Colore	10
Interni			
	Z+F 5016	Colore	19
	FARO M70	B/W	51
		Tot:	101

FIG. 5.4 *Tabella delle scansioni totali effettuate per il rilievo della Sagrestia Vecchia.*

differenti metodologie di rilievo: laser scanner 3D e fotogrammetria SfM⁶. La combinazione di strumentazioni *range-based* e *image-based* ha consentito di ottenere un risultato soddisfacente sia in termini di accuratezza geometrica e morfologica sia di fotorealismo e di resa delle texture, quest'ultimo parametro non ancora pienamente soddisfacente mediante l'impiego esclusivo di laser-scanner 3D. I dati acquisiti, catalogati e ordinati all'interno di un database digitale, sono stati successivamente impiegati e rielaborati per la realizzazione di elaborati 2D di varia natura (disegni vettoriali, fotopiani, illustrazioni, ecc.) e modelli 3D da impiegare sviluppi ed applicazioni future di valorizzazione e comunicazione del Patrimonio.

5.1.1. La campagna di rilievo laser scanner

Il rilievo laser scanner della Sagrestia Vecchia è stato portato a termine in tre differenti campagne di rilievo, inquadrate in un progetto più ampio che prevede il rilievo dell'intero complesso di San Lorenzo, iniziato nel 2020 e tuttora in corso. Durante le varie campagne sono stati impiegati due differenti modelli

di laser-scanner, sia al fine di ottimizzare i tempi di acquisizione, potendo eseguire due scansioni contemporaneamente, sia a causa delle rispettive caratteristiche strumentali. La prima campagna di rilievo, eseguita a febbraio 2020 è stata realizzata mediante un Z+F IMAGER 5016, un laser scanner a tempo di volo (TOF – *Time of Flight*) con un campo visivo di 320° in verticale e 360° in orizzontale e una velocità di scansione superiore a 1 milione di punti/secondo. L'estrema precisione dello strumento (errori nominali inferiori ad 1 millimetro) e la portata massima di 360 m ha consentito di effettuare un rilievo estremamente preciso e “nitido” degli spazi interni principali della Sagrestia Vecchia, garantendo un adeguato livello di dettaglio per l'apparato decorativo in quota. Le scansioni realizzate sono state progettate in modo tale da garantire la copertura totale delle superfici e una risoluzione adeguata al fine di permettere una chiara lettura del dato in fase di restituzione. La fotocamera HDR integrata allo strumento ha consentito inoltre di acquisire panorami HDR completi (80MPixel), grazie ai quali è stato possibile integrare al dato geometrico il dato colore. A causa delle successive limitazioni imposte dal



FIG. 5.5 Vista della nuvola di punti colorata degli spazi interni della Sagrestia Vecchia

lockdown il rilievo ha dovuto subire un arresto che non ha consentito la conclusione dell'acquisizione laser-scanner degli spazi connessi ed esterni e lo svolgimento di una campagna fotogrammetrica. Solo ad ottobre 2020 è stato possibile proseguire il lavoro iniziato ed eseguire una seconda campagna di rilievo. Questa è stata finalizzata, oltre a proseguire il rilievo del complesso di San Lorenzo⁷, all'integrazione dei dati della Sagrestia Vecchia, sia internamente che esternamente. Sono stati così acquisiti gli ambienti ai lati della scarsella, gli spazi del sottotetto e le cripte nel piano interrato. Inoltre, è stato possibile accedere alla copertura e rilevarne così le superfici esterne e il lanternino in sommità. Durante questa campagna, al Z+F IMAGER 5016, impiegato esclusivamente per gli ambienti esterni, è stato affiancato un laser FARO M70 che, con le sue prestazioni più modeste (portata media fino a 70 metri e una precisione di 3 mm), ha

consentito di portare a termine il rilievo degli spazi interni connessi alla Sagrestia che non presentavano particolari criticità o dettagli decorativi.

La terza campagna di rilievo, realizzata a marzo 2021, ha avuto come obiettivo quello di infittire la nuvola di punti nelle cappelle che confinano con la Sagrestia, e di ampliare il rilievo nel piano interrato e negli ambienti confinanti con la Sagrestia e con la Biblioteca Laurenziana.

I diversi database ottenuti sono stati successivamente registrati ed uniti in un unico database finale che, per la Sagrestia Vecchia, conta un totale di 101 scansioni. In questa sede non verrà affrontato il processo di importazione, filtraggio ed elaborazione delle singole scansioni ma sarà mostrato attraverso alcune immagini chiave il risultato delle diverse campagne di acquisizione.

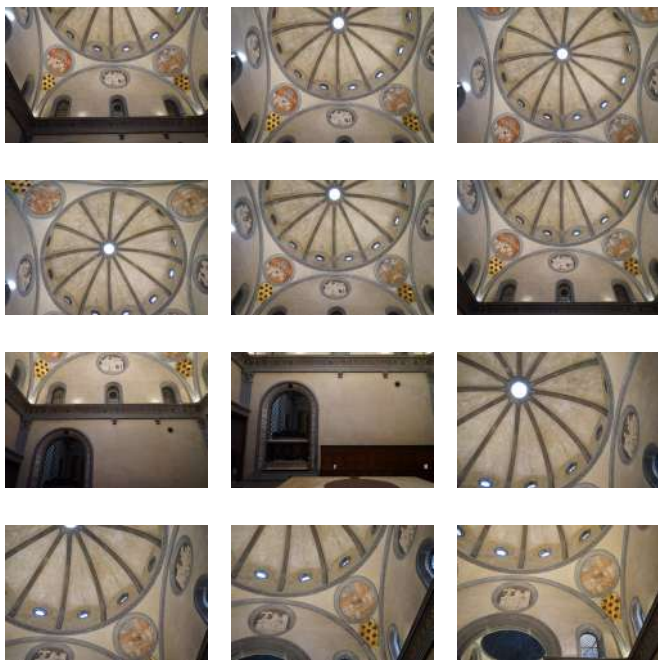


FIG. 5.6 Alcune foto utilizzate per il fotogrammetrico all'interno della Sagrestia.

5.1.2. La campagna di rilievo fotogrammetrico SfM

Oltre ad una campagna di rilievo laser scanner, volta allo studio delle qualità geometriche dello spazio, durante la seconda campagna di rilievo è stata eseguita un'acquisizione fotografica finalizzata alla registrazione delle informazioni sull'aspetto cromatico e materico delle superfici. La campagna fotografica, utile sia per la documentazione dello stato dei luoghi, sia per applicazioni di fotogrammetria 3D, ha riguardato l'intero manufatto, a partire da un'acquisizione generale dei vari ambienti, fino ad arrivare alla scala dei dettagli decorativi che lo compongono. Questo ha richiesto l'impiego di diversi operatori e differenti strumentazioni al fine di garantire una copertura totale durante le brevi campagne di rilievo realizzate.

Le tecniche *image-based* consentono una ricostruzione

Nuvola di punti laser scanner



Rilievo SfM

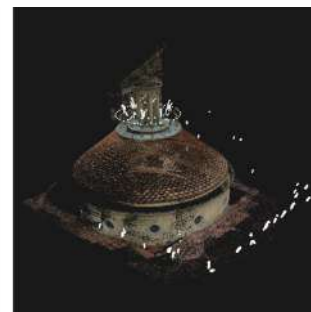


FIG. 5.7 Nuvola di punti generata da laser scanner e da rilievo SfM [elaborazione grafica di Gianmarco Domenichini].

tridimensionale *reality-based* grazie al processo di *dense image matching* (DIM)⁸ a partire da un set di fotografie e, contrariamente all'acquisizione mediante laser-scanner, permettono l'elaborazione di texture estremamente dettagliate. Nonostante la definizione raggiunta dai modelli 3D generati mediante ricostruzione SfM, tali dati, non derivando da misurazioni metriche, necessitano di lavorazioni intermedie che ne permettono la messa in scala rispetto a misure note, dedotte da misurazioni acquisite manualmente in sito o desunte direttamente dalla nuvola di punti laser scanner.

Per la campagna di rilievo fotogrammetrico all'interno della Sagrestia Vecchia sono state utilizzate due strumentazioni differenti: la fotocamera digitale reflex e l'asta 3Deye, un'asta estendibile fino a dieci metri su cui è installata una camera Sony DSC-QX30 per l'acquisizione fotografica in quota. La prima ha consentito di operare un'acquisizione da terra di tutte

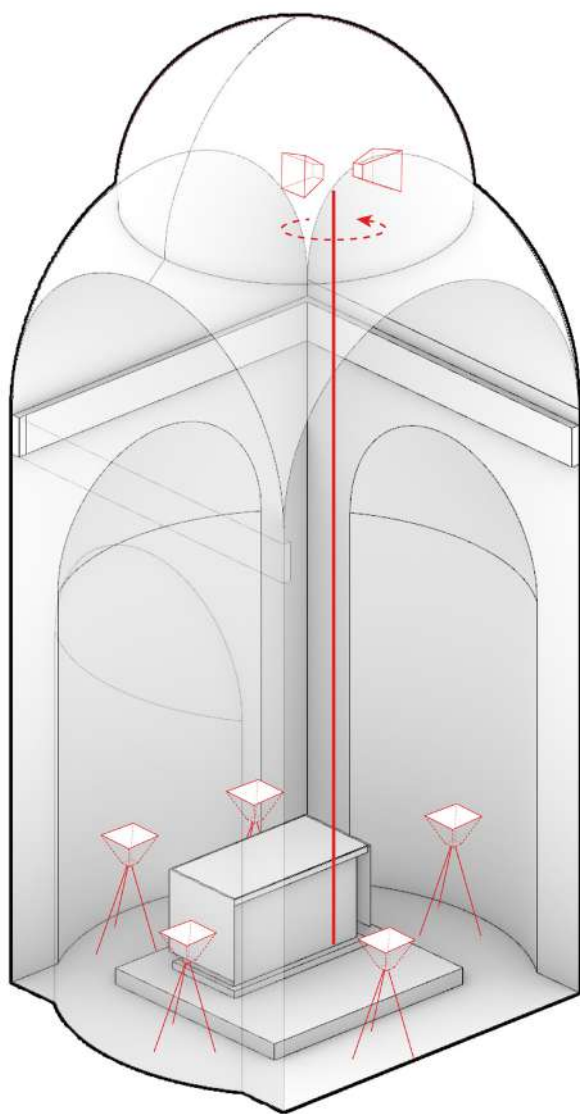


FIG. 5.8 Mesh creata dalla nuvola di punti laser scanner texturizzata con il dato fotografico derivante dal rilievo SfM. A destra la comparazione delle mesh e delle texture [elaborazioni grafiche di Gianmarco Domenichini].

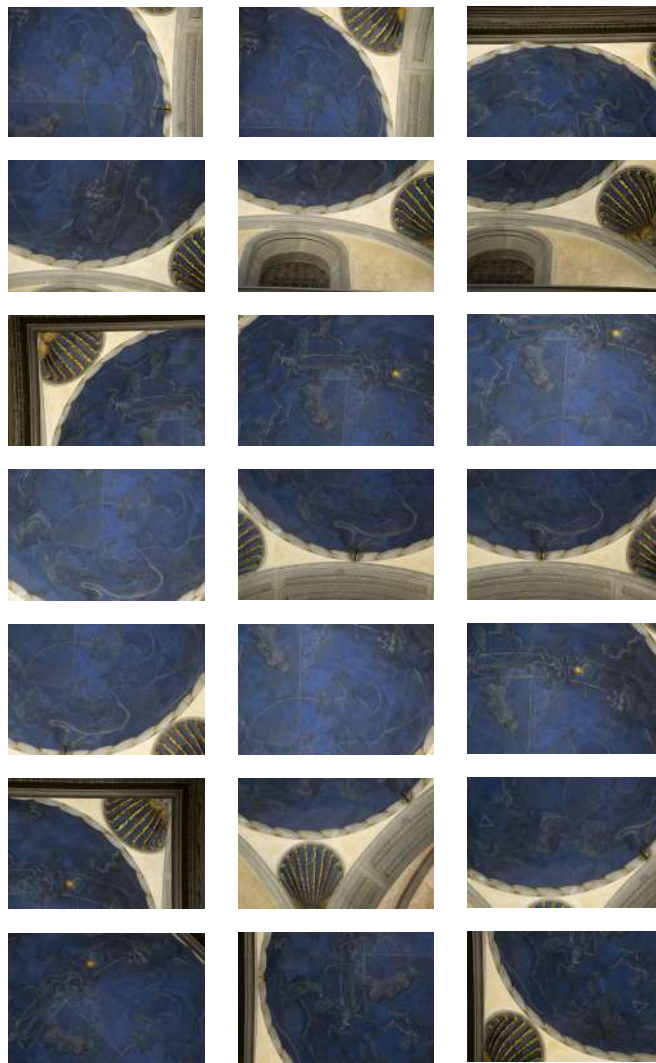
le superfici interne ed esterne, mentre la seconda, ha permesso di integrare alcune lacune relative a coni d'ombra portati dagli elementi in oggetto rispetto alle murature⁹. La differenza di risoluzione dei vari strumenti usati per l'acquisizione fotogrammetrica ha comportato l'ottenimento di modelli 3D di diversa risoluzione; in particolare i modelli ottenuti tramite asta 3Deye sono risultati di una qualità inferiore a causa delle minor prestazioni della camera installata, nonostante la maggiore vicinanza all'oggetto rilevato. Le principali problematiche riscontrate in fase di acquisizione hanno riguardato in particolare le condizioni di illuminazione all'interno della Sagrestia. Gli ambienti interni infatti risultano illuminati quasi esclusivamente da luce artificiale che, nonostante consenta una visione abbastanza omogenea di tutte le superfici (ad eccezione delle parti immediatamente nelle loro vicinanze), risulta nel complesso abbastanza scarsa. Al fine di non inficiare sulla qualità della

fotografia scattata, aumentandone il valore ISO, si è rivelato necessario l'impiego di un treppiede, specialmente per l'acquisizione di dettagli decorativi. Questo ha permesso di conseguenza di aumentare i tempi di scatto e di garantire immagini più nitide e luminose, evitando l'effetto di micromosso che può compromettere la qualità del risultato finale.

Dal corpus di fotografie acquisite durante le campagne di rilievo è stato possibile elaborare modelli 3D texturizzati i quali sono serviti sia come supporto durante la fase di restituzione dei disegni bidimensionali, sia come base per l'ottenimento di modelli semplificati, essenziali per la realizzazione di applicazioni di realtà aumentata (AR) e virtuale (VR). Come vedremo nei paragrafi e nel capitolo successivo, i modelli 3D così ottenuti sono utilizzabili per diversi scopi e applicazioni, come visualizzazione, archiviazione, simulazioni, ecc.



Fotografie con Reflex



Fotografie con Asta 3D-Eye

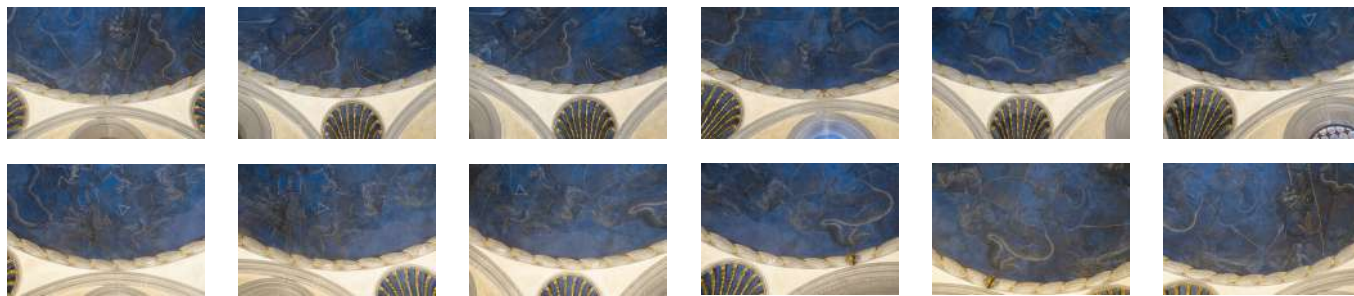


FIG. 5.9 Sequenza di scatti e schema di acquisizione per il rilievo fotogrammetrico SfM della cupola emisferica.

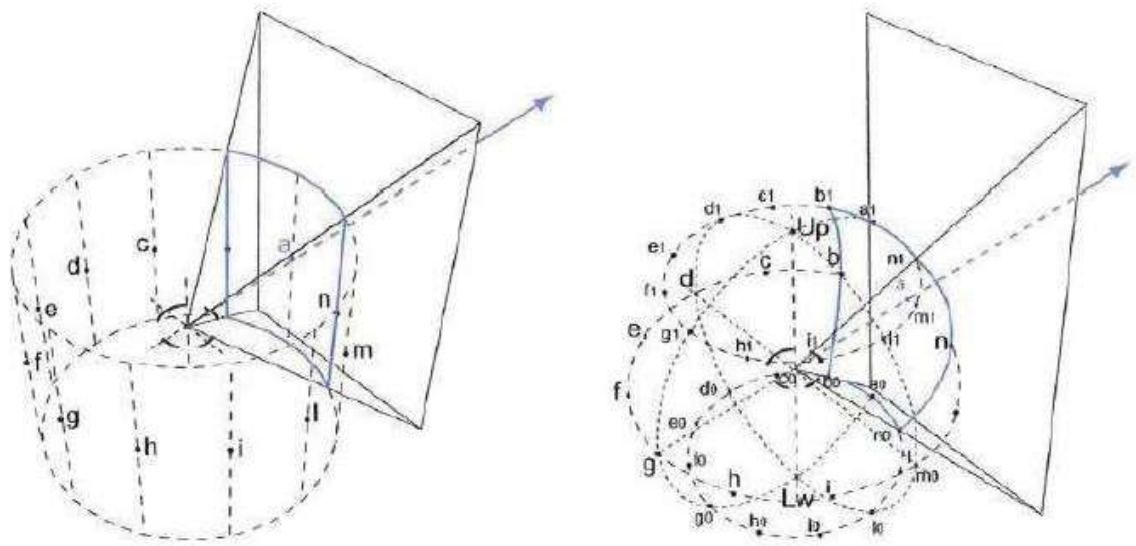


FIG. 5.10 Rappresentazione dello schema di ripresa panoramica cilindrica e sferica [De Luca, L. (2011)].

Rilievo fotogrammetrico della cupola emisferica

Al fine di restituire una texture realistica della superficie pittorica della cupola emisferica della scarsella è stato necessario svolgere una campagna di rilievo fotogrammetrico dedicata, realizzata tramite l'integrazione di macchina reflex e asta 3Deye. La necessità di integrare dato fotografico da un'altezza maggiore è dovuta alla presenza del cordone decorativo all'imposta della cupola che preclude alla vista da terra una porzione pari a circa 15 cm al di sopra di esso.

La prima sessione di acquisizione è stata svolta mediante una Nikon D3100 e l'impiego di un treppiede, dotato di testa panoramica, al fine di stabilizzare l'immagine. Non avendo la possibilità di realizzare un set dedicato, sia per l'ambiente in sé sia per la posizione della cupola affrescata, tutte le operazioni di ripresa sono state condotte nelle condizioni di illuminazione artificiale in cui si trova attualmente l'ambiente, avendo cura di inserire un *colorchecker* per la successiva correzione delle immagini acquisite. Le fotografie

sono state scattate secondo due differenti modalità: inizialmente mediante un'inquadratura fissa verso l'alto (obiettivo perpendicolare al piano di calpestio) spostando la camera all'interno dell'ambiente della scarsella fino a coprire tutto l'oggetto; poi mediante la realizzazione di varie "stazioni" lungo il perimetro della scarsella dalle quali è stata fotografata l'intera superficie della cupola secondo uno schema di ripresa sferico. L'impiego di una focale 100mm ha consentito di realizzare delle fotografie di porzioni della volta, in modo tale da garantire una maggiore quantità di pixel per immagine e di conseguenza una migliore risoluzione della texture del modello finale. La seconda sessione di acquisizione è stata invece svolta tramite asta 3Deye, sollevata al centro della cupola, la quale ha consentito di fotografare la porzione di cupola immediatamente sopra il cordone, non visibile tramite acquisizione da terra.

Tutto il set di foto è stato scattato in modalità RAW, la quale permette di non avere perdita di qualità e informazioni durante la registrazione e di gestire i parametri della fotografia nella fase di post-produzione

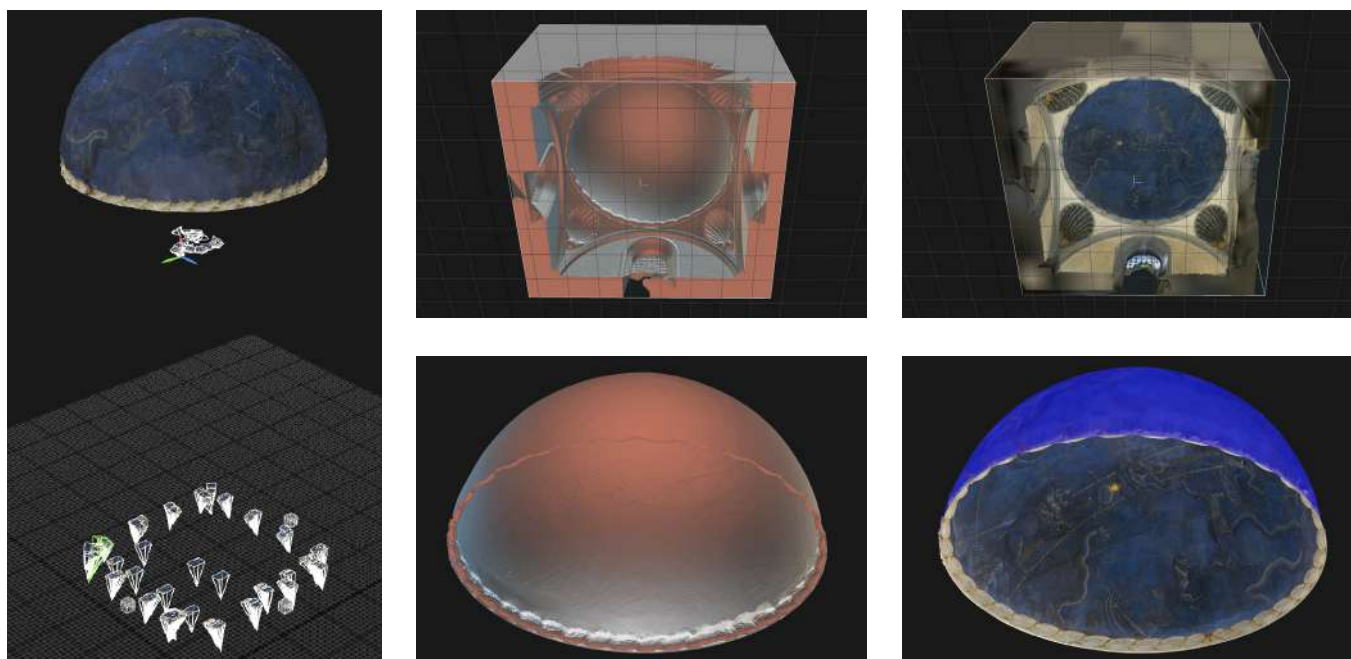


FIG. 5.11 Screenshot della produzione del modello fotogrammetrico della cupola.

(bilanciamento del bianco, rimozione del rumore, ottimizzazione luminosità e contrasti, correzione dell'esposizione, ecc.). Le fotografie acquisite, in seguito ad una prima selezione al fine di escludere quelle caratterizzate da un rumore troppo elevato o effetto di micromosso, sono state opportunamente corrette e memorizzate in formato JPG.

I fotogrammi selezionati, derivati sia dall'acquisizione mediante reflex che mediante asta 3Deye, sono stati successivamente importati e allineati all'interno del software Reality Capture che, attraverso un workflow interno al programma (Alignment>Create Model>Texturing), consente di ottenere un modello mesh *high-poly* e texturizzato dell'elemento di studio. L'utilizzo di questo software ha consentito inoltre l'importazione della nuvola di punti da rilievo laser scanner sottoforma di file .jsp, sulle quale è stato possibile allineare e scalare, mediante l'utilizzo di *Control Points*, il modello fotogrammetrico ottenuto.

La produzione di modelli 3D tramite procedimenti di reverse modeling in molti casi genera risultati preliminari che presentano anomalie/lacune o caratteristiche che li rendono inadatti per un ampio spettro di applicazioni. Nel paragrafo 5.2. si illustrano le operazioni di correzione e miglioramento che sono state condotte sulle maglie poligonali e relative UV map così da ottenere modelli "leggeri" e privi di errori topologici senza inficiare sulla resa estetica e sulla qualità del modello finale.

5.2. LA RESTITUZIONE GRAFICA E L'ANALISI MORFOLOGICA

La grande mole di dati acquisiti durante la fase di rilievo ha consentito di fornire il dato di partenza sul quale basare le successive operazioni di restituzione di elaborati 2D, mostrati parzialmente nelle immagini

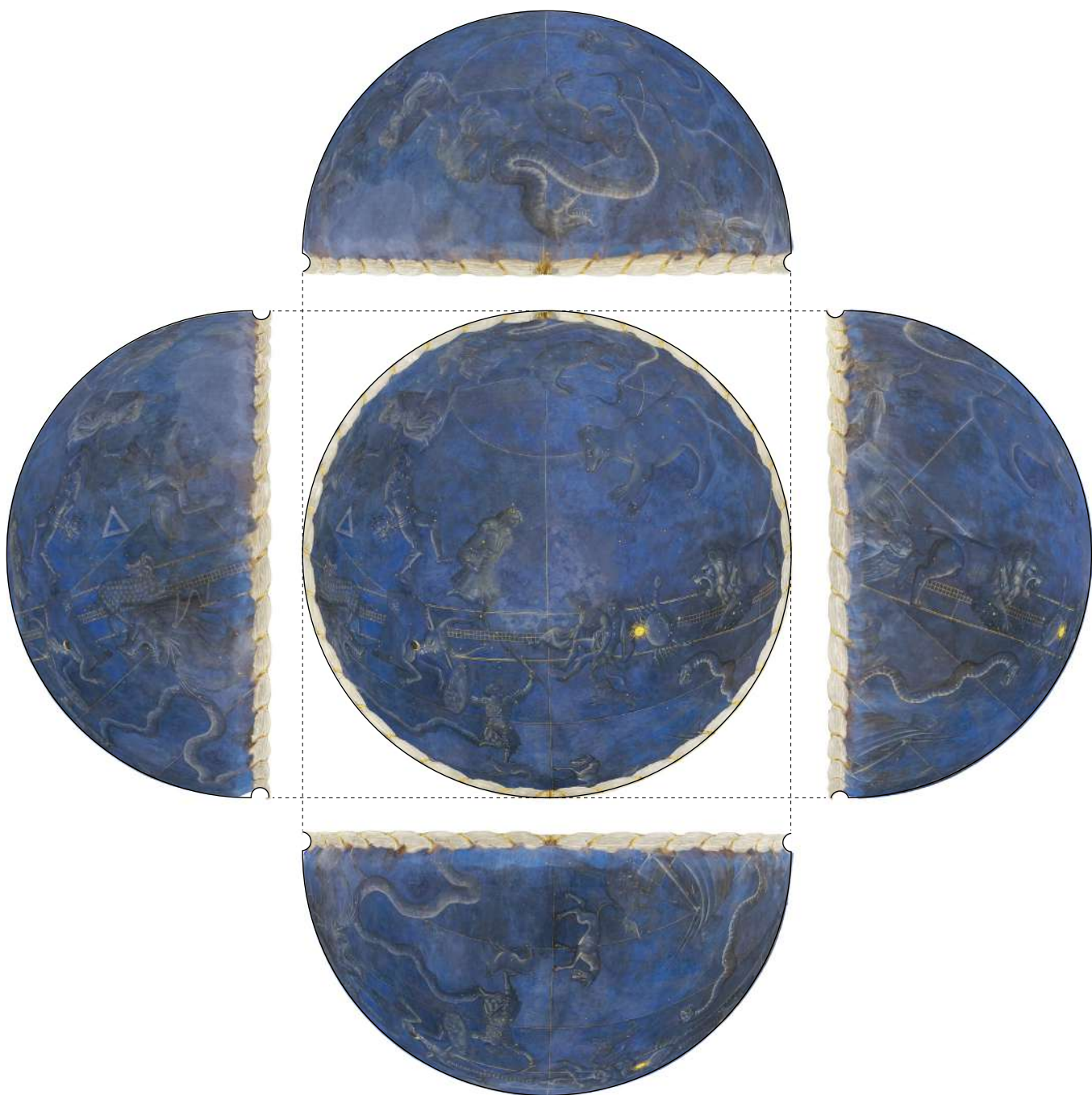


FIG. 5.12 Immagini ortografiche realizzate dal modello fotogrammetrico prodotto.

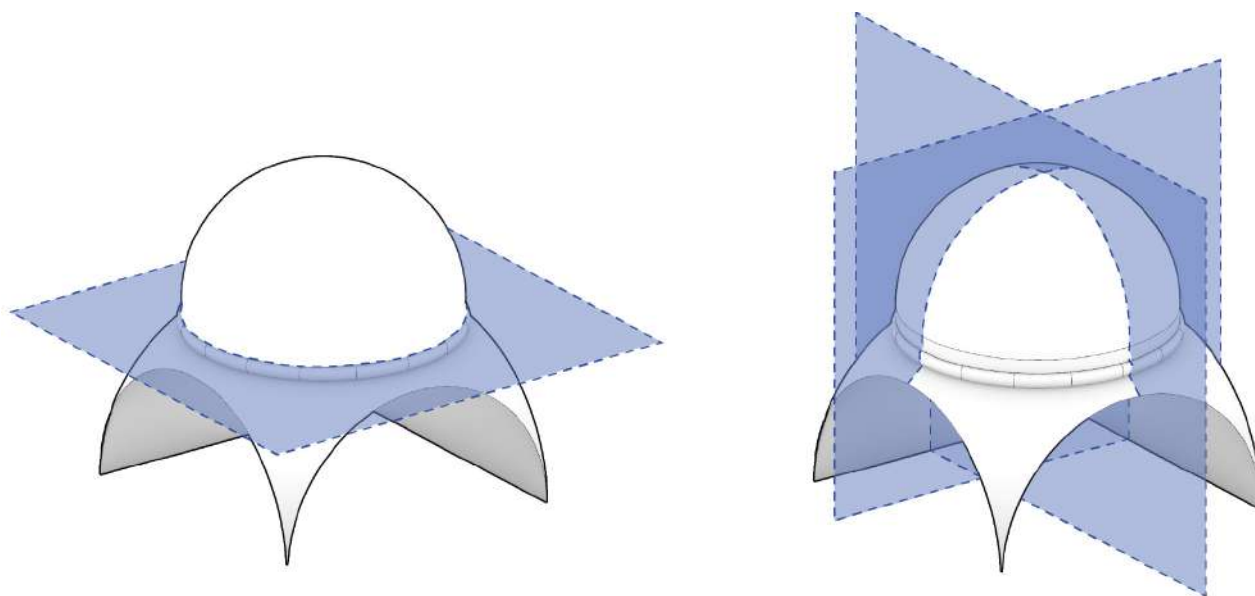


FIG. 5.13 *Sezionamenti eseguiti per la verifica della sezione della cupola.*

a conclusione del presente capitolo, e modelli 3D, realizzati al fine di perseguire una conoscenza approfondita dell'oggetto in esame. L'«integrazione di modelli»¹⁰ di vario tipo, nonostante il quasi esclusivo utilizzo di strumenti digitali e di automazioni interne ai software, rappresenta un processo «frutto di una mediazione concettuale, risultante dalla sintesi tra conoscenze storico-geometriche ed esperienza»¹¹, attuato allo scopo finale di realizzare rappresentazioni, iconiche o non, che, affiancate da ulteriori contenuti, possano consentire l'analisi, la lettura e la conoscenza del manufatto. Al fine di descrivere adeguatamente l'oggetto di studio e il sistema nel quale è inserito sono stati prodotti elaborati descrittivi bidimensionali a diverse scale di approfondimento e, parallelamente, è stata effettuata un'analisi morfologica e geometrica della cupola. L'obiettivo era quello di verificare se potesse essere assimilata ad una semisfera, come già affermato da Forti et al¹². A tal fine sono state realizzate due studi: un'analisi bidimensionale su sezioni riferimento, al fine di

individuare una semisfera compatibile, e un'analisi tridimensionale sulle deviazioni puntuali della cupola rispetto alla semisfera individuata. La prima verifica bidimensionale ha previsto la realizzazione di 3 sezioni dell'elemento: una orizzontale (A), circa 20 cm sopra il cordone al fine di evitare la zona d'ombra prodotta da quest'ultimo sulla nuvola di punti, e due verticali ed ortogonali fra loro, passanti per il centro della cupola (B-C), coincidenti quindi con i cerchi massimi (fig. 5.13.). In base a queste sezioni è stato possibile identificare una semisfera di raggio 1,98 metri circa che assicura una sovrapposizione estremamente aderente alle sezioni elaborate. Da questa prima analisi è stato possibile verificare un discostamento massimo locale di 1,1 cm nella sezione A, di 0,98 cm nella sezione B e di 1 cm nella sezione C. La verifica puntuale sulle sezioni è stata estesa in seguito alla totalità della cupola effettuando una comparazione tra la sfera di raggio 1,98 m, generata attraverso software di modellazione 3D, e la mesh generata dalla nuvola di punti del rilievo laser scanner, attraverso l'utilizzo

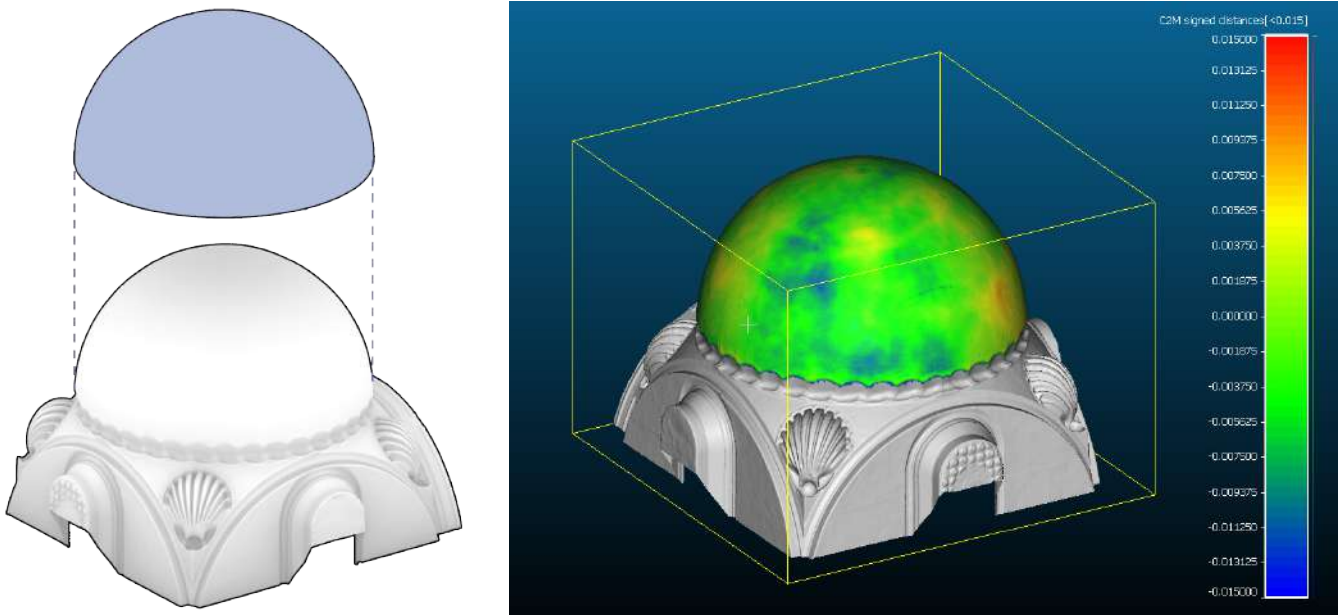
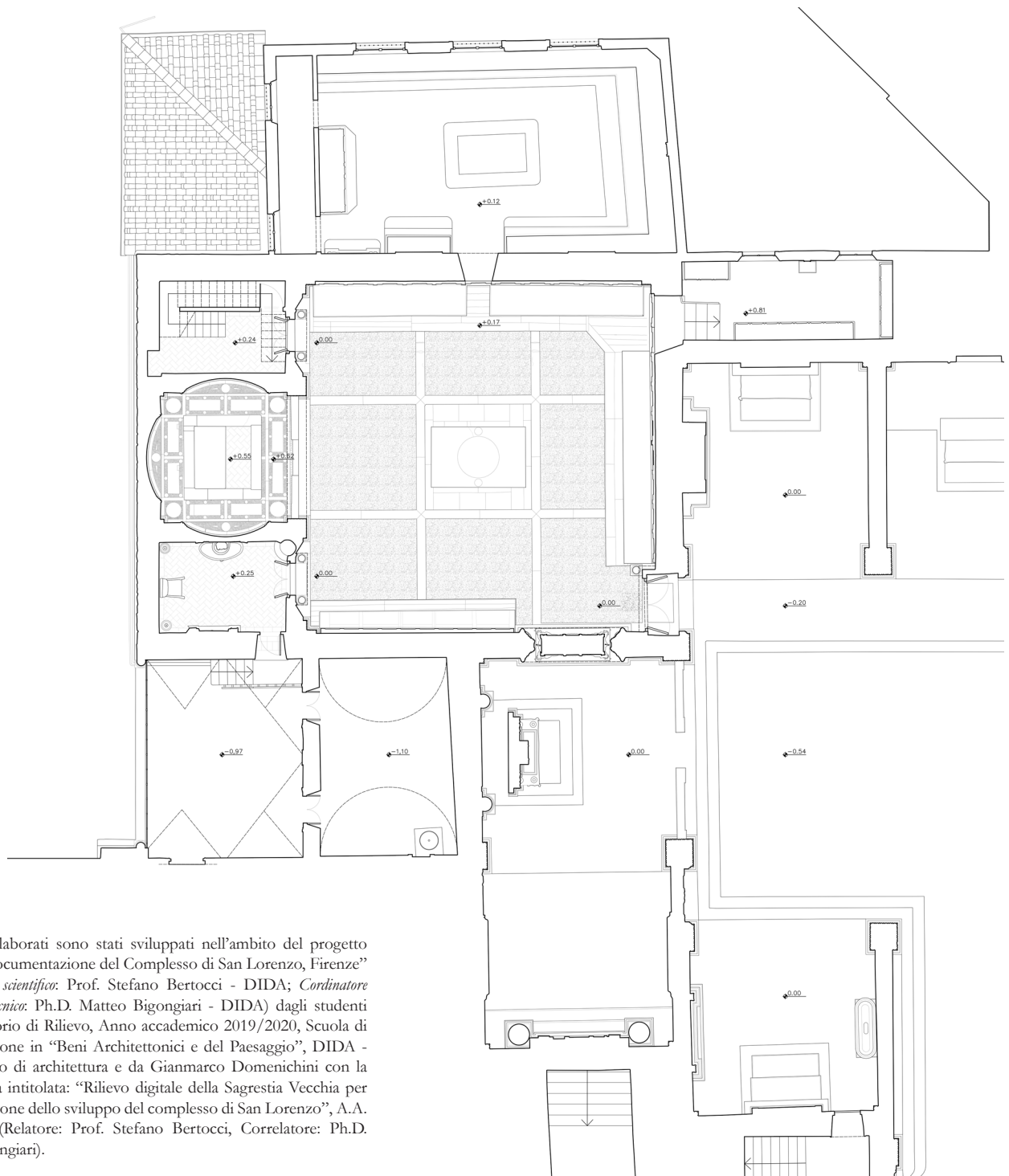


FIG. 5.14 Modello 3D sfera all'interno della mesh della nuvola di punti e a fianco l'immagine del discostamento in CC.

del software Cloud Compare 2.6.1¹³ (fig. 5.14). Ne è risultato un discostamento massimo di 1,3 centimetri in negativo e di circa 1 cm in positivo, localizzati in porzioni limitate della cupola, mentre il restante 90% presentava scostamenti inferiori ai 5mm. La cupola emisferica della Sagrestia Vecchia, misurata al suo intradosso, è pertanto morfologicamente assimilabile ad una semisfera di raggio 1,98 m, e i discostamenti puntuali individuati in maniera diffusa sulla superficie emisferica potrebbero essere assimilati a discontinuità nello spessore dell'intonaco e degli strati di pittura.

Come già sottolineato da Forti et al. la semisfera perfetta della cupola è indice di grande precisione, in quanto le «misure lineari lungo cerchi massimi possono essere ridotte, con una semplice proporzione, a misure angolari e viceversa»¹⁴. È proprio questo il modo che gli studiosi hanno seguito per la misurazione della posizione dei corpi celesti e quello che, a loro parere, dovette essere utilizzato dall'autore nel loro posizionamento.



I seguenti elaborati sono stati sviluppati nell'ambito del progetto "Rilievo e documentazione del Complesso di San Lorenzo, Firenze" (Responsabile scientifico: Prof. Stefano Bertocci - DIDA; Coordinatore scientifico e tecnico: Ph.D. Matteo Bigongiari - DIDA) dagli studenti del Laboratorio di Rilievo, Anno accademico 2019/2020, Scuola di Specializzazione in "Beni Architettonici e del Paesaggio", DIDA - Dipartimento di architettura e da Gianmarco Domenichini con la tesi di laurea intitolata: "Rilievo digitale della Sagrestia Vecchia per l'interpretazione dello sviluppo del complesso di San Lorenzo", A.A. 2020/2021 (Relatore: Prof. Stefano Bertocci, Correlatore: Ph.D. Matteo Bigongiari).

FIG. 5.15 *Piante a fil di ferro del piano terra.*

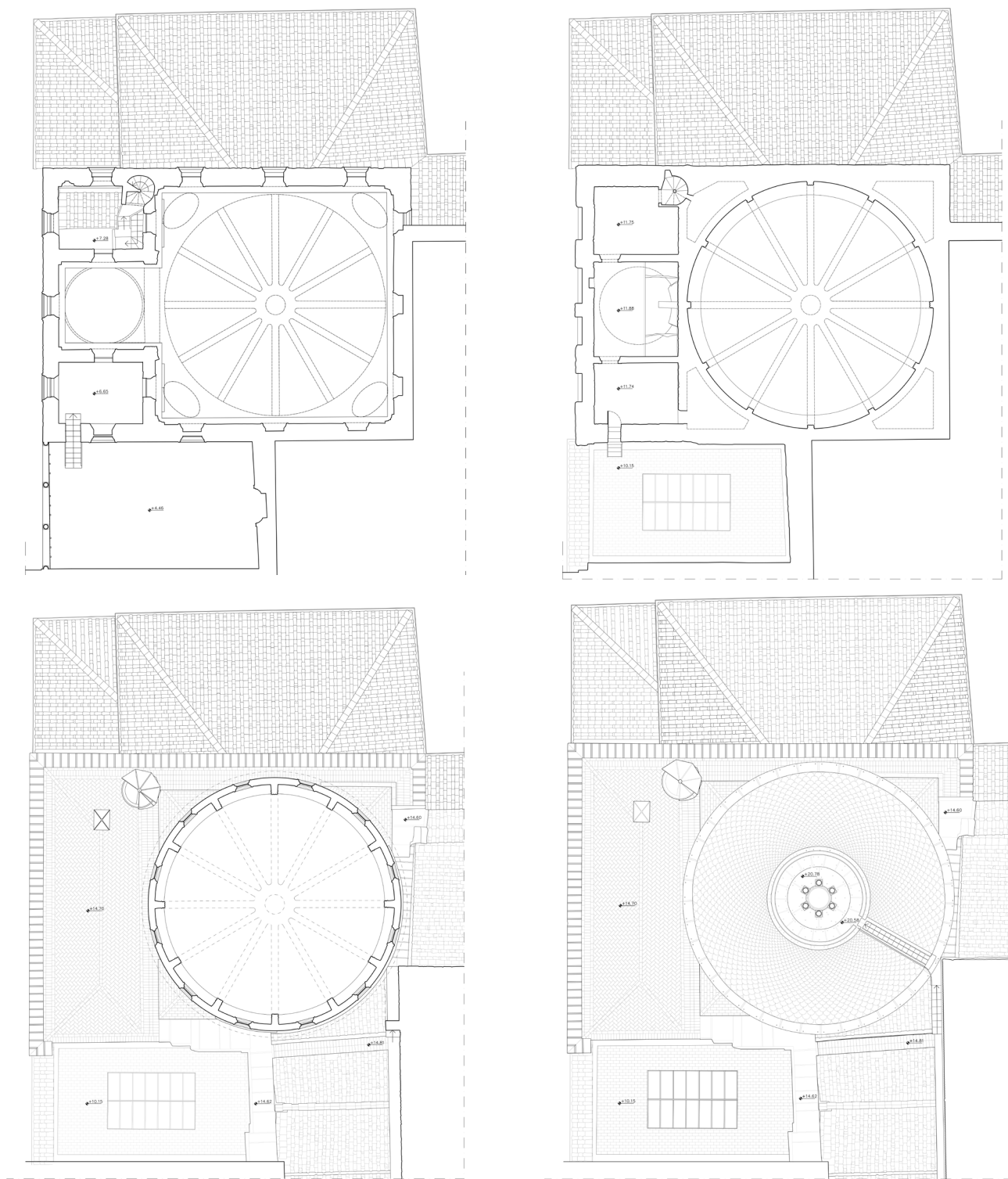


FIG. 5.16 Pianta a fil di ferro del piano primo e dei livelli superiori.



FIG. 5.16 Sezione E-E' fil di ferro.

0 1 2.5 5m



FIG. 5.17 Sezione J-J' fil di ferro.

0 1 2.5 5m



FIG. 5.18 Sezione E-E' con fotopiano.

0 1 2.5 5m



FIG. 5.19 Sezione J-J' con fotopiano.

0 1 2.5 5m



FIG. 5.20 Sezione F-F' fil di ferro.

0 1 2.5 5m



FIG. 5.21 Sezione G-G' fil di ferro.

0 1 2.5 5m



FIG. 5.22 Sezione F-F' con fotopiano.



FIG. 5.23 Sezione G-G' con fotopiano.

0 1 2.5 5m



FIG. 5.24 Fotopiano e fil di ferro dei Tondi delle Storia di San Giovanni Evangelista di Donatello.



FIG. 5.25 Dettaglio a fil di ferro e fotopiano del Lavabo e Monumento funebre di Piero e Giovanni, entrambi di Andrea del Verrocchio.



FIG. 5.26 Dettaglio a fil di ferro e fotopiano della Porta dei Martiri, Santi Stefano e Lorenzo di Donatello.

0 0,5 1 2 m

NOTE

¹ De Quincy, Q. (1844), Misurare, in *Dizionario storico di architettura*.

² Docci, M., Gaiani, M., Maestri, D. (2017).

³ Forte, P. (2019).

⁴ Crediti del progetto “Rilievo e documentazione del Complesso di San Lorenzo, Firenze”, realizzato in convenzione con l’Opera Medicea Laurenziana. *Responsabile scientifico*: Prof. Stefano Bertocci (DIDA); *Cordinatore scientifico e tecnico*: Ph.D. Matteo Bigongiari (DIDA); *Tesi di laurea in architettura quinquennale c.m.*: Gianmarco Domenichini, “Rilievo digitale della Sagrestia Vecchia per l’interpretazione dello sviluppo del complesso di San Lorenzo”, A.A. 2020/2021 (Relatore: Prof. Stefano Bertocci, Correlatore: Ph.D. Matteo Bigongiari); *Elaborati grafici realizzati da*: studenti del Laboratorio di Rilievo, Anno accademico 2019/2020, Scuola di Specializzazione in “Beni Architettonici e del Paesaggio”, DIDA - Dipartimento di architettura.

⁵ Carta di Londra (2003), principio 3.

⁶ Bigongiari, M. (2021).

⁷ Durante questa campagna di rilievo sono stati rilevati gli ambienti della Biblioteca Laurenziana, i due chiostri del complesso e parte del braccio sud del transetto con le sue cappelle.

⁸ Nocerino, E., Stathopoulou, E. K., Rigon, S., Remondino, F. (2020), pag. 3/24.

⁹ L’estensibilità dell’asta 3D eye ha consentito di integrare le parti mancanti collocate fino ad una quota massima di 10 metri rispetto al piano di calpestio. Le lacune collocate al di sopra di tale quota sono state ridotte ma non colmate completamente.

¹⁰ Ippolito, A. (2018), pag. 187. A differenza della fase di rilevamento integrato, ovvero di acquisizione di dati («integrazione di metodologie»), segue la fase di rilievo integrato, ovvero elaborazione del dato («integrazione di modelli»). I modelli 2D e 3D rappresentano la sintesi di queste due fasi di «rilevamento critico e rilievo oggettivo», il primo rappresentato dalla fase di raccolta delle informazioni e il secondo dalla fase di lettura e di restituzione.

¹¹ *Ivi*, pag. 188.

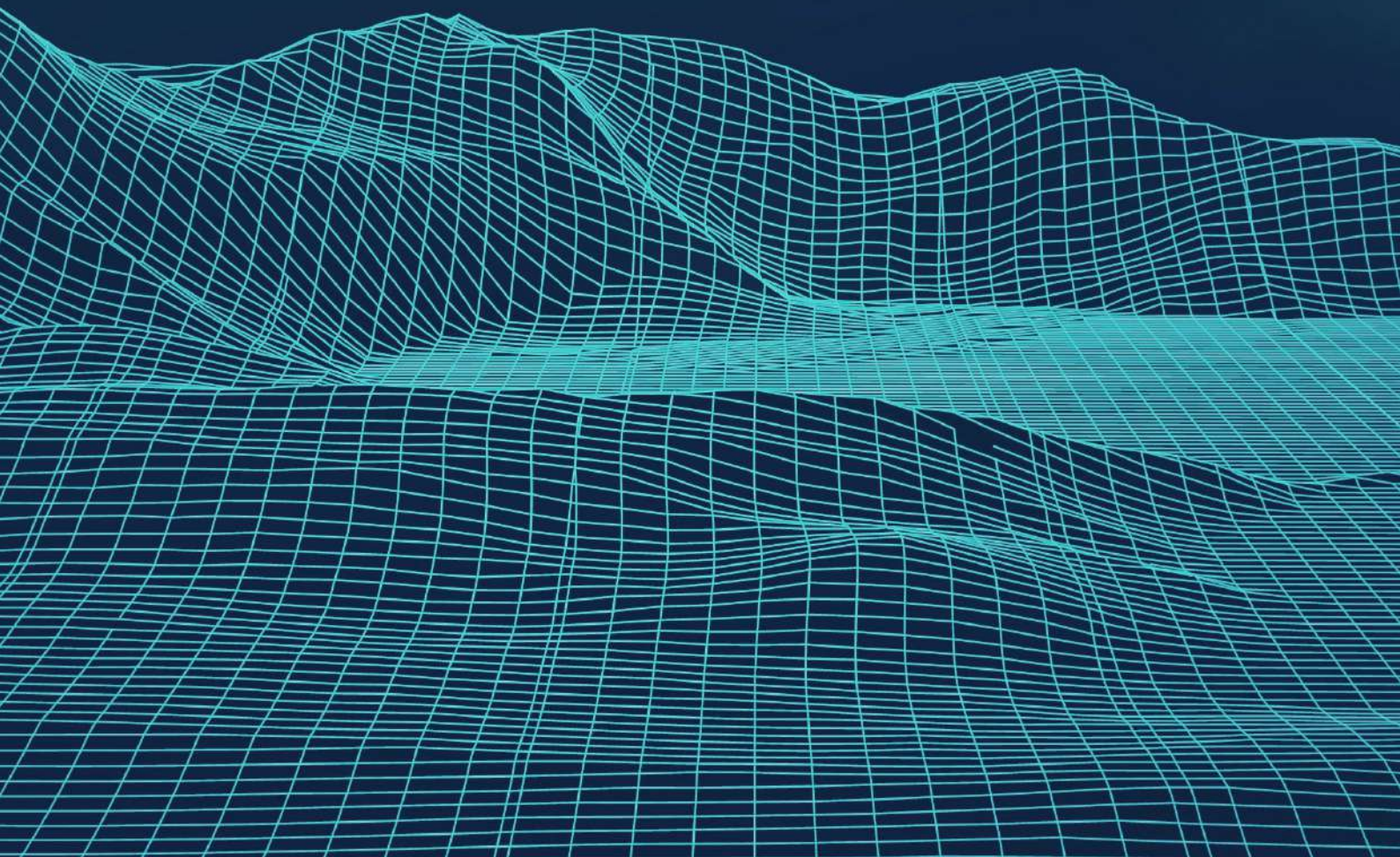
¹² Forti, G. et al. (1987), pag.8. Prima di effettuare analisi sulla datazione della cupola verificano la sua morfologia, riscontrando che si tratti effettivamente di una semisfera di 400 cm di diametro circa. «La scelta della semisfera è indice di accuratezza; infatti misure lineari

lungo cerchi massimi possono essere ridotte, con una semplice proporzione, a misure angolari e viceversa. Questo dovette essere, crediamo, il metodo seguito per posizionare i vari corpi celesti...».

¹³ Cloud Compare è un software open source di elaborazione di nuvole di punti 3D e mesh triangolari. Consente, oltre all’elaborazione generica di nuvole di punti (registrazione, ricampionamento, ecc.) di eseguire il confronto tra due nuvole di punti 3D, tra una nuvola di punti e una mesh o tra due mesh poligonali. Il software e la relativa documentazione sono disponibili all’indirizzo: <http://www.cloudcompare.org/>

¹⁴ Forti, G. et al. (1987), pag. 8.

PARTE III



CAPITOLO 6

TECNICHE DI OTTIMIZZAZIONE PER LA CREAZIONE DI CONTENUTI PER SCENARI VIRTUALI

6.1. DAI DATI DI RILEVAMENTO AL MODELLO 3D

Le operazioni di rilevamento sono finalizzate alla creazione di un'immagine del fenomeno reale mediante la realizzazione di modelli grafici. L'immagine ottenuta costituisce di per sé, come ogni rappresentazione, una "riduzione" dell'oggetto e dunque una modificazione del fenomeno originario che, in seguito ad una sua relativizzazione (o discretizzazione), è capace di rappresentare uno o più aspetti della realtà¹. Perciò tutti i modelli non comportano una riproposizione fedele dell'oggetto che rappresentano ma piuttosto «una selezione di certe qualità o scopi di esso»², consentendo così di trasmettere determinate informazioni. Abraham Moles nel suo saggio "Teoria informazionale dello schema", pubblicato nel 1972 sulla rivista *Versus*, ha proposto una teoria che, attraverso una «tassonomizzazione»³ delle rappresentazioni in base al loro livello di iconicità⁴, consente di misurare la "quantità" di informazione che riescono a veicolare. In particolare, come fanno notare Gaiani M., Benedetti B. e Apollonio F. I. (2011), Moles evidenzia come, per la rappresentazione di tutto ciò che è dotato di tre dimensioni, l'impiego del modello 3D, considerato lo "schema" più iconico tra tutti, «aiuta a migliorare non solo la visualizzazione, o la conservazione delle informazioni, ma soprattutto la loro definizione, semplificando l'organizzazione e integrando la restituzione con un sistema di dati conoscitivi»⁵. Le possibilità fornite dai modelli 3D si sono esponenzialmente ampliate con l'avvento della tecnologia digitale che, oltre a facilitare ed

implementare la fase di registrazione dell'oggetto reale, offrono la possibilità di informatizzare il modello e utilizzare metodologie interattive per la visualizzazione di dati, strutturando il modello 3D come vero e proprio «nucleo aggregativo del sistema informativo»⁶. I modelli 3D digitali si configurano così come «insostituibili elementi di congiunzione, veri e propri "interfaccia", tra la realtà e la dimensione delle scienze sperimentali»⁷, coniugando in un'unica rappresentazione iconicità e conoscenza.

Chiaramente, come qualsiasi altro modello grafico rappresentativo, anche la creazione di un modello digitale 3D non scaturisce da una "trascrizione"⁸ fedele dell'oggetto reale ma piuttosto da un processo critico condotto dall'autore. La consapevolezza che ogni rappresentazione della realtà è una discretizzazione dell'oggetto, e pertanto esprime sempre un certo livello di "incompletezza", consente di stabilire preliminarmente la natura dei modelli e di pianificare i successivi procedimenti di rilevamento e costruzione. In ogni caso, indipendentemente dalle finalità, si pone l'esigenza di analisi cognitive preliminari (semantica, tassonomica, topologica, ecc.) volte alla comprensione dei caratteri morfometrici, storici e materici dell'oggetto e dei rapporti tra le sue parti e con il contesto⁹. Il risultato di tali analisi, diverse a seconda dell'oggetto di indagine, consentirà di qualificarne le caratteristiche e la qualità in termini di accuratezza, tolleranze, caratteristiche della forma e proprietà della superficie¹⁰ al fine di valutare la metodologia, gli strumenti e i sistemi comunicativi e rappresentativi più appropriati per ogni specifico

caso studio.

In base allo scopo per il quale vengono prodotti, i modelli 3D possono essere distinti in «modelli figurativi e modelli con finalità scientifiche»¹¹. Tale distinzione è basata sulla differenza di qualità e definizione di determinati aspetti. I modelli figurativi hanno come obiettivo la «ricerca della mimesi»¹² con l'oggetto di riferimento, ottenuta dal punto di vista percettivo mediante la riconoscibilità geometrica e attraverso l'applicazione di texture e mappe ad alta risoluzione; i modelli scientifici invece sono strettamente legati alla esatta rispondenza geometrica e metrica e alla possibilità per l'utente di ricavarne dati ed informazioni per lo sviluppo di studi ed analisi ulteriori. Se questi ultimi sono, quindi, estremamente aderenti al manufatto indagato dal punto di vista morfometrico, i primi possono presentare discordanze formali a volte anche rilevanti, integrate però dai dettagli ricavati dal dato fotografico garantendone così la riconoscibilità e la verosimiglianza. Tali discordanze con il manufatto sono frutto delle operazioni di ottimizzazione condotte sui modelli 3D che consentono di ridurre il «peso» del file, rendendolo così visualizzabile e fruibile attraverso sistemi interattivi real-time, dalle *mobile app* fino alla AR/VR.

Questi modelli rispondono pertanto in primis a necessità divulgative e comunicative che, in seguito all'ottimizzazione del dato, prevedono il loro inserimento in uno scenario virtuale e la conseguente integrazione di informazioni tematiche. In qualsiasi accezione la si realizzi comunque la modellazione rappresenta una «strategia-conoscitiva-comunicativa»¹³ che, assieme al corpus di modelli grafici bidimensionali, ha lo scopo di «sistematizzare nella maniera più completa le conoscenze acquisite»¹⁴ e di presentarle al pubblico in maniera intuitiva.

6.2. IL FLUSSO OPERATIVO: TECNICHE DI OTTIMIZZAZIONE

La crescita esponenziale dell'utilizzo di riproduzioni digitali di artefatti culturali per la loro valorizzazione, resa ancora più ingente dalla chiusura forzata di musei e istituzioni culturali a causa della pandemia Covid-19, ha richiesto lo sviluppo di metodologie di digitalizzazione e flussi di lavoro sempre più approfonditi e mirati in grado di fornire un prodotto finale il più possibile accurato nella forma e/o impiegabile per la realizzazione di fruizioni virtuali¹⁵. In particolare, negli ultimi anni sono entrate nelle competenze del settore ICAR/17 anche software e tecniche derivanti dall'industria dei *videogames* che, integrati a procedimenti di rilevamento laser-scanner/*SfM* consentono una gestione e una manipolazione del modello più puntuale e approfondita¹⁶. Al fine di inquadrare scientificamente le possibilità a disposizione del rilevatore si è resa necessaria la realizzazione di un quadro generale che consenta di fornire una panoramica sui procedimenti, sulle problematiche e sui software e le loro relative caratteristiche.

In questo paragrafo si affrontano i principali strumenti e metodologie per la creazione di repliche digitali del patrimonio culturale mediante la procedura *SfM*, con uno specifico focus sulle superfici mesh e sulla loro ottimizzazione e caratterizzazione cromatica e materica attraverso l'applicazione di texture. L'obiettivo è quello di analizzare le procedure necessarie ed evidenziare le opportune accortezze e le possibili problematiche al fine di definire una pipeline per la digitalizzazione del patrimonio culturale utile ad ottenere riproduzioni digitali adattabili a diversi dispositivi di fruizione (VR/AR), impiegabili per la costruzione di repliche fisiche (mediante procedimenti di stampa 3D) e per la progettazione di mostre virtuali. In particolare, si analizza l'iter metodologico impiegato nel caso studio



FIG. 6.1. Modello 3D texturizzato big-poly finale.

della cupola emisferica della Sagrestia Vecchia per la realizzazione di un modello 3D capace di descrivere adeguatamente la superficie della cupola.

La creazione di modelli 3D può avvenire secondo differenti approcci che possono essere raggruppati in due macrocategorie: metodi *reality-based* (rilevano e restituiscono in 3D l'oggetto così come è), metodi di computer grafica (generazione di modelli 3D attraverso software come Rhinoceros, Autodesk 3ds Max, Blender, ecc.) grazie ai quali è possibile realizzare un modello a partire da un'idea o un'immagine di riferimento, mediante valutazioni empiriche, o a partire da elaborati grafici bidimensionali, quindi con l'ausilio di misure. Come abbiamo visto precedentemente il primo metodo può sfruttare sistemi attivi, come laser scanner e sistemi a luce strutturata che ricavano le coordinate dell'oggetto misurandole grazie

all'emissione di una sorgente luminosa, o sistemi passivi, come sistemi fotogrammetrici *SfM* che invece sfruttano la luce presente nell'ambiente e ricavano le informazioni e le coordinate dalle immagini.

Relativamente alla costruzione dei modelli con metodologia *SfM* i passaggi principali possono essere riassunti da:

- a) Operazioni preliminari (progetto delle prese, calibrazione della camera)
- b) Acquisizione delle immagini
- c) Allineamento delle camere e generazione di *Sparse Cloud*
- d) Verifica della qualità dell'allineamento
- e) Costruzione del modello geometrico mesh
- f) *Color processing* (definizione delle proprietà delle

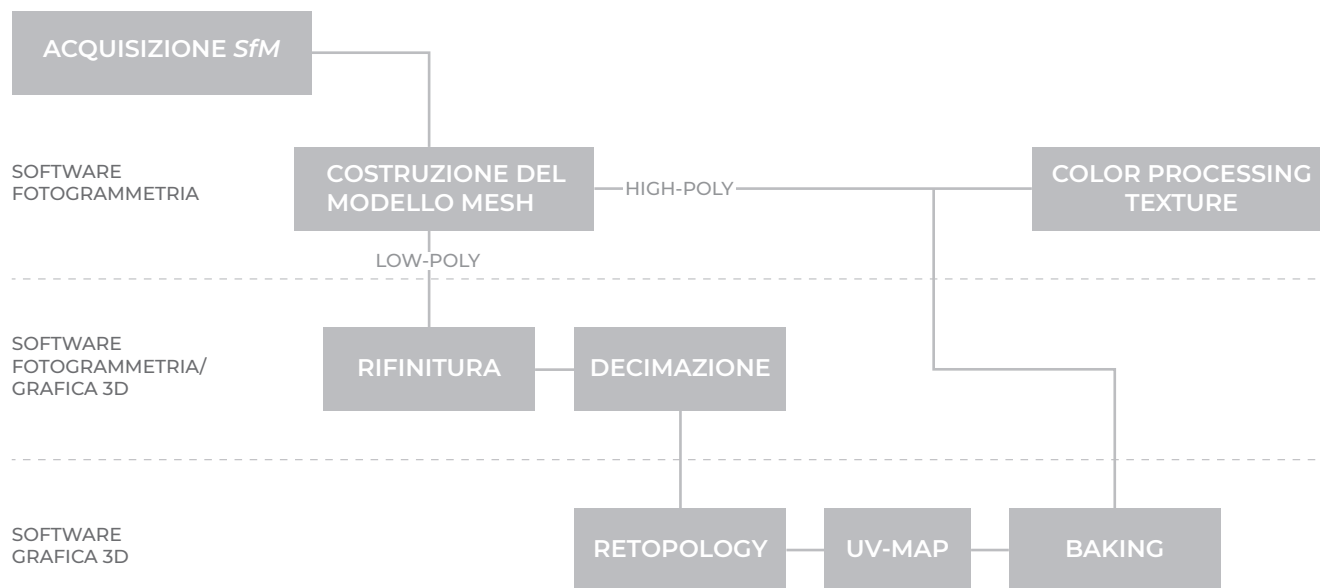


FIG. 6.2. Schema del workflow seguito per la realizzazione dei modelli 3D da impiegare all'interno di scenari virtuali.

superfici, colore, texture, riflessione, normale, ecc.)

g) Controllo di qualità

I primi due punti (a, b), già trattati nel capitolo precedente, rappresentano le operazioni di acquisizione svolte sul campo, mentre il terzo punto (c) costituisce un passaggio, svolto all'interno di software di fotogrammetria (Agisoft Metashape, Reality Capture, ecc.), che consente l'allineamento delle immagini attraverso algoritmi automatici. Tale processo può comunque subire una verifica manuale (d) grazie alla possibilità di utilizzare alcuni strumenti interni al programma utilizzato ed eventualmente operare una correzione manuale dell'errore¹⁷. In seguito alla verifica dell'allineamento avviene la generazione del modello geometrico che permette di "convertire" la nuvola di punti in una superficie mesh. Le mesh poligonali, dette anche "maglie poligonali", sono modelli costituiti da un insieme

di vertici, spigoli e facce (generalmente triangolari o quadrangolari¹⁸) che definiscono la forma di poliedri 3D. Il numero di poligoni di una mesh incide notevolmente sulla "pesantezza" del file e sulla fluidità di visualizzazione, specialmente in *real-time*, pertanto è necessario realizzare delle elaborazioni intermedie al fine di garantire una adeguata riduzione delle dimensioni del file per una sua conseguente usabilità in contesti interattivi. Ovviamente è necessario trovare un corretto bilanciamento tra un'adeguata definizione della forma (più poligoni corrispondono ad un aumento del dettaglio della superficie) e usabilità (meno poligoni consentono una gestione/visualizzazione più fluente). In seguito alla costruzione del modello geometrico (e) le operazioni utili a tale scopo possono essere schematizzate in:

- a) Rifinitura
- b) Decimazione
- c) Retopology

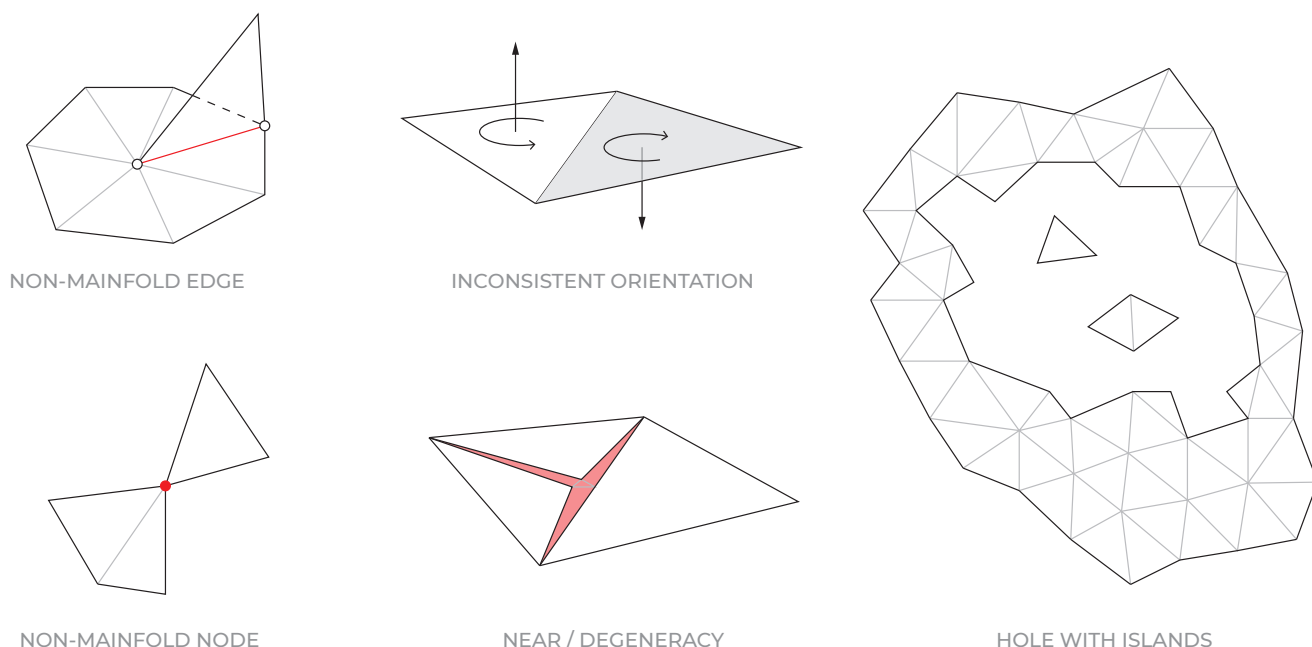


FIG. 6.3. Alcune tipologie di errori geometrici delle mesh.

- d) UV-mapping e applicazione della texture
- e) Baking

6.2.1. Rifinitura

La superficie ottenuta in seguito ai procedimenti automatici all'interno di programmi di fotogrammetria *SfM* può presentare diverse lacune ed errori di natura topologica. Al fine di non causare artefatti visivi o errori durante processi di stampa 3D le superfici mesh devono presentare una struttura conforme. Tale conformità a volte non è rispettata di *default* e necessita l'attuazione di processi di post-produzione successivi. Alcuni tra gli errori più frequenti consistono in lati condivisi da più poligoni (*non-mainfold edges*), normali invertite (*inconsistent orientation*), poligoni che si intersecano (*self-intersections*)¹⁹. Questi possono essere corretti manualmente o attraverso procedimenti automatici contenuti nei software di *reverse modeling* o di computer grafica, che agevolano quest'operazione. I modelli ottenuti da scansione laser 3D e tecniche

SfM potrebbero inoltre presentare delle lacune, derivate da mancanza di informazioni utili a generare la mesh. Queste mancanze potrebbero dipendere da vari fattori come, ad esempio, la presenza di zone d'ombra impossibili da integrare, materiali riflettenti o semplici errori di allineamento. La chiusura di questi vuoti può essere effettuata sia tramite procedimenti automatici che manuali, avendo cura di integrare il dato mancante secondo congetture derivanti da analisi ulteriori, al fine di non inficiare la scientificità del risultato.

6.2.2. Decimazione

Oltre agli aspetti topologici i problemi associati all'utilizzo di mesh riguardano anche aspetti computazionali. Il dato derivato da scansioni laser o acquisizione fotogrammetrica *SfM* presenta una grande quantità di facce che causano una certa ridondanza nel modello. Questa ridondanza comporta, da un lato, un elevato livello di dettaglio ma, dall'altro, una notevole

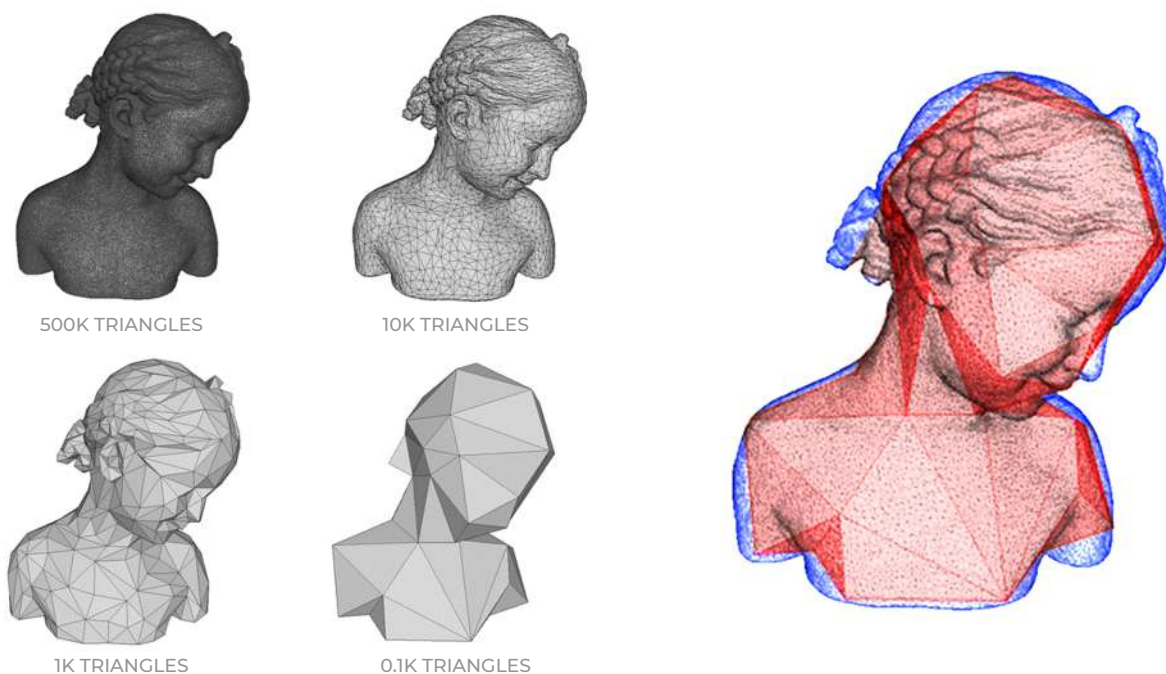


FIG. 6.4. Processo di decimazione automatica sul modello 3D del busto di una bambina, [<http://kmamou.blogspot.com/2015/06/a-simple-c-class-for-3d-mesh-decimation.html>]. A destra la sovrapposizione fra il modello *high-poly* e *low-poly* [elaborazione grafica: E. Bordini].

richiesta di risorse in termini di memoria e di calcoli necessari. In base allo scopo della digitalizzazione e al output finale ricercato (render statici o dinamici, applicazioni interattive *real-time*, ecc.) il processo di decimazione può avvenire secondo diversi gradi di approssimazione: in un progetto di conservazione del bene, in cui la precisione del modello è fondamentale, la decimazione sarà funzionale esclusivamente a eliminare la ridondanza del dato; in un progetto di fruizione virtuale, in cui la manovrabilità è uno dei requisiti indispensabili, la decimazione sarà eseguita in maniera più massiva e incidente sulle proprietà formali del modello. Al fine di realizzare un modello 3D che potessero adattarsi ad usi professionali e divulgativi, a partire dai dati del rilievo sono state prodotte due diverse tipologie di modello a diverso livello di dettaglio (LOD²⁰):

- Modello di base: costituisce la replica a più alta qualità (*high-poly*) e risoluzione del manufatto in termini di dati morfologici e cromatici ed è destinato all'utilizzo da parte di utenti specializzati;²¹
- Modello derivato: modello destinato all'utilizzo in applicazioni web, AR/VR a scopo divulgativo. Richiede pertanto una risoluzione inferiore e differenti requisiti in termini di contenuti morfologici. Il modello può essere caratterizzato da mesh *mid-poly* o *low-poly* a seconda del suo utilizzo e di conseguenza presentare delle discordanze geometriche rispetto al modello originale, che però non vanno ad influire sulla capacità comunicativa dell'oggetto e ne aiutano la gestione da parte di piattaforme online o device poco performanti²².

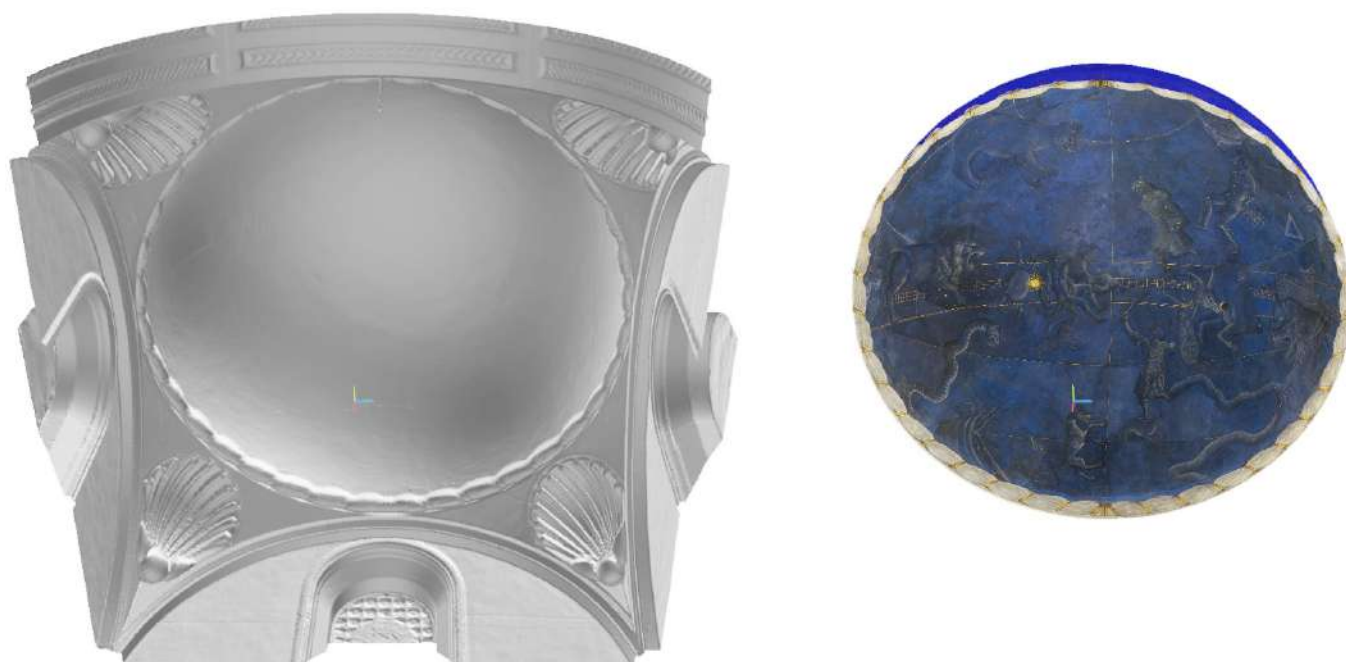


FIG. 6.5. A sinistra il modello mesh ottenuto su Reality Capture e a destra la cupola e il cordone, scorporata preventivamente alla generazione della texture dal modello totale, al fine di ridurre il numero di poligoni e concentrare le operazioni seguenti esclusivamente sulla porzione di interesse.

Il processo di semplificazione di mesh triangolari può essere realizzato mediante differenti procedimenti e algoritmi²³ e l'approccio più diffuso è quello di localizzare la decimazione in zone planari del modello, consentendo così di conservare le discontinuità geometriche dell'oggetto. Nonostante l'operazione di decimazione consenta di ottenere in breve tempo modelli estremamente più leggeri dell'originale, nel caso studio in trattazione l'utilizzo esclusivo di tale procedimento si rivela abbastanza limitante. Il modello decimato infatti necessita di una nuova mappatura UV per l'applicazione dell'informazione cromatica proveniente dal vecchio modello. Tale operazione è possibile condurla tramite processi automatici direttamente nel software di *reverse modeling*, tuttavia il risultato non è ottimale. Questi processi, non prendendo in considerazione la struttura dell'oggetto rilevato e della sua suddivisione semantica, realizzano

UV Map del tutto arbitrarie e caotiche caratterizzate da numerose *islands* e deformazioni²⁴. Inoltre, al fine di elaborare uno sviluppo planare dell'intera cupola per isolare e post produrre i vari elementi senza causare deformazioni considerevoli sulla mappatura, è stato necessario generare una topologia della mesh funzionale e utilizzando tecniche di *retopology*.

6.2.3. Retopology

Il *retopology* è una tecnica che deriva dal mondo dell'*entertainment* e dell'animazione 3D e consiste in un processo di sostituzione di una mesh con una nuova, che ne mantiene la forma originale e che presenta una topologia conforme agli scopi specifici del progetto²⁵. Il dato di partenza è pertanto il modello originale, decimato o non, sul quale vengono ricreati manualmente o automaticamente i nuovi vertici e le nuove facce della mesh. Questo

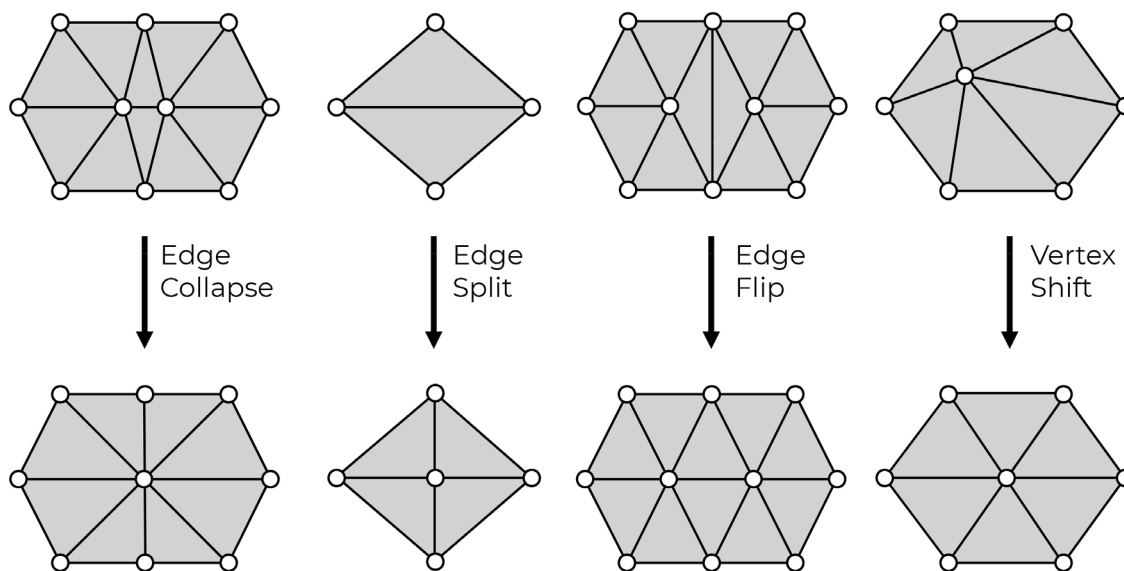


FIG. 6.6. Alcune operazioni di remeshing automatico [http://graphics.stanford.edu/courses/cs468-10-fall/LectureSlides/14_Remeshing1.pdf].

comporta inevitabilmente un prolungamento dei tempi di elaborazione ma consente di realizzare modelli estremamente leggeri e produrre mappature UV organizzate secondo i criteri guida del progetto. Il *retopology* grazie alle possibilità che fornisce è pertanto diventato uno step inevitabile nella realizzazione di contenuti tridimensionali per un progetto di fruizione virtuale.

Nonostante il modello prodotto da processi di ricostruzione fotogrammetrica sia costituito da triangoli, il processo di *retopology* prevede come standard l'impiego di quadrangoli, specialmente per la modellazione di forme organiche. L'utilizzo di questi ultimi è dovuto ad una serie di caratteristiche topologiche intrinseche alle mesh quadrangolari²⁶. In primis, i quadrangoli consentono di approssimare le forme originali o ricercate (in particolare quelle dotate di curvatura) con più precisione rispetto ai triangoli e, in secondo luogo, presentano notevoli vantaggi anche nelle seguenti fasi della pipeline di produzione: *unwrapping* e *texturing*. Per far sì che

questo avvenga è però necessario realizzare uno studio topologico del modello su cui si deve lavorare al fine di identificare l'*edge-flow* più adatto all'oggetto. Un *edge-flow* ben strutturato, ovvero la rete composta dai lati dei poligoni (corrispondente a ciò che è visibile in modalità *wireframe*), consente non solo di limitare le distorsioni della mappatura UV ma anche di individuare le linee di "suddivisione" della texture. Il procedimento di creazione della nuova mesh può avvenire secondo metodi manuali o automatici. I primi, più comunemente utilizzati in contesti di animazione 3D, consistono nel posizionamento manuale dei nuovi vertici sulla superficie della mesh. Nonostante questo rappresenti un processo particolarmente dispendioso in termini di tempo è quello che permette una gestione più approfondita dei singoli vertici, necessaria nei casi in cui la mesh debba possedere particolari caratteristiche topologiche. Di contro, i processi automatici, chiamati anche *remeshing*, garantiscono una rapidità elevata ma con scarse possibilità di intervenire sul risultato degli algoritmi

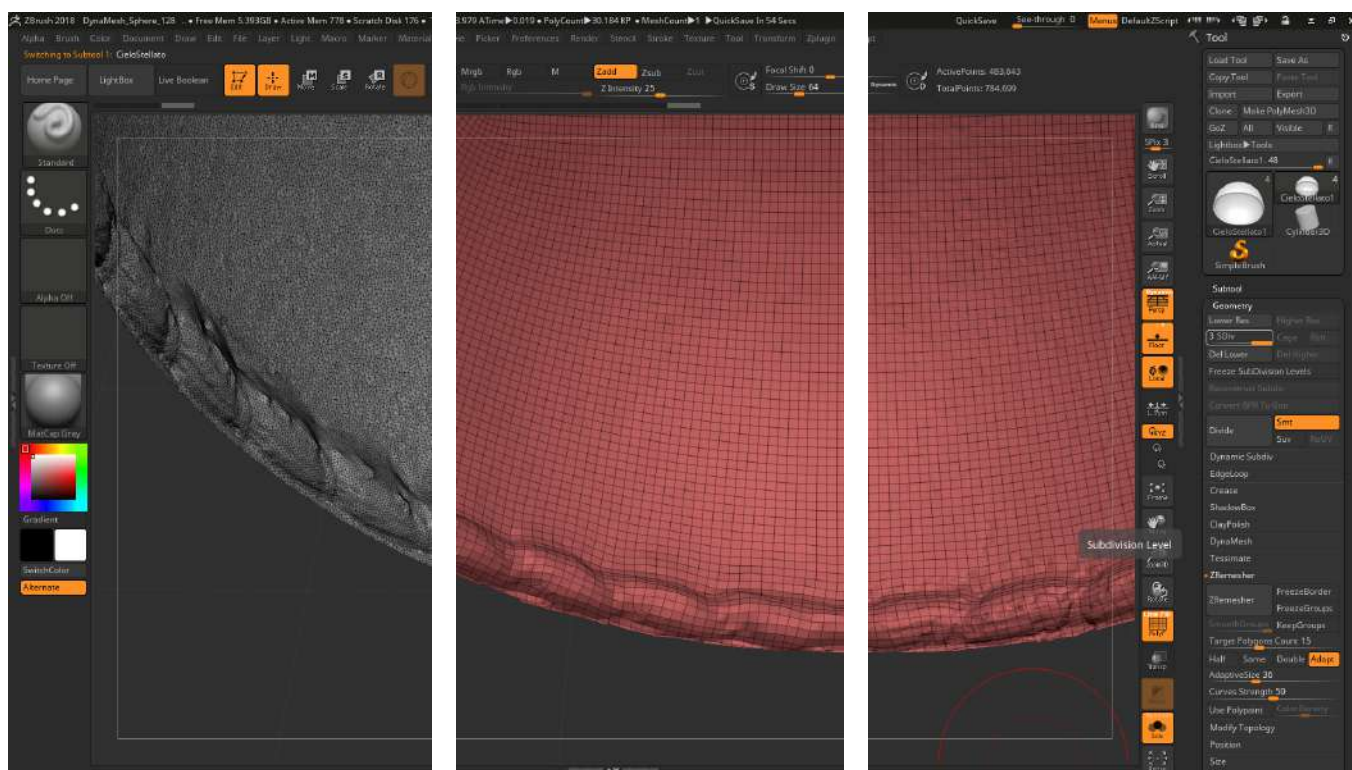


FIG. 6.7. A sinistra la mesh decimata ed esportata da Reality Capture, al centro la mesh in seguito a processi di remeshing e a destra la stessa mesh in seguito alla proiezione del dettaglio originale sulla nuova topologia.

di calcolo.

In commercio esistono numerosi programmi, *tools* e *plug-in* per eseguire il processo di *retopology* e *remeshing*, come Instant Meshes²⁷, Blender, Autodesk Maya, Autodesk Mudbox, ZBrush, 3D Coat, ecc.

Per il caso studio è stato utilizzato il software ZBrush, un programma di grafica computerizzata sviluppato da Pixologic che combina modellazione, texturizzazione e *painting* in 3D e 2,5D, specialmente utilizzato nel settore del *gaming* per la realizzazione di oggetti e personaggi mediante processi di *sculpting*. In seguito ad una prima decimazione²⁸ eseguita all'interno di Reality Capture, il modello è stato esportato in formato .obj ed importato all'interno di ZBrush, attraverso il quale è stato possibile convertire la mesh triangolare in quadrangolare grazie al *tool* ZRemesher.

Questo strumento consente di effettuare un processo di *remeshing* automatico in base al target di poligoni definito dall'utente e, eventualmente, di definire più nel dettaglio l'*edge-flows* e *edge-loops* grazie al disegno di guide direttamente sulla superficie della mesh.

6.2.4. UV-mapping

L'*UV-Mapping* è la tecnica con la quale un'immagine 2D viene applicata alla superficie di un modello 3D. Questa tecnica consiste nel rappresentare la superficie del modello in uno spazio bidimensionale, nel quale la posizione di ogni vertice e lo sviluppo di ogni faccia viene individuato attraverso una coppia di valori (u, v)²⁹ su un piano cartesiano (fig. 6.8). Il processo utilizzato viene generalmente chiamato *unwrapping* e consente di definire delle

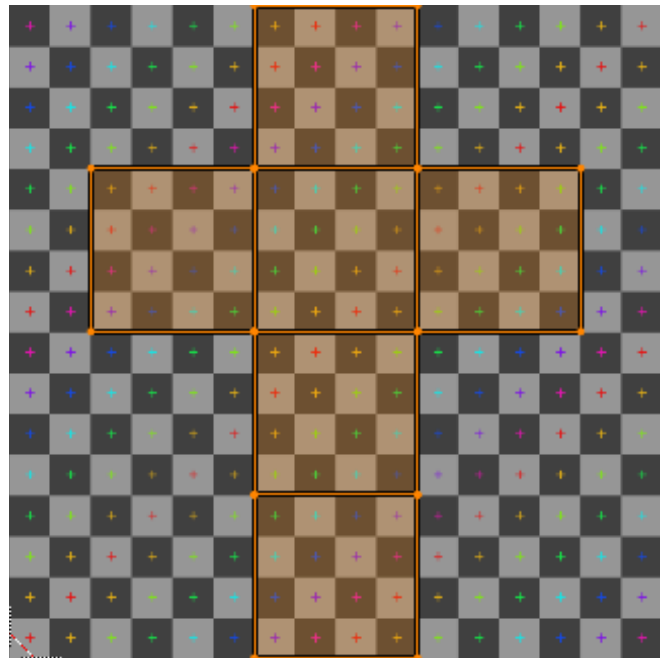
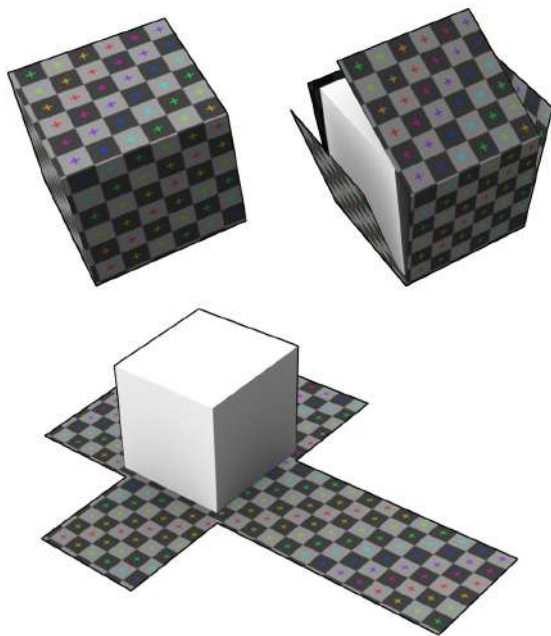


FIG. 6.8. Unwrapping di un cubo. Le facce dell'oggetto vengono sviluppate e proiettate su un piano cartesiano al fine di creare una corrispondenza tra i punti del cubo e i punti della mappa [Cube Representative UV Unwrapping.png]. A destra la mappa UV in 2D [https://docs.blender.org/manual/it/dev/editors/uv/introduction.html].

corrispondenze tra spazio 2D e 3D. Qualsiasi modello tridimensionale, per quanto semplice possa essere, per poter essere sviluppato su un piano necessita di tagli. I tagli, chiamati *seams* (ovvero “cuciture”), sono corrispondenti a delle linee (identificati con gli spigoli dei poligoni) lungo le quali la mesh viene divisa per la creazione di mappe UV. A seconda della complessità della mesh, le mappe risultanti possono essere formate da uno o più porzioni, dette *shells* o *islands*, nelle quali i poligoni possono risultare più o meno deformati³⁰. Nei software *SfM* tale processo viene svolto automaticamente durante la creazione della texture ma con risultati estremamente caotici e frammentati senza alcuna logica. Al fine di ottenere una mappatura leggibile ed editabile e aumentare la qualità del modello finale è però necessario avere controllo su questa “scomposizione”.

La scelta di come suddividere la mesh può essere influenzata da vari fattori: se si tratta di un modello

architettonico o di un oggetto, può essere svolta in relazione alla suddivisione semantica e topologica dei suoi elementi³¹; nel caso di un modello organico o anatomico (ad esempio personaggi per animazioni o videogiochi) allora sarà necessario realizzare le *seams* in punti strategici (salti geometrici o di materiale/colore, sotto gli abiti, sotto i capelli, ecc.), al fine di evitare discontinuità visibili sul modello finale.

Nel caso in esame è stata operata una prima suddivisione tra i due elementi che compongono la cupola, il cordone di imposta e la superficie dipinta. La realizzazione della mappa UV è stata realizzata all'interno del software *ZBrush*, mediante il *plug-in* *UVMaster*³². Grazie all'utilizzo di questo strumento è stato possibile eliminare i tagli collocati sulla superficie dipinta ed ottenere per quest'ultima una unica *island*. La nuova mesh ottenuta e la sua UV Map sono state successivamente reimportate nel software di ricostruzione fotogrammetrica *Reality Capture* e

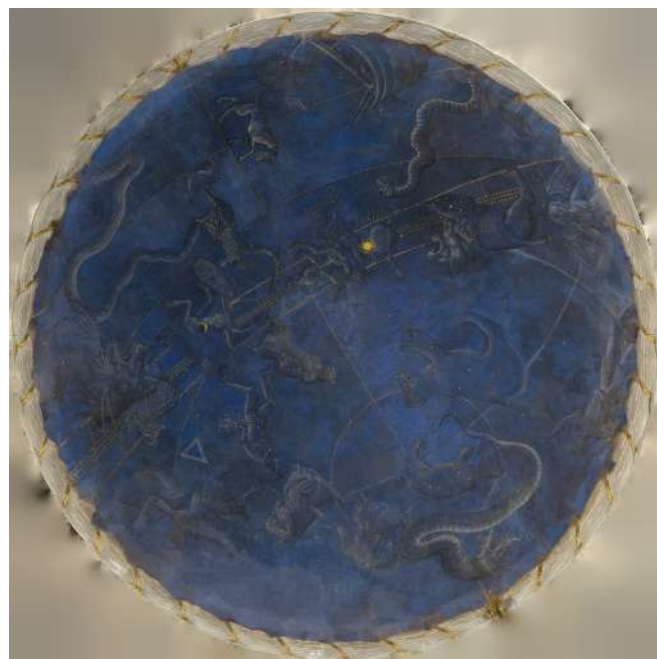
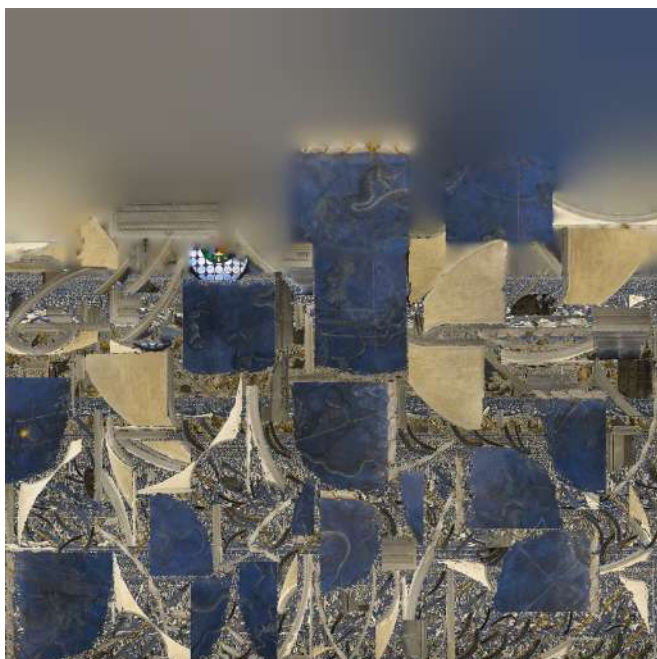


FIG. 6.9. A sinistra, la UV-map automatica ricavata da processi di ricostruzione fotogrammetrica. A destra, la UV-Map ottenuta in seguito al processo di unwrapping eseguito in Z-Brush.

texturizzate tramite l'applicazione del dato fotografico. Tale procedimento ha consentito di ottenere una rappresentazione “continua” del dipinto, utile alla successiva postproduzione finalizzata ad isolare e scomporre il disegno nei suoi vari componenti (fig. 6.9.).

6.2.5. Baking

I processi di semplificazione geometrica della mesh (decimazione, *retopology* e *remeshing*) portano inevitabilmente ad una perdita di dettaglio. Una soluzione che consente di reintegrare i dettagli senza incidere sul numero totale di poligoni è rappresentato dall'utilizzo di particolari mappe UV, generate tramite un'operazione detta *baking*, letteralmente “cottura”. Questo metodo, consente di immagazzinare informazioni relative alla geometria del modello *high-poly* in particolari mappe 2D che, applicate al modello semplificato consentono di simulare i dettagli non

rappresentati geometricamente³³. Le due mappe più utilizzate sono la *Normal map* e la *Displacement map*. Mentre quest'ultima, grazie ad un'immagine in scala di grigi, crea realmente dei rilievi sulla mesh e di conseguenza aumenta i tempi di elaborazione e di renderizzazione, la *Normal map* agisce esclusivamente sul valore delle normali, pertanto si presta maggiormente ad essere impiegata in contesti di visualizzazione in tempo reale. Le normali sono uno degli elementi fondamentali nella caratterizzazione di un modello 3D. Sono rappresentate da un vettore ortogonale alla superficie di ogni poligono e il loro valore viene impiegato nel calcolo dell'illuminazione di una superficie e degli effetti di ombreggiatura. La variazione di questi valori, causata dall'applicazione della mappa normale, condiziona l'illuminazione di questi poligoni simulando visivamente il rilievo, anche se geometricamente non presente.

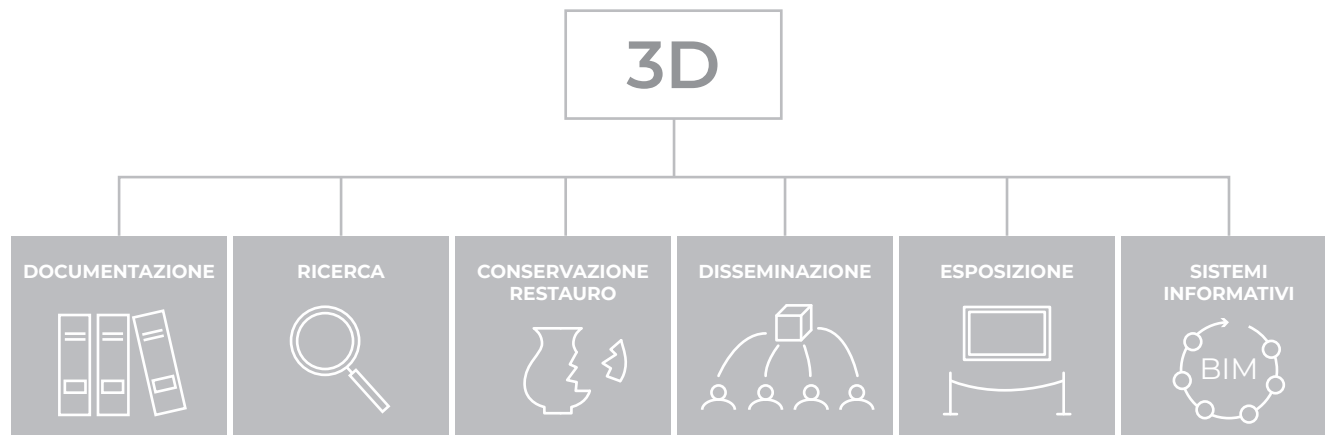


FIG. 6.10. I modelli 3D per il patrimonio culturale e le loro possibili applicazioni.

6.3. I MODELLI 3D PER IL PATRIMONIO CULTURALE

La digitalizzazione 3D di manufatti esistenti prodotta da scansione laser 3D e fotogrammetria *SfM* fornisce innumerevoli possibilità nello studio, nell'analisi, nella gestione e nella comunicazione del patrimonio culturale. Ci sono due ragioni per cui i modelli 3D rappresentano un valore aggiunto nella valorizzazione del patrimonio; la prima è la riproduzione accurata delle proprietà geometriche e materiche di un oggetto; in secondo luogo, i modelli tridimensionali, connessi ad informazioni, fonti ed interpretazioni consentono di aggiungere valore al modello digitale stesso e di ampliare la comprensione del bene culturale. Le tecnologie 3D, tra cui quelle relative all'acquisizione dei dati e alla modellazione digitale, sono state utilizzate nel contesto del patrimonio culturale fin dagli anni '90. In base alle esperienze maturate in questi ultimi decenni da innumerevoli studiosi³⁴, possono essere definite sei applicazioni principali relative all'uso dei modelli 3D nel CH: documentazione, ricerca, conservazione-restauro, disseminazione, esposizione, creazione di sistemi informativi.

Documentazione. La digitalizzazione 3D consente di registrare lo stato di un oggetto, edificio o sito culturale e rendere tali dati accessibili per scopi di ricerca. Specialmente nei casi in cui il patrimonio culturale è soggetto a situazioni di degrado o di pericolo causato da fattori ambientali o conflitti armati, tali metodologie di documentazione 3D consentono di preservarne la memoria e di conservare il bene nel suo originale stato di conservazione³⁵. In caso di perdita del manufatto originale, la sua replica digitale rimane accessibile e disponibile per le consultazioni a scopi di ricerca o di divulgazione.

Ricerca. Grazie alla creazione di modelli 3D è possibile effettuare analisi visive e non intrusive dell'oggetto, senza svolgere una reale manipolazione o senza andare ad impattare sull'integrità fisica del manufatto. Consentono infatti una visualizzazione volumetrica e materica dettagliata grazie a processi di *reverse engineering* che consentono di ottenere modelli morfologicamente e matericamente dettagliati. Inoltre, rendono possibile la creazione di nuove metodologie di ricerca. Ad esempio, in ambito archeologico, frammenti di oggetti complessi possono essere riassemblati virtualmente grazie alla creazione

di una loro replica digitale³⁶.

Conservazione-Restauro. Oltre a consentire la creazione di veri e propri archivi di conservazione digitale, i modelli 3D ad alta qualità possono essere utilizzati dai professionisti come riferimento per la predisposizione di misure di conservazione e restauro di beni danneggiati, anche grazie alla possibilità di generare repliche fisiche del manufatto tramite procedimenti di stampa 3D³⁷. Inoltre, possono essere sostituiti alle opere reali per l'allestimento di mostre temporanee, sia nel caso in cui l'opera non sia disponibile sia nel caso in cui sia estremamente vulnerabile, evitando così ulteriori danneggiamenti.

Disseminazione. I modelli digitali possono essere utilizzati per stabilire nuove modalità di fruizione del CH. Attraverso la loro riproduzione fisica, la diffusione online o attraverso applicazioni AR/VR, possono essere resi accessibili ad un vasto pubblico, sia per scopi promozionali che di ricerca. Inoltre, la restituzione digitale di un'opera può essere impiegata anche per rendere accessibili i numerosi oggetti custoditi nei depositi dei musei³⁸ che, per questioni di disponibilità di spazi o per scelte espositive, non possono essere mostrati nelle rispettive sedi.

Esposizione. I modelli 3D consentono nuove modalità di pianificazione e implementazione delle mostre. Da un lato la loro riproduzione fisica consente di realizzare esperienze tattili³⁹ per l'inclusione di soggetti ipovedenti o non vedenti, dall'altra la loro riproduzione digitale consente di produrre contenuti multimediali utili ad espandere le possibilità espositive integrando in loco visualizzazioni digitali informatizzate, interattive o esplicative, o creando ex novo mostre virtuali accessibili in remoto. Oltre ad espandere le modalità di visita consentono inoltre di estendere le informazioni a disposizione del destinatario, le quali possono includere dettagli non fruibili durante una tradizionale mostra. Inoltre, possono essere utilizzati per lo sviluppo di siti

web, *mobile app*, *serious game*⁴⁰ e contenuti educativi e possono quindi garantire un'esperienza più intensa per i visitatori e nuove forme di partecipazione.

Creazione di sistemi informativi. I modelli 3D si configurano inoltre come elemento cardine per la comunicazione delle informazioni grazie alla possibilità di strutturare dei sistemi informativi⁴¹. Attraverso lo sfruttamento di piattaforme GIS 3D o BIM il modello diviene il riferimento spaziale dei dati (mappati direttamente sulla sua superficie) per il supporto di operazioni di gestione, conservazione e restauro, costituendo così un vero e proprio database interrogabile, modificabile e implementabile nel tempo.

Come abbiamo visto nel paragrafo precedente, grazie alle operazioni di semplificazione discusse, un unico modello 3D può essere realizzato per diverse applicazioni grazie alla possibilità di crearne molteplici versioni con un livello di approfondimento differente. In questo modo il modello riesce a prestarsi per l'utilizzo in ambito scientifico, in cui il dettaglio richiesto è molto alto, o divulgativo, in cui a seconda dell'obiettivo, del target e della strumentazione tecnologica a disposizione il modello può presentare una definizione inferiore. In accordo con i principi della *Carta di Londra* è comunque opportuno definire a priori quali sono gli obiettivi di una digitalizzazione in modo tale da operare delle scelte ponderate sulle metodologie e tecnologie da utilizzare al fine di ottimizzare i tempi e le risorse a disposizione.

NOTE

- ¹ Centofanti, M. (2010). Della natura del modello architettonico. In S. Brusaporci, M. Centofanti (2010), pp. 7-14, pag. 44.
- ² *Ibidem*.
- ³ Anceschi, G. (2003). Prefazione. In C. Branzaglia (2003), pag. 6.
- ⁴ Moles, A. (1972). L'“iconicità” è intesa come «la quantità di realismo, la qualità rappresentativa, la quantità di iconografia immediata, contenuta o fissata nello schema». Il livello di iconicità è definito dal livello di adesione dello schema all'oggetto di riferimento. La scala di iconicità si sviluppa tra due polarità opposte, “iconicità” ed “astrazione”, in cui alla massima iconicità (grado 0) corrisponde l'oggetto stesso e alla massima astrazione (grado 12) corrisponde la «descrizione con parole normalizzate o con formule algebriche». Il modello tridimensionale è collocato ad un livello di iconicità immediatamente inferiore all'oggetto reale, corrisponde quindi a grado 1.
- ⁵ Benedetti, B., Gaiani, M., Remondino, F. (2010), pag. 21.
- ⁶ Gaiani, M., Benedetti, B., Apollonio, F. I. (2011), pag. 35.
- ⁷ Centofanti, M. (2006). op. cit. In S. Brusaporci, M. Centofanti (2010), pp. 7-14, pag. 44.
- ⁸ Gay, F. (2009). Quando è “trascrizione”. In P. Belardi, A. Cirafici, A. di Luggo, E. Dotto, F. Gay, F. Maggio, F. Quici (2009), *idee per la rappresentazione 3*, atti del seminario di studi “Artefatti, fatti d'arte – fatti ad arte – fatti ed arte”, Università degli Studi di Perugia (20 novembre 2009).
- ⁹ Merlo, A. (2019); Gaiani, M. (2012).
- ¹⁰ Apollonio, F. I. et al. (2021).
- ¹¹ Ippolito, A. (2018), pag. 173.
- ¹² *Ibidem*.
- ¹³ Maiezza, P. (2019), pag. 11.
- ¹⁴ Ippolito, A. (2018), pag. 174.
- ¹⁵ Apollonio, F. I. et al. (2021); Merlo, A., Bartoli, M. (2021); Mafri, N., Giovannini, E. C. (2020); Buonamici, F., et al. (2018); Akenine-Möller, T., Haines, E., Hoffman, N. (2018); Schonberger, J.L., Frahm, J.M. (2016).
- ¹⁶ La fotogrammetria SfM rappresenta uno strumento utilizzato non esclusivamente nel settore del Cultural Heritage ma è impiegato in modo massivo anche per la creazione di *asset* all'interno di videogiochi, al fine di accelerare il processo di produzione dei contenuti e per garantire la loro aderenza visiva alla realtà. Ne è un esempio il caso di “Star Wars: Battlefront”, videogioco per il quale sono stati creati *asset* per ambientazioni (terreno, vegetazione, ecc.) e per la caratterizzazione dei personaggi (accessori, vestiario, caschi e copricapi, ecc.). Al link <https://www.ea.com/frostbite/news/photogrammetry-and-star-wars-battlefront> è possibile accedere alla presentazione di Andrew Hamilton e Ken Brown di DICE al GDC 2016.
- ¹⁷ Ne sono un esempio gli strumenti *Alignment report* e *Inspection tool* all'interno del software Reality Capture. Il primo consente di valutare l'accuratezza dell'allineamento attraverso l'analisi di alcuni valori come *Average track length*, che indica in quante immagini (in media) compare un punto della *sparse cloud* (più il valore è alto più la scena è interconnessa), o *Maximal/Median/Mean error* (pixel) che indicano rispettivamente gli errori puntiformi massimi/mediani/medi della scena. Il secondo invece consente di analizzare visualmente le connessioni tra le camere e la scena (identificate da linee colorate secondo una scala dal blu al rosso in base alle loro connessioni), consentendo di valutare la “qualità” dell'allineamento tra le camere e l'eventuale necessità di integrazione di fotografie o di un affinamento delle connessioni mediante l'utilizzo di *Control points*.
- ¹⁸ Le mesh triangolari e quadrangolari rappresentano le tipologie di mesh più diffuse e presentano differenze sostanziali riguardo il tempo di calcolo. Le mesh triangolari sono costituite da triangoli che, essendo sempre planari e convessi, semplificano il calcolo del vettore normale alla superficie, fondamentale durante i calcoli relativi all'interazione tra luce e oggetto, del colore e delle ombre. Inoltre, l'algoritmo di rasterizzazione dei triangoli è veloce ed eseguito direttamente via hardware. In contrasto, il quadrilatero non essendo sempre né planare né convesso, rende meno immediati i calcoli e di conseguenza, anche la rasterizzazione a video richiede più tempo. In ogni caso, le schede grafiche sono in grado di processare esclusivamente triangoli e pertanto qualunque mesh per poter essere rasterizzata a video deve essere convertita in un insieme di triangoli.
- ¹⁹ Botsch, M., Kobbelt, L., Pauly, M., Alliez, P., Lévy, B. (2010), pag. 133.
- ²⁰ Anche se comunemente chiamato “LOD” quando si parla di quantità

- di dato geometrico in un modello ci si riferisce al “LOG”, ovvero “Level of Geometry”.
- ²¹ Apollonio, F. I. et al. (2021).
- ²² *Ibidem*.
- ²³ Cignoni, P., Montani, C., Scopigno, R. (1998).
- ²⁴ Vedasi il paragrafo sull’*UV Mapping*.
- ²⁵ Botsch, M., Kobbelt, L., Pauly, M., Alliez, P., Lévy, B. (2010), pag. 85.
- ²⁶ Bommes, D., Zimmer, H., Kobbelt, L. (2009); Bommes, D. et al. (2013).
- ²⁷ Instant Meshes è un tool gratuito rilasciato su GitHub (<https://github.com/wjakob/instant-meshes>) che crea automaticamente il *retopology* di un modello 3D. È stato sviluppato come parte della pubblicazione: Jakob, W., Tarini, M., Panozzo, D., Sorkine-Hornung, O. (2015).
- ²⁸ Nonostante il processo di *retopology* in sé sia finalizzato all’ottimizzazione del numero dei poligoni, è consigliabile eseguire una decimazione preventiva della mesh per rendere il modello facilmente importabile, gestibile e manipolabile all’interno di software di computer grafica.
- ²⁹ U e V si riferiscono agli assi orizzontale e verticale dello spazio 2D di sviluppo della texture, poiché X, Y e Z sono già utilizzati nello spazio 3D.
- ³⁰ La distorsione in termini di una mappa UV indica quanto la forma e la dimensione dei poligoni sono dovuti cambiare per adattarsi al processo di appiattimento. Troppa distorsione influenzerà il modo in cui i dettagli vengono visualizzati sul modello finale. Un maggior numero di *seams* e *islands* minimizzano le distorsioni dei poligoni ma potrebbero condizionare la resa finale e rendere più difficoltosa l’applicazione di texture.
- ³¹ Merlo, A., et al (2013a).
- ³² <https://pixologic.com/zbrush/features/UV-Master/>
- ³³ Cohen, J., Olano, M., Manocha, D. (1998); Merlo, A. et al. (2013b); Apollonio, F. I. et al. (2021).
- ³⁴ Acke, L., De Vis, K., Verwulgen, S., Verlinden, J. (2020).
- ³⁵ Gruen, A., Remondino, F., Zhang, L. (2004). Photogrammetric Reconstruction of the Great Buddha of Bamiyan, Afghanistan. *The Photogrammetric Record*, 19 (107), pp.177-199.
- ³⁶ Arbace, L., Sonnino, E., Callieri, M., Dellepiane, M., Fabbri, M., Idelson, A., Scopigno, R. (2013). Innovative uses of 3D digital technologies to assist the restoration of a fragment terracotta statue. *Journal of Cultural Heritage*. 14. 332–345. 10.1016/j.culher.2012.06.008.
- ³⁷ Weigert, A., Dhanda, A., Cano, J., Bayod, C., Fai, S., Santana Quintero, M. (2019). A review of recording technologies for digital fabrication in Heritage Conservation. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W9, 773-778.
- ³⁸ Ne è un esempio il progetto europeo “DIPOT: Digital depot” (<https://dipot.altervista.org/>). Il progetto ha l’obiettivo di rendere accessibili le collezioni all’interno dei depositi dei musei attraverso la loro replica in 3D e la creazione di uno spazio virtuale fruibile mediante VR
- ³⁹ D’Agnano, F., Balletti, C., Guerra, F., Vernier, P. (2015). Tooteko: a case study of Augmented Reality for an accessible Cultural Heritage. Digitization, 3d printing and sensors for an audio-tactile experience. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-5/W4, 207–213.
- ⁴⁰ Emler, T., Caldarone, A., D’angelo, E. (2021). Una Roma in cui giocare: ricostruzioni 3D e serious game dalla pianta del Nolli. In A. Arena, M. Arena, D. Mediatì, P. Raffa (a cura di) Atti del convegno *UID 2021, CONNETTERE – un disegno per annodare le tessere*, pp. 680-699, Milano: Franco Angeli.
- ⁴¹ Apollonio, F. I., Basilissi, V., Callieri, M., Dellepiane, M., Gaiani, M., Ponchio, F., Rizzo, F., Rubino, A. R., Scopigno, R., Sobra’, G. (2019). A 3D-centered information system for the documentation of a complex restoration intervention. *Journal of Cultural Heritage*, 29, 89-99.

CAPITOLO 7

AMBIENTI IMMERSIVI PER LA CONOSCENZA E LA COMUNICAZIONE DEL PATRIMONIO CULTURALE

Come abbiamo visto gli ambienti virtuali immersivi ci consentono di esplorare uno spazio tridimensionale ed interagire con oggetti e manufatti ricostruiti, scenari architettonici o paesaggistici. Oltre che fornire all'utente nuove possibilità di conoscenza e fruizione del bene, questo consente di farne un'esperienza più diretta e di accrescere di conseguenza le sue possibilità cognitive e di apprendimento. All'interno del settore dei beni culturali inizialmente l'aspetto innovativo e tecnico ha preso il sopravvento sul ruolo comunicativo e divulgativo di tali applicazioni ed i contenuti culturali hanno spesso ricoperto un ruolo di secondo piano rispetto alla tecnologia. Il prodotto finale, di alto valore tecnico ed informatico, era quindi più finalizzato alla promozione della tecnologia stessa che alla valorizzazione del bene culturale, sfruttato più in una prospettiva utilitaristica. Con il passare del tempo e con lo sviluppo di linee guida e direttive in materia, si è assistito ad una crescente attenzione verso la qualità e la scientificità dei contenuti e alla interdipendenza sempre più stretta fra il settore culturale e il settore tecnologico ed informatico, divenuto oggi centrale sia per la ricerca umanistica e scientifica che per la valorizzazione e la comunicazione dei beni culturali. La tesi ha l'obiettivo di sviluppare una riflessione sul ruolo delle rappresentazioni digitali per la comunicazione del patrimonio culturale e sulle modalità con cui i dati derivanti dal rilievo digitale possono essere rielaborati per la produzione di contenuti di scenari virtuali immersivi.

Attraverso la definizione di strategie di valorizzazione applicate al caso studio della cupola emisferica della Sagrestia Vecchia di San Lorenzo, l'obiettivo della tesi è quello di fornire una *pipeline* metodologica che evidenzia gli aspetti che entrano in gioco nella realizzazione di ambientazioni virtuali di complessi ad elevato valore patrimoniale: elaborazione di contenuti digitali, hardware e software, strategie di comunicazione, modalità di interazione ed infine l'identificazione e il ruolo dell'utente. In particolare, focalizza l'attenzione su due problemi centrali: come sfruttare il database del rilievo per la creazione di uno spazio immersivo, come caratterizzare questo spazio e come comunicarlo attraverso le tecnologie digitali e lo sfruttamento di tecniche di animazione.

Nella realizzazione di un progetto di comunicazione virtuale la buona riuscita è dipendente dalla definizione di una strategia chiara, nella quale l'obiettivo, il pubblico e le modalità di restituzione delle informazioni sono stabilite e realizzate attraverso un'accurata progettazione. Questo presuppone la collaborazione tra professionisti provenienti da differenti settori, che, a fianco delle figure preposte a garantire la scientificità dei contenuti, si occupino di realizzare e sviluppare i molteplici aspetti che entrano in gioco: dalla progettazione di strategie narrative (*Storytelling* e *Communication Designer*), alla creazione di contenuti grafici, di modalità di interazione e di animazione (*Interaction Designer*, *UX/UI Designer*, *Character Animator*, ecc.), fino alla fase di sviluppo

FIG. 7.1. Ingrandimento della texture di sfondo della cupola..

informatico (programmatore). Data la necessità di un team di redazione e di supporto tecnico dedicato, in questa sede non verranno affrontate questioni tecniche relative alla costruzione informatica o alla progettazione tecnica delle meccaniche interattive dell'applicazione ma verrà tracciato un percorso di sviluppo ed una possibile rielaborazione del *corpus* documentario del rilievo applicato alla valorizzazione del patrimonio, che non si limiti ad una semplice riproposizione del modello 3D in ambiente virtuale ma che sfrutti le caratteristiche dell'oggetto esaminato per definire una strategia di comunicazione *ad hoc*.

7.1. IL CONCETTO DI “IMMERSIVITÀ”

L'esperienza di essere trasportati in un luogo simulato viene definita come “immersione”. Il termine metaforico “immersione” deriva direttamente dall'esperienza fisica di essere immersi nell'acqua, di essere perciò circondati da una realtà diversa da quella abituale che si impadronisce del nostro intero apparato percettivo¹. Da questo ne deriva uno dei caratteri fondanti degli ambienti immersivi, ovvero la loro capacità di isolare ermeticamente l'osservatore dalle impressioni visive esterne e di proporre l'immagine osservata come fonte del reale². Pertanto, in un mezzo partecipativo, scrive Janet Murray, «*immersion implies learning to swim, to do the things that the new environment makes possible*»³.

Creare un mondo artificiale presuppone quindi la saturazione dello spazio o del campo visivo dell'osservatore (fig. 7.2.) al fine di proporre il nuovo ambiente come completa alternativa alla realtà, dando all'utente la possibilità di “fondersi” con il medium⁴ e di sperimentare effetti di coinvolgimento sensoriale. Lo spazio non è più quindi delimitato da una cornice, come lo è nel trompe l'oeil, nel teatro o nella televisione, ma al contrario di questi, lascia

entrare l'osservatore dissolvendo il limite tangibile tra realtà e rappresentazione⁵.

Con il crescente impiego di tecnologie per la creazione di spazi virtuali immersivi all'interno del settore del *Cultural Heritage* la Commissione Tecnologie Digitali per il Patrimonio Culturale di ICOM ha ritenuto necessaria la pubblicazione nel 2020 di un glossario “Digitale e Tecnologie” con lo scopo di raccogliere, in forma divulgativa, le definizioni dei termini di riferimento che riguardano digitale e museo. Nel documento, “immersione” viene definita come «una combinazione di più stati, ovvero di “essere nel flusso” (essere molto concentrati), avvertire un senso di *presence* (la sensazione di essere in un altro luogo), di *embodiment* (di sentirsi coinvolti con tutti i sensi), di interattività (la possibilità di muoversi e di agire in uno spazio e di ricoprire dei ruoli) e di *transportation* (di sentirsi parte di una storia)»⁶. Ovviamente per raggiungere questo risultato l'apparato tecnologico deve essere talmente poco “invasivo” da risultare impercettibile al fruitore. Questa dissolvenza del medium è ciò che genera il senso di “presenza”, definito da Matthew Lombard e Theresa Ditton come “illusione percettiva di non-mediazione”⁷, la quale si verifica quando il medium utilizzato in un determinato ambiente di comunicazione non viene percepito dall'utente che invece si comporta come se questo non fosse presente. Il senso di presenza, che Eugene Ch'ng riconosce come il prodotto delle “3 I”⁸ della VR (immersione, interazione e immaginazione), può essere definito come la sensazione dell'utente di “essere nella realtà” provocata dall'immersione totale in un ambiente virtuale. Grazie a questa egli può sperimentare quella che Coleridge nella sua *Biographia Literaria* definisce la «sospensione dell'incredulità»⁹, ovvero la scelta del lettore di sospendere il dubbio e fare esperienza della scena narrata come se fosse reale. Nel 2004 Kwan Min Lee¹⁰ ha proposto una suddivisione della “presenza” in tre sottocategorie principali:

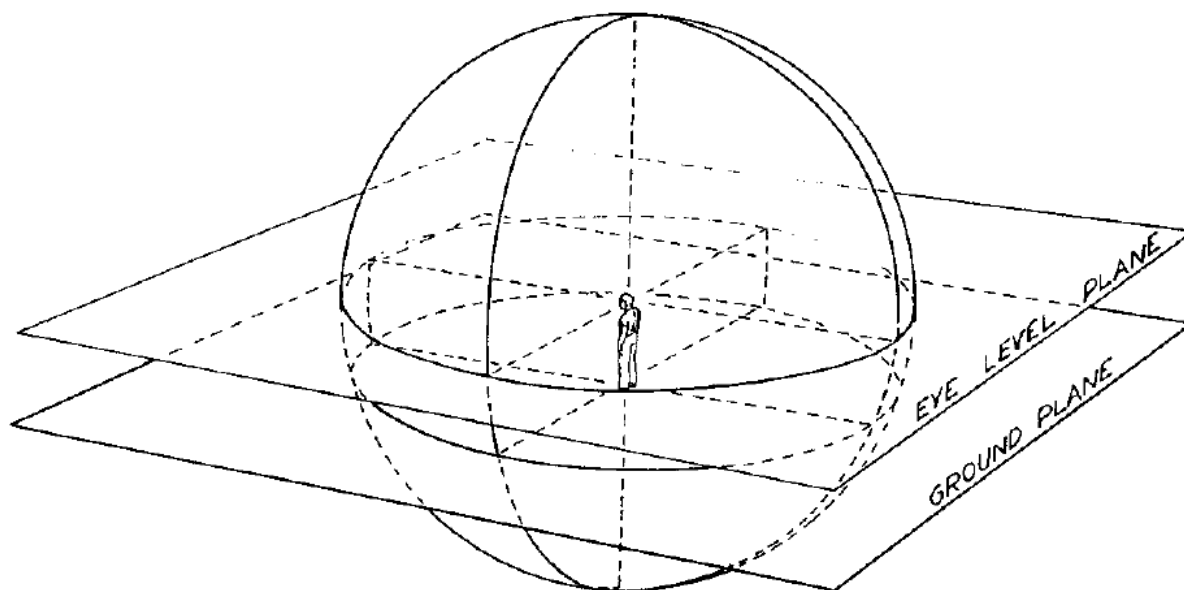


FIG. 7.2. "Spherical Field of Vision", disegno di John Boone. [Grau (2003), p.14].

fisica (*Physical presence*), personale (*Self-presence*) e sociale (*Social presence*). La presenza fisica si verifica quando l'utente si trova in uno stato psicologico nel quale fa esperienza degli oggetti nel mondo virtuale come se fossero reali. La presenza personale indica la percezione dell'utente di "esistere" all'interno di un mondo virtuale, concetto indissolubilmente legato a quello di *embodiment*¹¹. Infine, la presenza sociale si verifica quando «coinvolge invece l'interattività nel mondo virtuale con altre entità, siano esse simulate o reali»¹².

Come afferma Antinucci, solo garantendo il senso di "presenza" «possiamo dire che la percezione viene ingannata»¹³, dando al fruitore l'impressione che la sua azione si svolga come se stesse agendo «nella realtà e non lavorando attraverso uno strumento»¹⁴. Risulta perciò necessario che la fruizione e l'interazione con lo spazio virtuale sia il più "naturale" possibile. La bassa latenza¹⁵ della soluzione tecnologica è infatti

uno dei requisiti fondamentali al fine di garantire il senso di 'presenza'. Lo spostamento, la visione e la risposta dell'ambiente simulato deve rapidamente adattarsi ai più impercettibili movimenti e azioni del fruitore affinché quest'ultimo non sperimenti condizioni di *motion sickness* o, come la definiscono Davis et al., *cybersickness*.¹⁶

I primi sistemi analogici immersivi, come il panorama di Robert Baker o lo stereoscopio, sono stati con il tempo rimpiazzati da sistemi digitali che consentono un'immersione sempre più marcata. Da un lato si sono evoluti nei moderni sistemi di *Dome Projection* che, consentendo la copertura di un campo visivo molto più ampio, sono considerati come "spazi visivi senza cornice"¹⁷, e dall'altro nei sistemi di Realtà Virtuale (VR), che attraverso la mediazione di un HMD consentono l'ingresso e l'interazione in un mondo completamente artificiale.



FIG. 7.3. Il logo realizzato per il progetto di fruizione virtuale della cupola (vedi paragrafo 7.3.1.).

7.2. IL PROGETTO COSMO

La cupola emisferica nella scarsella rappresenta un'opera di grande interesse artistico e scientifico e un *unicum* nel panorama dell'arte e della scienza rinascimentale italiana. La sua unicità è dovuta sia all'oggetto stesso della rappresentazione (cartografia celeste in contesto sacro)¹⁸ e alla enigmatica duplicazione nella Cappella Pazzi, sia a causa dei dubbi riguardo l'attribuzione, la datazione astronomica e il relativo significato. Ad oggi, nonostante ci siano delle interpretazioni accettate unanimemente dagli storici, rappresentano ancora delle questioni aperte, sulle quali moltissimi studiosi e ricercatori si sono cimentati e continuano a farlo tuttora, a partire dai primi studi di Aby Warburg¹⁹ ad inizio del XX secolo fino agli ultimi di Giangiorgio Gandolfi²⁰.

Attualmente la cupola è visibile da chiunque durante gli orari di apertura del complesso, ma la visita non è supportata da nessun tipo di informazione esplicativa, fisica o digitale, e la possibilità di approfondimento è demandata al singolo utente attraverso una ricerca autonoma e di conseguenza possibilmente incompleta. Inoltre, l'avvicinamento massimo consentito fino alla balaustra della scarsella compromette la visione della parte posizionata verso nord, che risulta essere quasi in scorcio totale rispetto alla visione dell'osservatore. Crearne una replica digitale consente quindi di innescare un processo di

fruizione non possibile altrimenti, che consente non solo di osservare il 100% della superficie affrescata ma anche di apprezzarla da una distanza ravvicinata, con la possibilità di effettuare considerazioni a fini di ricerca direttamente sull'oggetto di studio o di fruire eventuali informazioni e contenuti multimediali connessi.

Per queste motivazioni, in seguito ai primi studi preliminari sono stati ipotizzati due filoni di applicazioni che vedono l'integrazione tra ICT immersive e Beni Culturali:

- **Modalità di ricerca smart all'interno di un Virtual Workspace.** La collaborazione digitale basata sulla realtà virtuale è una modalità di lavoro interattiva che offre ai team decentrati l'opportunità di comunicare, interagire ed entrare in relazione con le persone in uno spazio virtuale condiviso²¹. Questa modalità di lavoro ha acquisito particolare risalto durante la pandemia Covid-19 durante la quale il lavoro è diventato *smart*, quindi svolto in remoto da casa, e grazie all'applicazione della VR ha anche la possibilità di diventare *virtual*. La creazione di un ambiente virtuale di studio direttamente all'interno della cupola consentirebbe ai ricercatori di effettuare osservazioni, valutazioni, misurazioni e confronti direttamente sull'oggetto in maniera più intuitiva, altrimenti possibili solo previa autorizzazione

e in seguito all'allestimento di ponteggi ed impalcature, che, oltre a precludere la vista del manufatto ai visitatori e ad aumentare il rischio di danneggiamento, rappresentano una spesa non indifferente in relazione alla possibilità di fruire l'opera esclusivamente durante la loro installazione. Grazie alla creazione di uno spazio virtuale il manufatto è disponibile per un periodo di tempo indeterminato e si configura come un vero e proprio database all'interno del quale le ricerche possono essere svolte contemporaneamente dai gruppi di lavoro, depositate, condivise e visualizzate.

- **La fruizione virtuale per la comunicazione del patrimonio.** Il *corpus* documentario acquisito, attraverso una sua rielaborazione, può essere impiegato per la creazione di uno scenario virtuale in grado di esporre e narrare al visitatore il manufatto. L'ambiente può essere riproposto virtualmente attraverso modalità interattive o installazioni multimediali emozionali, che attraverso strategie di *storytelling* consentono un forte coinvolgimento dello spettatore. La grafica immersiva si trova ora anche ad affrontare nuove sfide, che cercano di mescolare sempre più tecnologia, arte e cultura in esperienze sensoriali coinvolgenti emozionali. Dal punto di vista comunicativo i vantaggi sono evidenti: un manufatto fortemente simbolico e caratterizzato

da più livelli di lettura come quello della cupola affrescata della Sagrestia Vecchia può essere resa e comunicata in modo più immediato attraverso una ricostruzione virtuale, possibilmente interattiva o animata, che mediante una descrizione scritta o una rappresentazione statica.

In particolare, la tesi focalizza l'attenzione su questo ultimo output proponendo la strutturazione di un'esperienza di comunicazione virtuale all'interno di un ambiente immersivo che consenta all'utente di conoscere gli elementi che compongono l'affresco. Il progetto di valorizzazione, affrontato nei paragrafi successivi, è stato ideato per essere un'esperienza multisensoriale immersiva, nella quale l'utente compie un percorso alla scoperta della raffigurazione celeste della cupola emisferica della scarsella nella Sagrestia Vecchia. Nello scenario di un cielo virtuale, attentamente ricostruito grazie alla scomposizione dell'affresco, prende vita un racconto che intreccia le componenti di geografia astronomica, l'impianto figurativo e la mitologia delle costellazioni presenti. Lo scenario virtuale diventa quindi un ambiente capace di comunicare la molteplicità dei contenuti custoditi all'interno della raffigurazione e di renderli fruibili mediante una modalità emozionale capace di creare curiosità e sorpresa nel visitatore. Infine, il progetto è stato strutturato e calibrato sulla base di due differenti tipologie di fruizione: mediante sistemi di VR e mediante proiezione digitale *fulldome*

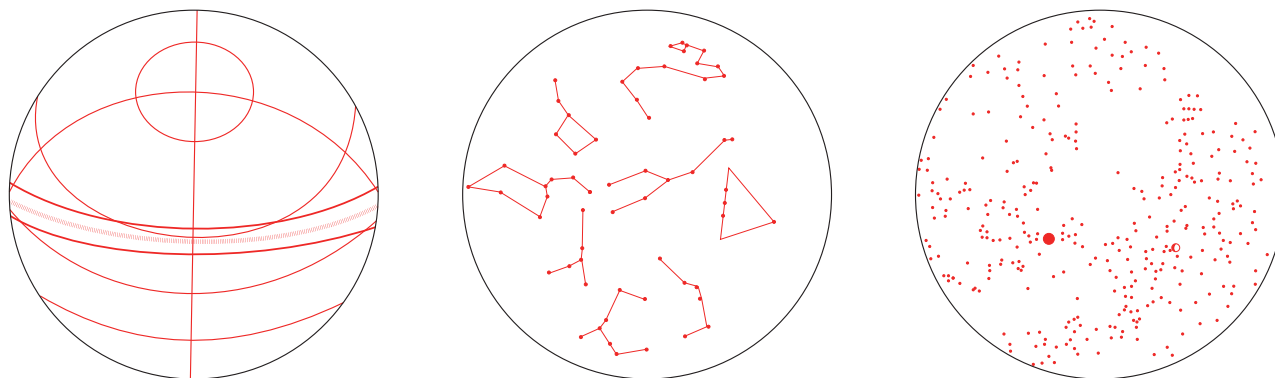


FIG. 7.4. Oltre al livello di sfondo sono stati creati i 3 layer schematizzati nell'immagine: le griglie di riferimento astronomiche, le costellazioni e i corpi celesti.

in planetario.

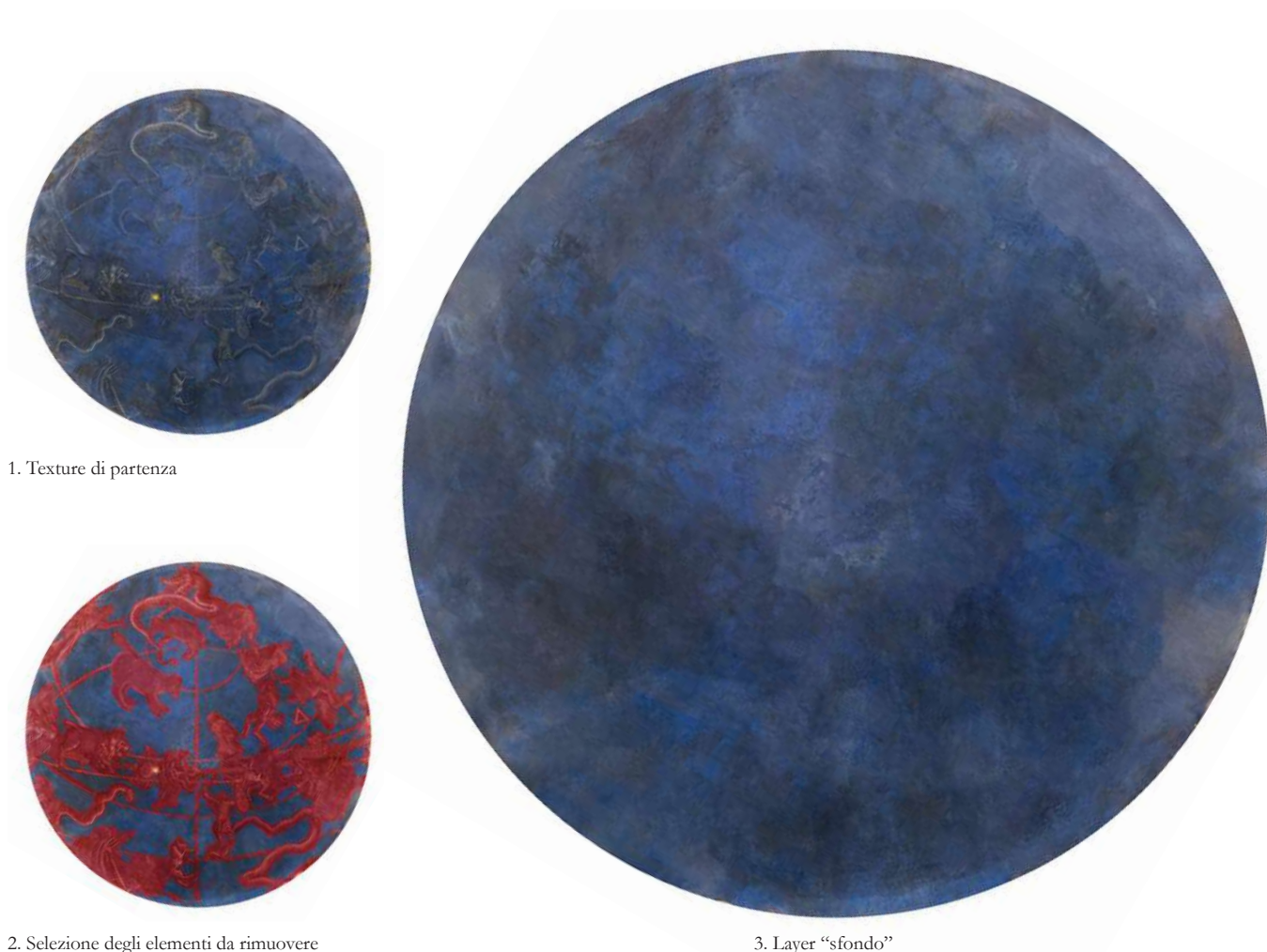
La fruizione virtuale proposta non vuole sostituirsi alla visita fisica ma, attraverso una restituzione alternativa dell'affresco, integrarla e/o estenderla fornendo all'utente l'opportunità di conoscere tematiche attraverso una forma di apprendimento multisensoriale. Le tecnologia digitale non rappresenta pertanto il fine ultimo del progetto, ma uno strumento versatile capace di rendere visibili i nessi tra i contenuti del dipinto, altrimenti impossibili da restituire, e di aprire nuove possibilità narrative.

Il capitolo descrive pertanto le fasi necessarie alla realizzazione del progetto di fruizione virtuale del cielo affrescato, affrontando la fase di scomposizione e catalogazione degli elementi dell'affresco, lo sviluppo e la composizione dello scenario virtuale immersivo. Infine, nel paragrafo successivo si analizzano le due possibilità di fruizione individuate e gli ulteriori step necessari: le componenti di *user experience* e interazione previste e l'interfaccia grafica di avvio per l'applicazione VR e la conversione di uno spazio virtuale tridimensionale in un prodotto da impiegare nelle proiezioni *fulldome*.

7.2.1. La scomposizione dei temi del dipinto

Una delle questioni cardine è stata quella di identificare e catalogare i simboli e gli elementi che compongono l'affresco, al fine di realizzare il corpus di tematiche da inserire all'interno del progetto di fruizione virtuale. Il dipinto è una vera e propria rappresentazione scientifica, pertanto, assieme alla figurazione delle costellazioni, presenta gli astri celesti e riferimenti astronomici. La suddivisione è stata operata secondo quattro livelli differenti: sfondo, griglie di riferimento, corpi celesti, figure delle costellazioni (fig. 7.4.). Il processo di *unwrapping* realizzato sul modello, discusso in precedenza, ha consentito di ottenere una mappa UV adeguata a effettuare la manipolazione della texture mediante software di computer grafica 2D evitando la formazione di discontinuità che ne avrebbero compromesso la resa estetica. Tale scomposizione è stata finalizzata all'ottenimento di elementi singoli da impiegare per la realizzazione dello sfondo, delle animazioni, delle comparse e dissolvenze all'interno dell'applicazione.

Di seguito si riportano le tematiche e gli elementi che caratterizzano il dipinto:



1. Texture di partenza

2. Selezione degli elementi da rimuovere

3. Layer "sfondo"

FIG. 7.5. Procedimento per la creazione del livello di sfondo. Il procedimento di *unwrapping* realizzato sul modello fotogrammetrico SfM ha consentito l'esportazione di una texture formata da una unica *island*, permettendone così una agevole manipolazione mediante il software di fotoritocco digitale Adobe Photoshop.

I riferimenti astronomici

- Eclittica

Rappresenta il percorso apparente descritto dal Sole in un anno sulla sfera celeste. Nel dipinto è identificata da un sistema reticolare che ne evidenzia la scomposizione in gradi. Ogni suddivisione rappresenta un grado.

- Cintura zodiacale

La cintura zodiacale è una porzione della volta celeste larga 18° e che si estende per 9° da entrambi i lati dell'eclittica. Nel dipinto è delimitata dalle due doppie linee continue immediatamente ai lati dell'eclittica. La fascia zodiacale presenta inoltre la suddivisione tropicale di cui sono visibili 6 parti, dell'ampiezza di 30° ognuna, che rappresentano i rispettivi sei segni zodiacali.

- Equatore celeste

Corrisponde al cerchio massimo generato tra l'intersezione tra la sfera celeste e il piano dell'equatore terrestre. Nel dipinto è rappresentato dalla linea continua passante per il centro della costellazione di Orione. La linea non risulta più visibile una volta intersecata la fascia zodiacale.

- Coluro equinoziale

Cerchio massimo passante per i poli e per i punti equinoziali.

- Coluro solstiziale

Cerchio massimo passante per i poli e per il punto occupato dal Sole nel solstizio estivo.

- Tropico del Cancro

Parallelo della sfera celeste situato nell'emisfero boreale che segna la declinazione estrema (+23°27') che il Sole raggiunge durante il solstizio d'estate. Nel dipinto è visibile solamente nei punti in cui interseca il coluro equinoziale.

- Tropico del Capricorno

Parallelo della sfera celeste situato nell'emisfero australe che segna la declinazione estrema (-23°27') che il Sole raggiunge durante il solstizio d'inverno. Nel dipinto ne è visibile solamente una piccola porzione in corrispondenza della costellazione del cane maggiore.

- Circolo polare celeste

La proiezione sulla sfera celeste del circolo polare artico. Nel dipinto è completamente visibile ed è collocato nei pressi dell'Orsa Minore.

Gli astri²²

- Sole

Il Sole è disegnato come il più grande cerchio dorato del dipinto ed è collocato tra le costellazioni del Cancro e dei Gemelli.

- Luna

La Luna, calante, è collocata nella costellazione del Toro, e risulta visibile solo per un quarto della sua superficie. Nella restante è rappresentata come un cerchio nero.

- Corpi celesti (pianeti, stelle, ecc.)

Le Costellazioni

- Andromeda (*Andromeda*)

Figlia di Cefeo e Cassiopea. Condannata ad spiare la vanità della madre viene offerta in sacrificio ad un mostro marino. Nell'opera pittorica, Andromeda è raffigurata come figura femminile intera, stante, in abito elegante, con diadema fra i capelli. Si intravedono le catene con le quali è stata legata.

- Ariete (*Aries*)

La costellazione, rappresentata per intero con lo sguardo diretto verso le sue spalle, evoca il noto ariete dal vello d'oro.

- Auriga (*Auriga*)

Rappresentato come figura maschile intera, porta con sé tre caprette (tre stelle della costellazione). Due sono tenute da lui con la mano sinistra, mentre una, sulla sua spalla, rappresenta Capella.

- Balena (*Cetus*)



1. Andromeda



2. Ariete



3. Auriga



4. Balena



5. Boote



6. Cancro



7. Cane Maggiore



8. Cane Minore

Rappresenta il mostro marino a cui viene data in sacrificio Andromeda. Nell'opera se ne vede solo una parte e viene dipinto come un mostro composto con le fauci spalancate, le squame sul dorso e un muso a punta.

- Boote (*Boötes*)

Si trova immediatamente alle spalle dell'Orsa ed è raffigurato come una figura intera maschile con un braccio sollevato.

- Cancro (*Cancer*)

Figura collocata a fianco del Sole, lungo l'eclittica. Viene rappresentato come un granchio.

- Cane Maggiore (*Canis Major*)

Rappresenta il cane da caccia di Orione. È raffigurato con le fauci spalancate e un collare.

- Cane Minore (*Canis Minor*)

La figura del piccolo cane è collocato immediatamente sotto la costellazione dei Gemelli.

- Cassiopea (*Cassiopeia*)

Madre di Andromeda e moglie di Cefeo. Rappresentata seduta sul trono con vesti lunghe e braccia aperte, mentre guarda verso Andromeda.

- Cefeo (*Cepheus*)

Padre di Andromeda e marito di Cassiopea. La testa non è più visibile. Viene raffigurato mentre stringe nella mano destra uno scettro e nella sinistra un globo.

- Cratere (*Crater*)

Rappresentato dalla coppa posizionata



9. Cassiopea



10. Cefeo



11. Cratere



12. Drago



13. Eridano



14. Gemelli



15. Idra



16. Leone

sulla raffigurazione dell'Idra. È posizionato immediatamente sopra il cordone, infatti, non risulta interamente visibile.

- Drago (*Draco*)

Raffigurato come un mostro composto dai tratti simili a quelli di Balena. Rispetto a quest'ultimo presenta un corpo di serpente e delle orecchie di cane a punta.

- Eridano (*Eridanus*)

Eridano rappresenta il fiume omonimo della mitologia greca, nel quale precipitò Fetonte. Si sviluppa su una grande porzione della cupola tra le costellazioni di Orione (da cui ha inizio), della Balena e della Lepre.

- Gemelli (*Gemini*)

La raffigurazione dei gemelli non segue quella più

diffusa nei globi celesti (due figure maschili nude ed in piedi) ma sono rappresentati seduti e vestiti. Come fa notare Wasserman²³, uno può essere identificato come Ercole, grazie alla pelle di leone sul suo grembo, e l'altro come suo fratellastro Apollo, ipotizzando che il pittore si sia ispirato ad un particolare globo celeste per la realizzazione del disegno.

- Idra (*Hydra*)

Nonostante la rappresentazione più diffusa prevede un mostro policefalo, la costellazione dell'Idra è comunemente, come in questo caso, rappresentata come un serpente d'acqua ad una sola testa.

- Leone (*Leo*)

La figura del leone è collocata lungo l'eclittica e ritrae l'animale per intero.



17. Lepre



18. Orione



19. Orsa Maggiore



20. Orsa Minore



21. Perseo



22. Pesci



23. Poppa



8. Toro

- Lepre (*Lepus*)
Raffigurata in maniera abbastanza caratteristica, è collocata ai piedi di Orione.
- Orione (*Orion*)
Figura di uomo vestita di un'armatura, con una mazza nella mano destra, una pelle di leone nella sinistra e una spada alla cintura.
- Orsa Maggiore (*Ursa Major*)
Rappresentata in maniera classica come una figura intera di orso.
- Orsa Minore (*Ursa Minor*)
Di dimensioni minori rispetto all'Orsa Maggiore e collocata all'interno del circolo polare.
- Perseo (*Perseus*)

Figura intera di uomo vestito con una pesante armatura. Porta con se una spada ricurva che tiene alta sopra il capo e la testa di Medusa nella mano sinistra. Indossa un elmo, conosciuto come kunée, ovvero un copricapo magico presente nella mitologia greca in grado di rendere invisibile chiunque lo indossi. Lo aiutò a sconfiggere Medusa.

- Pesci (*Pisces*)
Nella cupola è rappresentata solo metà della figura dei Pesci. È visibile solamente uno dei due e il nastro che lo lega all'altro pesce.
- Poppa (*Puppis*)
Visibile solo in parte e collocata sull'orizzonte celeste.
- Toro (*Taurus*)



23. Triangolo



24. Vergine

La figura è rappresentata solamente per la sua metà anteriore.

- Triangolo (*Triangulum*)

Figura geometrica collocata tra Andromeda e l'Ariete.

- Vergine (*Virgo*)

Rappresentata come una fanciulla alata, è collocata lungo l'eclittica e sull'orizzonte astronomico.

Al fine di realizzare le animazioni dei personaggi rappresentati nella volta è stato necessario convertirli in immagine piana. Questo ha consentito di eseguire la post-produzione e la scomposizione in parti per la conseguente applicazione di *nodes* e *bones* per consentirne il movimento. In seguito ad un'analisi delle varie possibilità, l'estrazione delle immagini delle costellazioni è stata eseguita mediante la renderizzazione di immagini ortografiche all'interno del software Blender. Questo procedimento ha garantito il mantenimento del centro di proiezione (centro della camera) coincidente con il punto di vista dell'osservatore e, di volta in volta, perpendicolare al baricentro dell'immagine. Questa scelta è stata dettata dalla volontà di limitare le distorsioni visive della figura e dalla necessità di riposizionare il personaggio il più possibile in coincidenza con quello originario. Altri metodi, come lo svolgimento di porzioni della mesh

o l'esportazione di immagini ortografiche all'interno di un software *SfM* come Reality Capture, avrebbero, da un lato, provocato distorsioni dell'immagine originaria e dall'altro non avrebbero dato modo di assicurare il corretto orientamento della *Reconstruction Region*²⁴ rispetto al centro della cupola, producendo così un risultato finale poco coerente con lo scopo del progetto.

Al fine di evidenziare i nessi tra le figure rappresentate e valutare la possibilità di inserire la tematica della mitologia all'interno dei contenuti del progetto di virtualizzazione, è stata realizzato un loro ulteriore raggruppamento all'interno di 9 racconti derivanti dalla mitologia greca ed estrapolati dall'opera di Igino "Mitologia Astrale":

- Il mito di Andromeda (Andromeda, Perseo, Balena, Cassiopea, Cefeo)
- La ninfa Callisto (Orsa Maggiore, Orsa Minore, Boote)
- Il gigante Orione (Orione, Cane Maggiore, Cane Minore, Lepre)
- La caduta di Fetonte (Eridano, Sole, Eclittica)
- Il rapimento di Europa (Toro)
- Le fatiche di Ercole (Leone, Idra, Drago, Cancro)
- La lettera Divina (Triangolo)
- La ricerca del Vello d'oro (Ariete, Poppa, Gemelli)
- La dea della fertilità (Vergine)

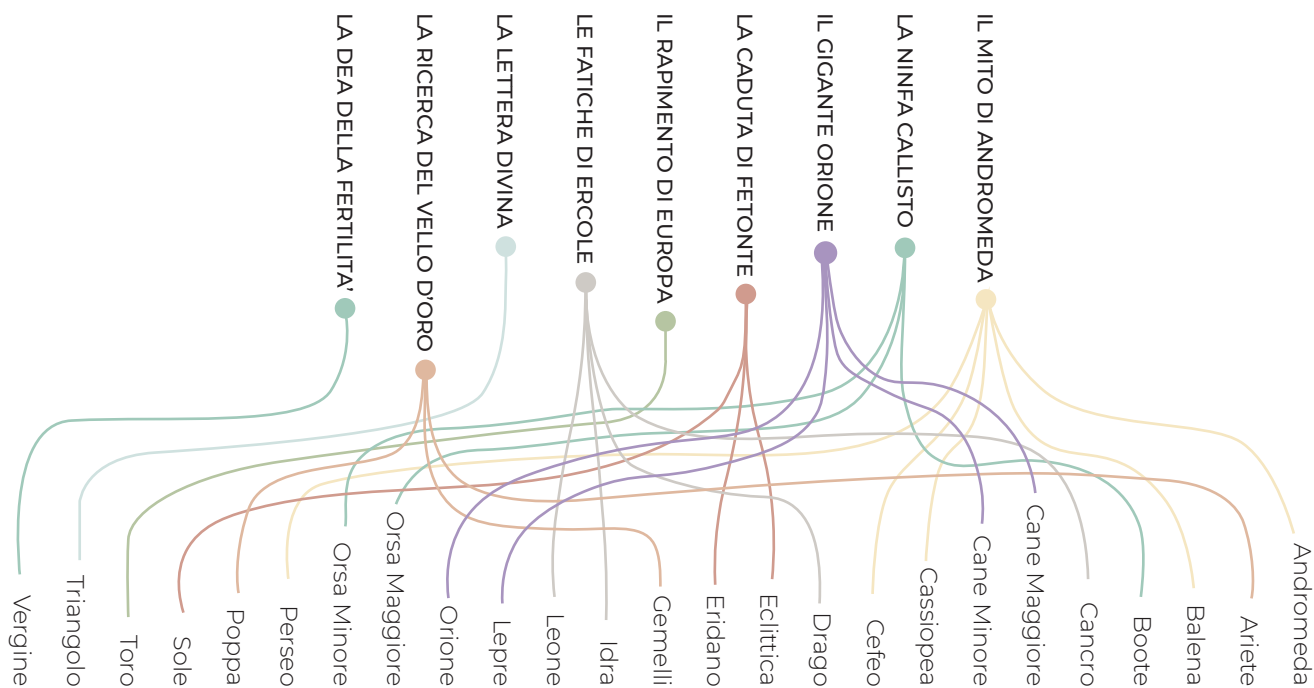


FIG. 7.6. Schema collegamento tra costellazioni e mitologia.

7.2.2. La creazione delle animazioni per il popolamento dello scenario

Prima di procedere alla vera e propria realizzazione dello scenario virtuale è necessario predisporre tutti i diversi elementi che lo compongono. Per gli elementi statici come le linee di riferimento e le stelle è sufficiente scorporarle e creare un “layer” dedicato mentre per le costellazioni è necessario operare una scomposizione ulteriore per consentirne l’animazione. L’animazione è stata scelta come tecnica da impiegare all’interno del progetto per due motivazioni principali. La prima riguarda la necessità di adottare delle forme di comunicazione che consentano di creare curiosità nell’utente, incoraggiare l’esplorazione dell’ambiente e fornire un’esperienza educativa più piacevole. In secondo luogo, aiutano a supportare il racconto e a identificare in maniera più diretta i diversi elementi che compongono le figure (armi, vesti, catene, ecc.) e

le azioni rappresentate nel disegno.

La tipologia di animazione scelta per il progetto è chiamata tradizionalmente *Cut-Out Animation*, e deriva dalla tecnica di animazione che utilizzava il movimento di ritagli di carta per fornire l’illusione del movimento²⁵. Questo tipo di animazione 2D consente di utilizzare direttamente il disegno del dipinto senza dover ricreare manualmente i diversi frame dell’animazione e di conseguenza sostituire completamente l’immagine originale. Ne è un esempio l’esperienza immersiva realizzata dal Google Cultural Institute e il Royal Museums of Fine Arts of Belgium che, attraverso l’utilizzo di Google Carboard, consente all’utente di immergersi all’interno del quadro animato di Bruegel *The Fall of the Rebel Angels* (1562)²⁶, permettendo all’utente di apprendere la complessità della raffigurazione e di soffermarsi sui vari personaggi presenti.

Software come Blender, Maya e Adobe Animate



FIG. 7.7. Le varie costellazioni scontornate per la creazione dei singoli asset e delle animazioni.

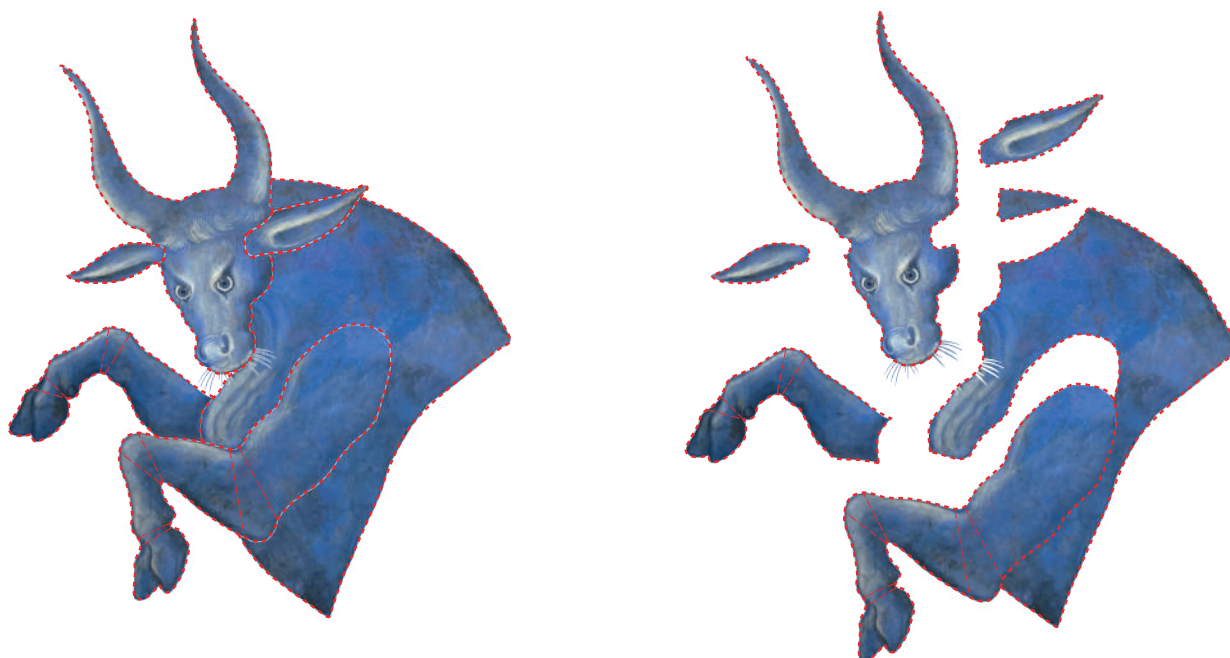


FIG. 7.8. Esempio di scomposizione della figura della costellazione del Toro. A sinistra l'identificazione dei contorni delle singole parti della figura e, a destra, il ritaglio delle diverse porzioni effettuato all'interno di Adobe Photoshop.

consentono di effettuare l'animazione 2D attraverso il processo del *rigging*. Il *rigging*, o *skeletal animation*, è una tecnica introdotta nel 1988 da Nadia Magnenat Thalmann, Richard Laperrière, e Daniel Thalmann²⁷ che permette la deformazione di un personaggio 2D o 3D, attraverso un processo che prevede l'applicazione di uno scheletro interno, chiamato anche *rig*, ad una mesh statica. Tale relazione creata tra la mesh e lo scheletro (nota come *skinning*, *enveloping* o *binding*)²⁸ consente di aggiungere una serie di controlli che l'animatore può utilizzare per muovere e posizionare il personaggio.

Nel caso in esame il processo di animazione prevede tre fasi principali:

- a) Scomposizione ed integrazione del disegno
- b) Riasssemblaggio delle parti
- c) *Rigging*

Scomposizione ed integrazione del disegno

Nel caso di animazioni 2D prodotte a partire da disegni esistenti non realizzati appositamente, come nel caso in esame, è necessario operare una scomposizione in parti per poi ricollegarle successivamente tra loro da *pivot* di rotazione al fine di consentirne il movimento. Le diverse parti scorperate (busto, gambe o zampe, testa, braccia, accessori, ecc.) saranno di volta in volta differenti in numero e ampiezza a seconda del personaggio in esame e in base al movimento ricercato (fig. 7.8.). In ogni caso si dovrà seguire l'anatomia del personaggio e mantenere una congruenza tra le "superfici" continue, come le vesti o il corpo serpentesco dell'Idra. Le parti scorperate dal personaggio necessiteranno successivamente di integrazioni nelle porzioni "coperte" da altri elementi (fig. 7.9.) che, in seguito alla rotazione diventerebbero visibili. Grazie a procedure di campionamento dei tratti e delle sfumature è possibile operare questa

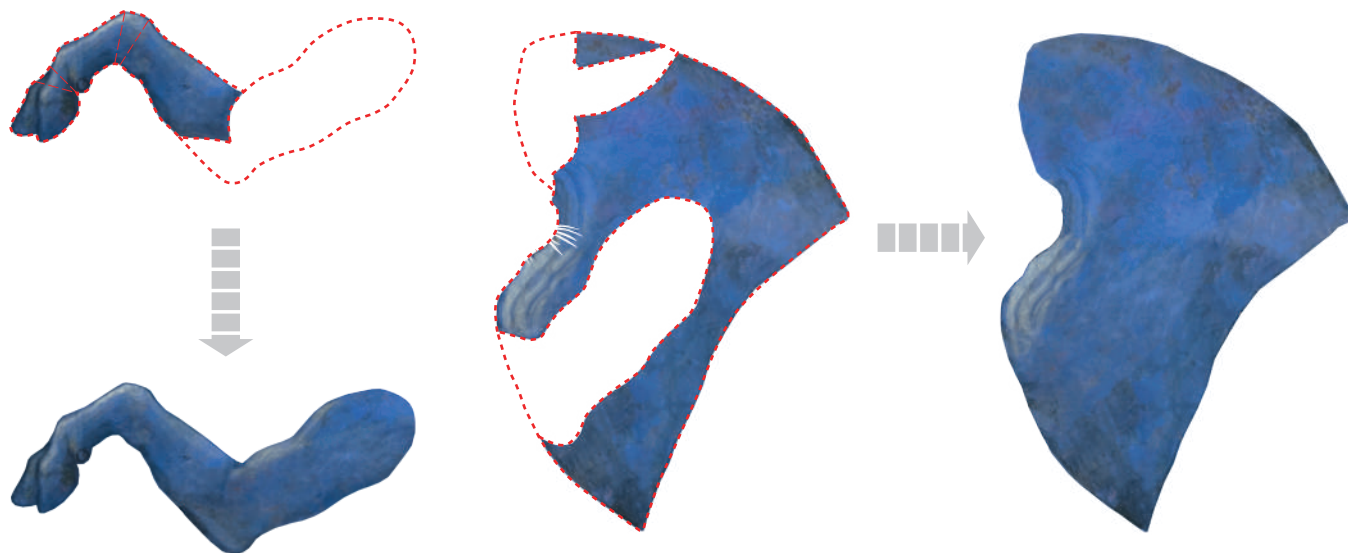


FIG. 7.9. Integrazione delle porzioni mancanti della zampa destra e del busto del Toro grazie a procedimenti di campionatura del disegno. Tale procedimento consente di effettuare l'animazione del soggetto senza il rischio che il movimento imposto ai diversi componenti scopra porzioni di disegno mancanti.

ricostruzione tramite software di elaborazione di fotoritocco digitale, come Adobe Photoshop, avendo cura di garantire un'area adeguata in relazione ai movimenti progettati per il singolo personaggio.

Riassemblaggio delle parti

Le diverse parti ottenute dalla scomposizione del personaggio sono state poi esportate in file .png ed importate singolarmente nel software di animazione, nel caso in esame Blender. Sulla base dell'immagine di riferimento originale è possibile riposizionare i singoli layer del personaggio e ricomporre così la sua posa originaria che rappresenterà la posa di partenza dell'animazione.

Rigging

Come già accennato, il *rigging* consiste nell'applicazione di uno scheletro interno al personaggio tale da consentirgli determinati movimenti. In Blender lo

scheletro è chiamato "armatura" e può essere costituita da un numero variabile di ossa (*bones*) che, associate o attaccate ai vari elementi, determineranno il modo in cui questi ultimi si muovono o si deformano²⁹. Le ossa all'interno dell'armatura non devono necessariamente seguire lo schema di uno scheletro reale ma devono essere strutturate in modo da garantire movimenti il più possibile naturali. Per questo motivo risulta di primaria importanza stabilire una gerarchia all'interno dello scheletro del personaggio attraverso il collegamento delle varie ossa secondo una relazione *child-parent*. Questo consente di fare in modo che il movimento di determinate ossa si rifletta nelle altre seguenti sfruttando il concetto della Cinematica diretta (*Forward Kinematics* - FK), come nel caso del movimento di un'arto inferiore o superiore. Ad esempio, la rotazione di un braccio comporterà la rotazione anche di tutte gli elementi imparentati (*child*) con quest'ultimo all'interno della gerarchia stabilita:

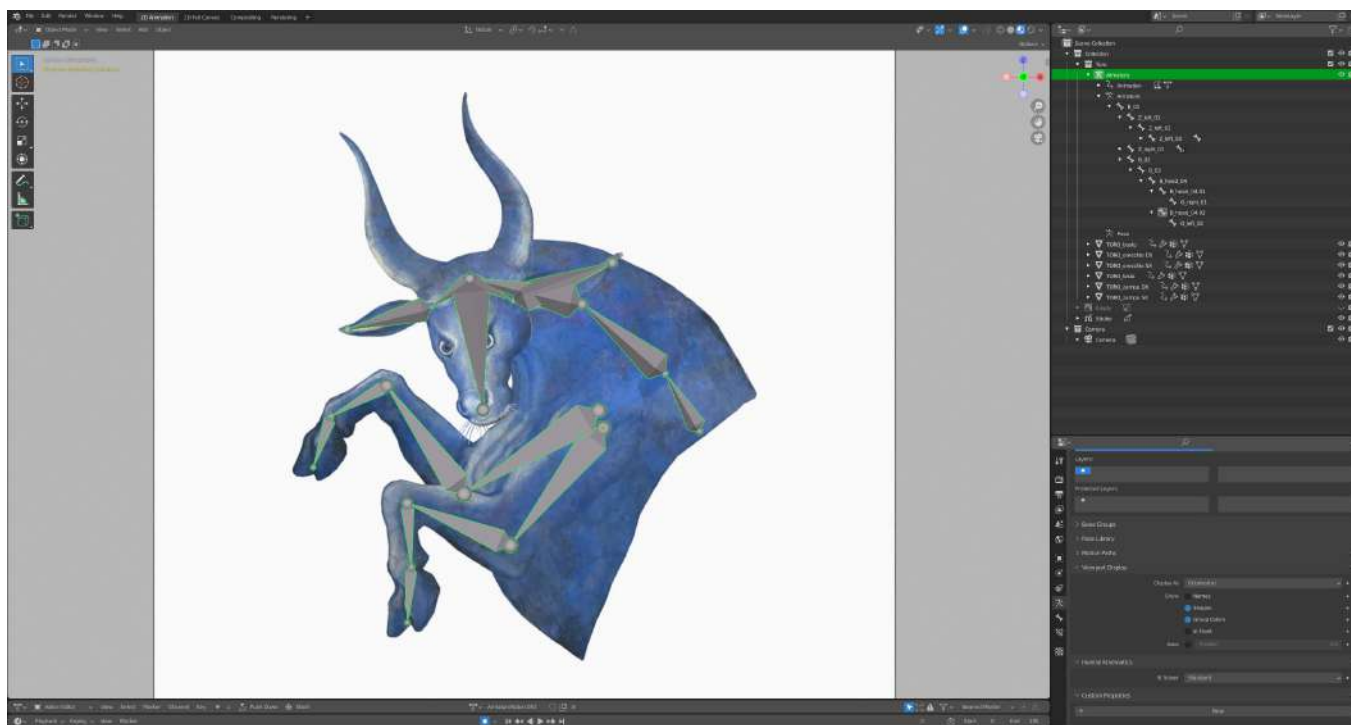


FIG. 7.10. Lo scheletro realizzato per la costellazione del Toro. Sulla destra è visibile la gerarchia dei diversi elementi.

avambraccio, mano e falangi. Per l'animazione dei personaggi della cupola sarà necessario combinare rotazioni rigide ai vertici dei diversi elementi, (per il movimento di braccia e gambe), e deformazioni della mesh (per il movimento di oggetti come vesti, capelli, o parti anatomiche non facilmente suddivisibili) Blender per questo mette a disposizione due tipologie di ossa: *Control Bones* e *Deforming Bones*. Le prime consentono di controllare le trasformazioni delle varie ossa in relazione a determinati movimenti, mentre le seconde consentono il movimento dei vertici della mesh a loro associati. Una volta realizzata l'associazione dei vari elementi alle rispettive ossa risulta necessario un'ultimo passaggio al fine di consentire di facilitare il processo di animazione seguente garantendo la fluidità del movimento. La funzione di Cinematica Inversa o IKC, ovvero *Inverse Kinematics Constraint*, è una metodologia che consente di orientare le articolazioni

a partire dall'estremità di un arto, stabilendo precise connessioni tra giunti degli elementi e determinati angoli di rotazione. Questo consente all'animatore di realizzare le varie "pose" del soggetto in maniera più diretta e intuitiva senza la necessità di realizzare manualmente la rotazione di ogni singolo osso dello scheletro, limitando così il tempo dedicato alla fase di animazione e il rischio di realizzare movimenti poco naturali. Conclusa l'operazione di *rigging* è possibile "registrare" la sequenza di pose assunte dal personaggio e creare ogni singola animazione. Nel caso specifico, in cui i personaggi non sono stati realizzati appositamente ma derivano direttamente dal disegno dell'affresco, le animazioni realizzate prevedono dei movimenti leggeri compresi entro determinati angoli di rotazione al fine di limitare le distorsioni della texture e la formazione di possibili errori durante le rototraslazioni dello scheletro.

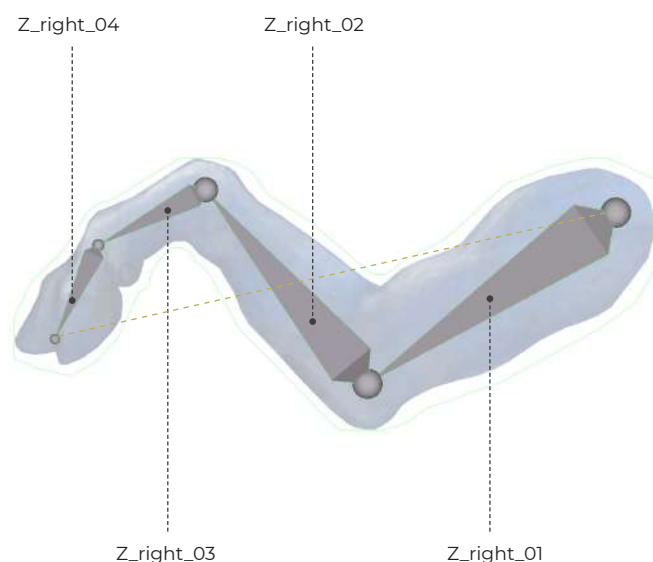


FIG. 7.11. Dettaglio delle ossa della zampa destra. Sulla destra sono visibili i diversi gruppi di vertici assegnati a ciascun osso. In questo modo è stato possibile realizzare l'animazione della zampa provocando delle distorsioni alla mesh senza la necessità di separare tutte le parti che la compongono. Il tratteggio in ocra rappresenta l'IKC relativo al braccio.



Terminata la fase di animazione, gli elementi isolati dall'affresco vengono successivamente ricomposti in un'ambiente digitale secondo "strati di sovrapposizione concentrici", così da ordinarli secondo la loro effettiva posizione all'interno dell'affresco (dall'esterno: livello di sfondo, griglie di riferimento, figure delle costellazioni ed infine, corpi celesti), al fine di creare lo scenario interattivo. La scomposizione dei diversi elementi della cupola risulta un passaggio essenziale in quanto consente di importarli e gestirli all'interno di motori grafici, come Unity 3D o Unreal Engine, come asset ³⁰ separati, avendo così la possibilità di creare interazioni con i diversi elementi della scena. Oltre alla ricomposizione dell'affresco questa fase prevede la caratterizzazione dell'ambiente mediante suoni di sottofondo, luci ed effetti finalizzati a creare l'ambientazione circostante.

7.3. LA FRUIZIONE VIRTUALE IMMERSIVA DEL PROGETTO: SISTEMI VR E SISTEMI DI PROIEZIONE DIGITALE FULLDOME IN PLANETARIO.

I contenuti prodotti dai dati derivanti dal rilievo digitale consentono di strutturare due differenti modalità di fruizione virtuale del progetto che, di conseguenza, consentono di ampliare il bacino di utenza e le possibilità di disseminazione.

Nel primo caso è stata progettata una modalità di fruizione singola, accessibile mediante HMD, grazie alla quale l'utente è singolarmente immerso in uno spazio virtuale nel quale può interagire e approfondire tematiche secondo i propri interessi. L'applicazione virtuale è finalizzata al coinvolgimento di un pubblico non specializzato ed eterogeneo e per questo motivo sono state privilegiate modalità di interazione più



FIG. 1 *Alcuni dei frame dell'animazione della costellazione del toro, in particolare dell'inversione delle zampe. In grigio è visibile lo scheletro.*



FIG. 7.12. *Le armature realizzate per le costellazioni di Perseo, Andromeda, Cancro e Drago.*

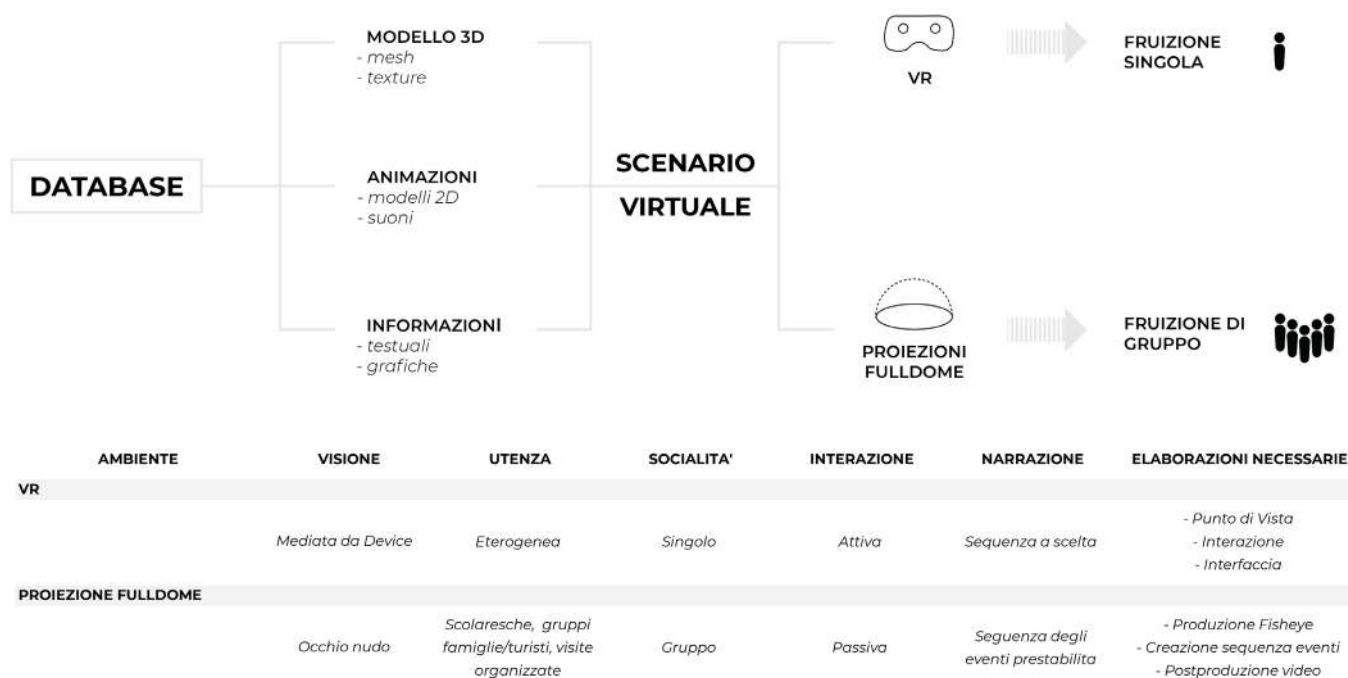


FIG. 7.13. Le due modalità di fruizione virtuale ipotizzate: fruizione mediante sistemi VR e fruizione mediante proiezioni digitali fulldome..

naturali possibili, al fine garantirne l'accessibilità. In questo caso, sarà necessario attuare ulteriori processi di approfondimento del progetto che riguardano le modalità con le quali avvengono le interazioni dell'utente e l'aspetto dell'interfaccia grafica.

Nel secondo caso invece la possibilità di interazione viene meno al fine di privilegiare la possibilità di fruizione di gruppo attraverso proiezioni digitali *fulldome*. Questa modalità, tipica dei sistemi in uso all'interno dei planetari digitali contemporanei, consente di riprodurre l'intera cupola dipinta sfruttando le strategie proprie della divulgazione astronomica, in questo caso strettamente attinenti all'oggetto di studio. Così lo spazio virtuale e i suoi contenuti vengono renderizzati sottoforma di video fisheye e proiettati su una superficie emisferica, mentre le informazioni tematiche sono veicolate sottoforma di un racconto audio registrato o realizzato direttamente in loco da una guida.

7.3.1. Realtà virtuale: l'ambientazione, le modalità di interazione e l'interfaccia grafica

La Realtà Virtuale rappresenta uno dei due estremi del "Reality-Virtuality (RV) continuum" di Milgram e Takemura, in quanto l'utente risulta distaccato dal mondo reale per essere trasportato completamente in un mondo virtuale. Può essere definita come un «insieme di tecniche che consentono di simulare la realtà come esperienza sensoriale, anche parziale, mediante l'uso di immagini, suoni, odori o la percezione del movimento»³¹.

Rispetto a 20 anni fa, la realtà virtuale è diventata molto più accessibile al pubblico. I prezzi sono infatti diminuiti e la potenza computazionale dei dispositivi è cresciuta esponenzialmente, migliorando la velocità e la fluidità con cui l'ambiente virtuale risponde agli stimoli che gli vengono applicati. Grazie ai nuovi



FIG. 7.14. Un esempio di spazio immersivo per la fruizione delle opere d'arte. La mostra "The founding myths" di UMA [<https://www.the-uma.org/en/>].

avanzamenti e innovazioni tecnologiche, non solo possiamo registrare il movimento della nostra testa, il nostro orientamento e la nostra posizione, ma l'ambiente virtuale può essere implementato da una vasta gamma di input sensoriali e di elementi controllabili o manipolabili dall'utente.

I dispositivi utilizzati per la realtà virtuale, noti come HMD (*Head Mounted Display*), possono essere suddivisi in 2 categorie principali:

- Sistemi non portatili: dispositivi collegati a un'unità di elaborazione grafica esterna (ad esempio Oculus Rift, HTC Vive e PlayStation VR)
- Sistemi portatili: dispositivi in cui l'unità di elaborazione grafica è incorporata nel HMD (come Samsung VR Gear)³²

La differenza sostanziale tra i due sistemi è relativa alla loro potenza di calcolo e di conseguenza alle possibilità di applicazione e di elaborazione di

contenuti. I primi sono dotati di display ad alta risoluzione e a bassa latenza con un ampio campo visivo (FOV oltre 120°). Grazie alla connessione ad una *workstation* che si occupa di elaborare le informazioni grafiche in tempo reale, consentono di gestire grafica vettoriale in 3D ed elaborare rendering in *real-time* senza particolari vincoli di realistica dell'immagine. Gli HMD portatili invece affidano la loro potenza di calcolo interamente all'hardware smartphone che, inserito nell'apparecchio, funge da display. Da qui ne consegue che la resa della VR è strettamente dipendente dal tipo di smartphone utilizzato. Più sarà prestante più la realtà virtuale sarà efficace. In questi sistemi portatili la qualità delle visualizzazioni è relativa alla potenza del dispositivo, che risulta in ogni caso molto inferiore a quella di una *workstation* dedicata. Di conseguenza i contenuti sono più orientati verso elementi semplificati costituiti da dati raster rispetto a grafica vettoriale tridimensionale. Nonostante questo, l'utilizzo di HMD portatili presenta diversi vantaggi:



FIG. 7.15. Alcune tipologie di visori HMD per la fruizione dello spazio in modalità VR. A sinistra i visori portatili, Samsung Gear VR e Google Cardboard, e a destra i visori non portatili, Oculus Rift e HTC Vive.

il costo della strumentazione, molto inferiore rispetto ai sistemi non portatili³³, e la loro versatilità e al loro possibile impiego in svariati contesti.

Grazie alle sue caratteristiche di immersività ed interazione la realtà virtuale si configura come un «un potentissimo strumento di conoscenza»³⁴ perché consente all'utente di conoscere la realtà in modo naturale: «andare in un posto, guardarlo, questo mi dà delle sensazioni e mentre faccio questo lavoro di guardarlo, di muovermi dentro e di toccarlo, in realtà io lo sto conoscendo, lo sto analizzando, lo sto classificando, sto facendo tutte cose che sono inconsce, di cui io non m'accorgo, le faccio naturalmente, ma in realtà con queste assumo conoscenza»³⁵.

Questo ritorno ad una percezione e comprensione naturale dei fenomeni e degli avvenimenti ha spinto al suo impiego in numerosissimi contesti, in particolare in quello legato alla valorizzazione del patrimonio culturale e all'*edutainment* applicato per la sua comunicazione³⁶, dove tale sistema ha dimostrato

notevoli possibilità. L'ambiente virtuale può essere sfruttato sia fare esperienza di spazi completamente immaginari progettati ad hoc per mostrare opere reali o *born digital*, o per estendere la visita di un museo o sito culturale, attraverso la sua riproduzione virtuale o l'integrazione di tecnologie immersive durante la visita *on-site*.

L'utilizzo di tecniche di Realtà Virtuale per la fruizione del progetto presuppone la necessità di studiare e progettare lo scenario immersivo, i meccanismi di interazione e l'interfaccia grafica grazie alla quale l'utente può esplorare e navigare i diversi contenuti dell'applicativo.

Lo scenario immersivo

I vari contenuti digitali elaborati sono stati riassemblati all'interno di uno spazio virtuale al fine di consentire la loro fruizione. L'ambientazione progettata non rappresenta una semplice cornice estetica dell'opera ma è stata pensata con l'obiettivo

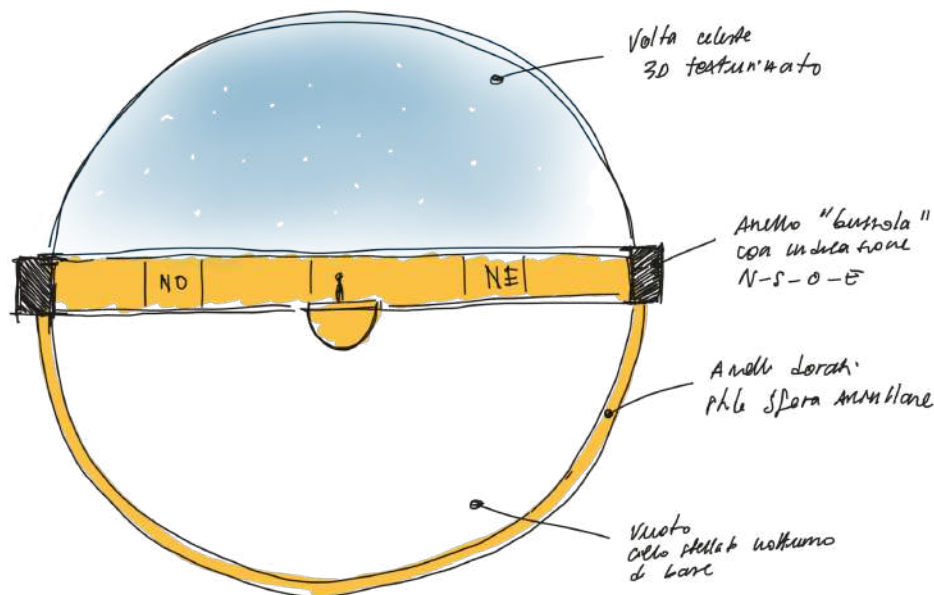


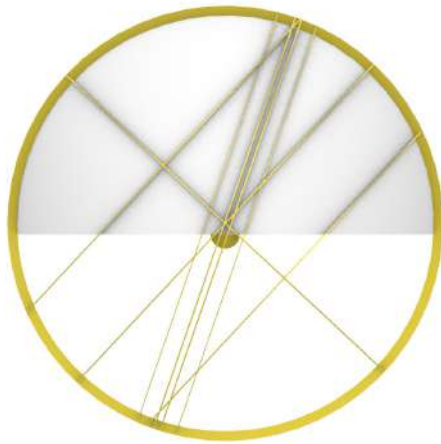
FIG. 7.16. *Schizzo dell'ipotesi progettuale dello spazio immersivo fruibile in VR.*

di fornire ulteriori elementi capaci di consentire una lettura e una contestualizzazione più agevole e diretta del manufatto. Per questo motivo la cupola è stata inserita all'interno di uno spazio sferico, rimarcando così il suo essere una parte di un sistema più grande, essere la metà di un tutto. La metà superiore, occupata dalla ricostruzione tridimensionale dell'affresco, scendendo verso il basso si "spoglia" della parte grafica e nella metà inferiore scopre la struttura delle griglie astronomiche (fig. 7.16.-7.18). Prendendo ispirazione dalle sfere armillari, le cui "armille" costituiscono i vari anelli dorati, sono state modellate le varie griglie presenti nel dipinto, rendendole così visibili anche nella metà inferiore dello spazio. Il passaggio tra i due emisferi è rimarcato da un anello dorato collocato sulla linea dell'orizzonte. Questo elemento oltre a incorniciare la parte superiore, funge da "bussola" per il fruitore. Presenta infatti lungo il perimetro

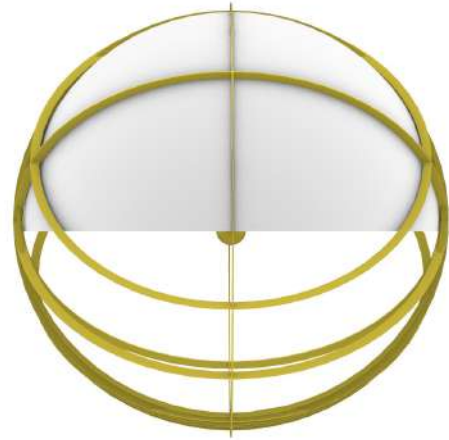
l'indicazione dei punti cardinali (nord, nord-est, est, sud-est, sud, sud-ovest, ovest, nord-ovest), al fine di consentire un corretto orientamento della cupola. Il punto di vista è collocato al centro dello spazio e l'utente è posizionato su una piattaforma circolare, sospesa all'interno della sfera.

Le modalità di visualizzazione ed interazione

L'ambiente virtuale della cupola emisferica è stato progettato per essere uno spazio interattivo, nel quale l'utente può relazionarsi con i diversi elementi presenti. La visualizzazione di questo spazio avviene tramite una visione in prima persona (*First-person perspective* o 1PP), grazie alla quale l'utente può ruotare il punto di vista mediante il movimento della testa (in caso di fruizione mediante HMD) o del *device*/puntatore (in caso di fruizione mediante display mobile o fisso). La scelta del punto di vista dell'utente



Prospetto laterale



Prospetto frontale



Spaccato prospettico

FIG. 7.17. *Viste del modello 3D dello spazio virtuale progettato.*

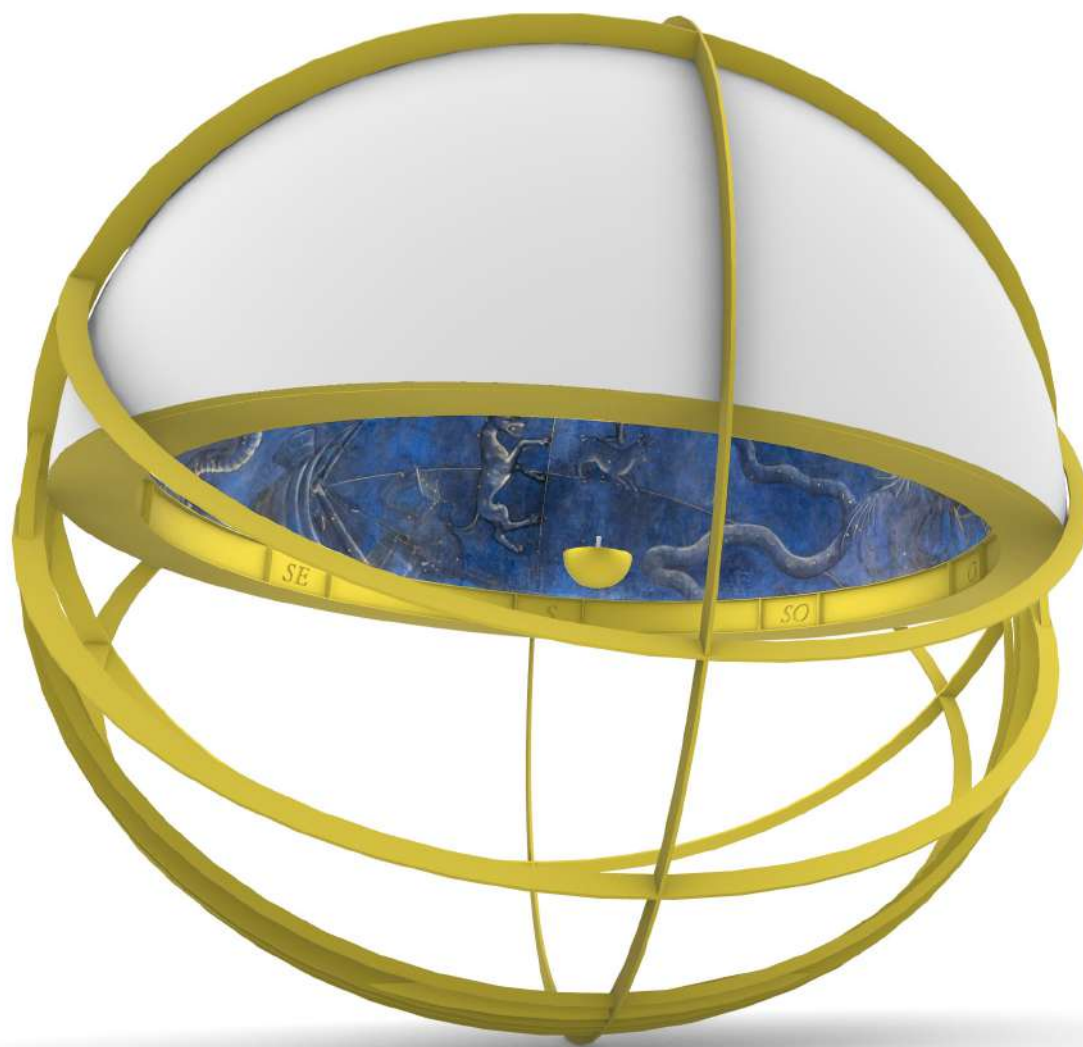
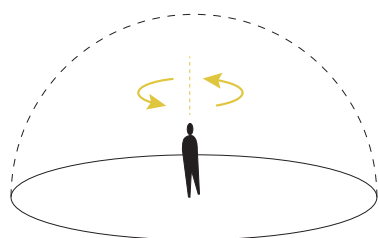
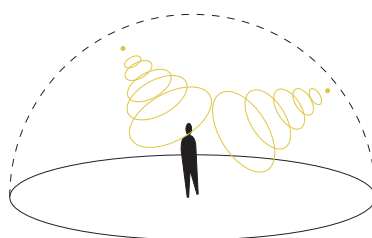


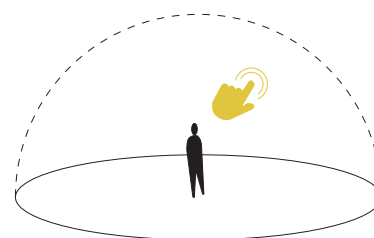
FIG. 7.18. *Vista del modello 3D completo.*



L'utente può ruotare il punto di vista.



L'ambiente è caratterizzato da suoni di sottofondo.



L'interazione prevede la modalità punta e clicca.



FIG. 7.19. Al passaggio del puntatore la costellazione evidenzia le stelle da cui è formato attraverso dei segmenti luminosi che coinvolgono l'attenzione del fruitore, il quale, una volta cliccato sulla costellazione avvia il racconto ad essa collegato.

in un progetto di spazio virtuale immersivo (IVE - *Immersive Virtual Environment*) ricade generalmente sull'utilizzo di una prospettiva in prima persona (1PP) rispetto alla terza persona (3PP). Lo studio effettuato nel 2017 da Gorisse, Christmann, Amato e Richir³⁷ ha analizzato l'impatto e le potenzialità dei due sistemi di visualizzazione, dimostrando come la prospettiva in prima persona consenta interazioni più accurate, mentre la prospettiva in terza persona fornisca una migliore consapevolezza dello spazio. L'utilizzo di una vista in 1PP è inoltre utile per indurre un migliore senso di *embodiment* verso un corpo virtuale, specialmente in termini di *self-location* e *ownership*³⁸.

Nel progetto l'utente è collocato al centro della volta e i suoi movimenti sono limitati esclusivamente alla rotazione del punto di vista, al fine di limitare le possibilità di distrazione e migliorare la capacità di orientamento del fruitore. L'interazione con gli oggetti

presenti nella scena avviene attraverso la modalità cosiddetta *Point-and-Click*, integrabile all'interno di sistemi di fruizione più tradizionali, come desktop o *display touch*, o in sistemi di fruizione immersivi come la VR, attraverso l'utilizzo di controller o il touchpad integrato negli HMD portatili.

L'utente posizionato al centro della volta può soffermarsi sull'oggetto di interesse che, una volta "attivato" mediante un click, si illumina, nel caso di astri o griglie di riferimento, o prende vita grazie a delle animazioni, nel caso delle immagini delle costellazioni, consentendo l'accesso ad informazioni. Le informazioni contenute sono raggruppate in due tematiche principali: astronomia e mitologia. Nel primo tema rientrano informazioni inerenti ai principali astri visibili nell'affresco ed alle linee di riferimento astronomiche, mentre nel secondo gruppo rientrano le costellazioni, la loro raffigurazione ed i miti ad esse

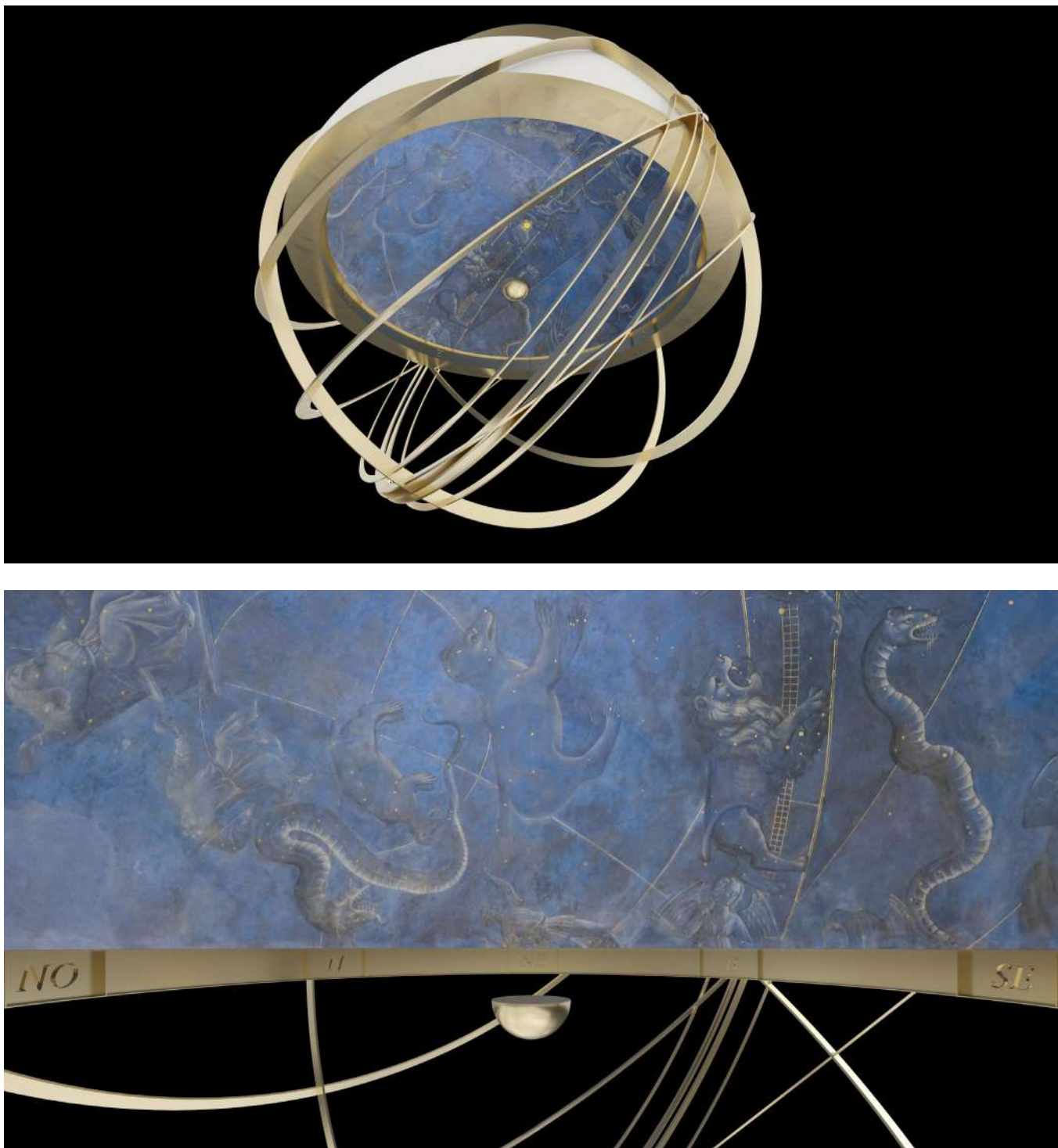


FIG. 7.20. *Render dello spazio virtuale.*

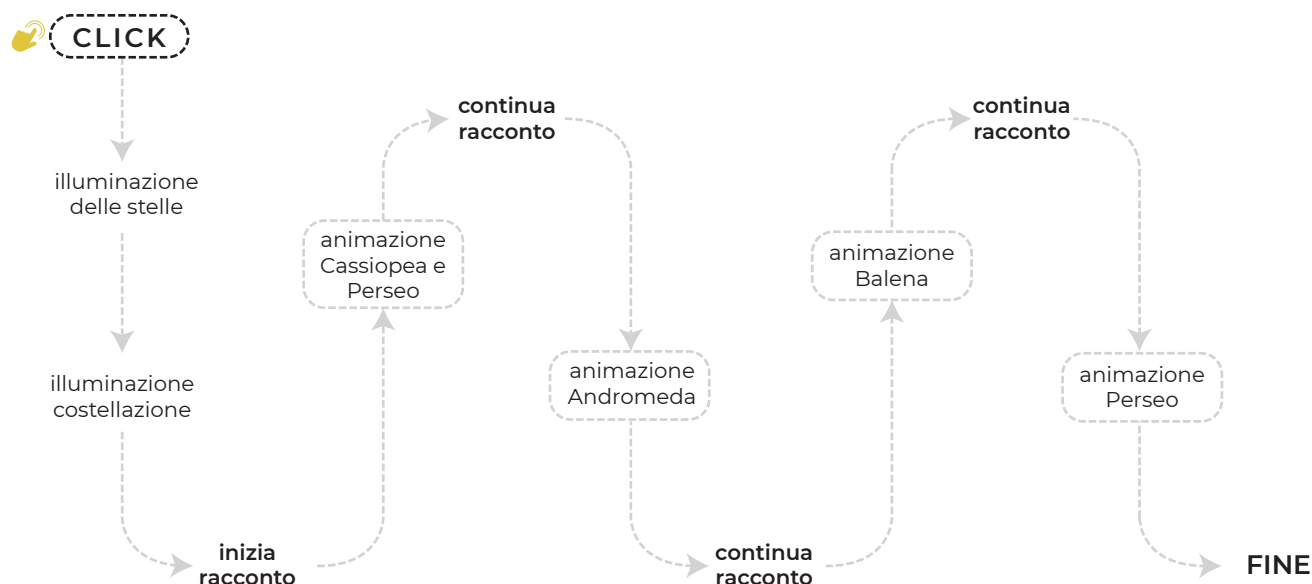


FIG. 7.21. Successione esemplificativa degli eventi per l'interazione con la costellazione di "Andromeda" e con il mito ad essa collegato.

collegati. Nel momento in cui l'utente seleziona un elemento, vengono in un primo momento fornite informazioni basilari sull'oggetto (nome, ruolo, elementi costitutivi, ecc.) ed in un secondo momento viene contestualizzato all'interno del mito di cui fa parte (fig. 7.21.). Le informazioni possono inoltre essere veicolate allo spettatore tramite animazioni accompagnate da brevi racconti in forma orale (di massimo 2 minuti³⁹), al fine di realizzare una visita il più possibile fluida e naturale, eliminando quella "competizione percettiva"⁴⁰ che, secondo Antinucci, si genera affiancando messaggi visivi e verbali. Quando questi due stimoli si sovrappongono si crea una sorta di interferenza nel processo comunicativo che, a causa del passaggio da una modalità cognitiva all'altra (da analitico-ricostruttiva a senso-motoria), rischia di compromettere la ricezione del messaggio da parte del destinatario. Questo si può risolvere riducendo la quantità e il tipo di materiale

da processare linguisticamente o diminuire la competizione percettiva, cioè eliminando la forma scritta e privilegiando la forma orale.

La grafica e l'interfaccia di avvio

Definita la struttura e l'interazione all'interno dell'ambiente virtuale nonché i contenuti, si è passati alla progettazione degli elementi grafici (colori, sfondi, simboli, caratteri, layout, logo) in modo che fossero visivamente coerenti tra loro e con il progetto. Per questo motivo la cupola stessa è stata lo spunto per la creazione di tutti gli elementi grafici del progetto. Attraverso la campionatura dei colori dell'affresco è stata selezionata una *palette* di riferimento costituita da quattro sfumature di blu, due sfumature di giallo/oro ed un tortora neutro, impiegati successivamente per la composizione dello sfondo dell'interfaccia di avvio e i suoi componenti. Tutti gli elementi grafici del progetto sono stati realizzati sulla base della figura geometrica

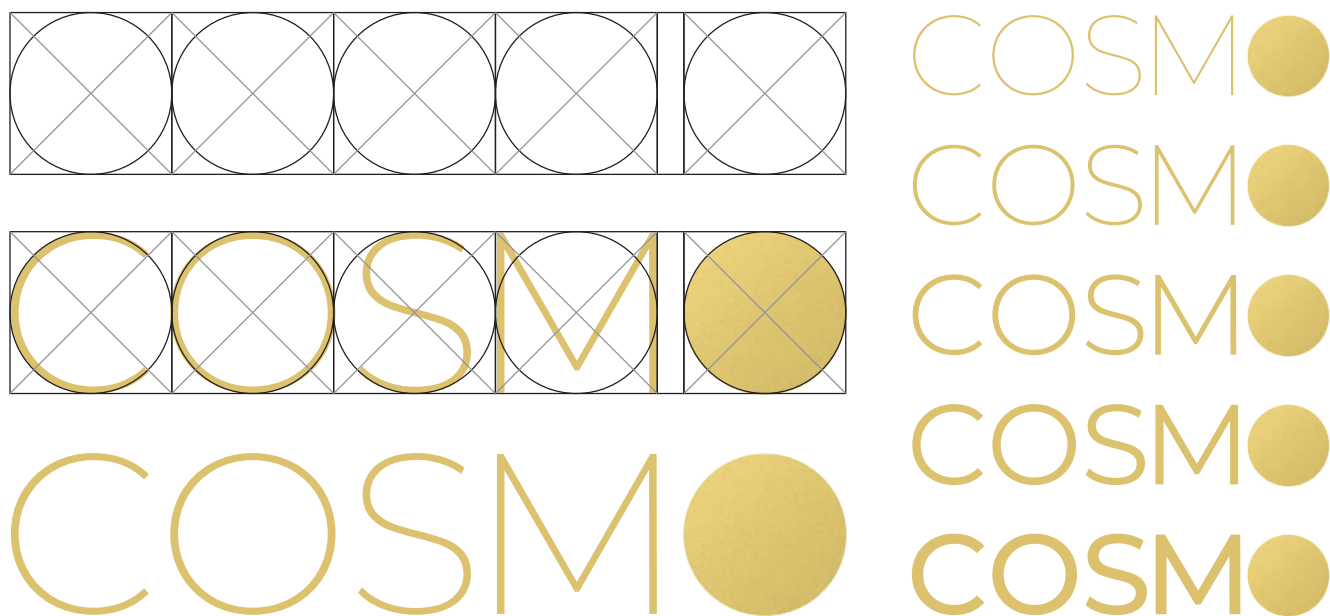


FIG. 7.22. *Processo di realizzazione del logo.*

del cerchio, capace di richiamare metaforicamente il mondo celeste e, allo stesso tempo, l'oggetto stesso della rappresentazione (fig. 7.22.- 7.23.). L'interfaccia 3D proposta è perciò costituita da due "layer" curvi che avvolgono l'utente a 360°: lo sfondo e il menu di avvio. Al fine di creare uno spazio virtuale che richiamasse le tematiche dell'astronomia e dell'arte, lo sfondo è stato composto simulando l'effetto dell'acquerello in ambiente digitale, utilizzando pennelli digitali di diverse dimensioni e sfumature. Su questo livello ne è stato poi sovrapposto un secondo, costituito dal vero e proprio menu di avvio da cinque differenti sezioni: avvio, tutorial, intro, database, crediti. La sezione tutorial spiega brevemente al fruitore le modalità di interazione dell'applicativo; la sezione intro rappresenta un breve racconto introduttivo sulla storia e le vicende dell'opera; la sezione database fornisce l'accesso a tutti i dati della ricerca (elaborati 2D, 3D, documenti, ecc.); la sezione crediti presenta il team e gli enti aderenti al progetto;

la sezione avvio consente infine di accedere allo spazio in cui visualizzare ed interagire con l'opera. I pulsanti di accesso alle varie sezioni, identificati da un cerchio dorato e un testo identificativo, sono stati posizionati lungo una linea, un'"orbita" orizzontale che ruota attorno all'utente.

7.3.2. Proiezioni *fulldome*: tecniche di renderizzazione fisheye

Il *projection mapping* è una nuova frontiera dell'arte, della tecnologia e del *visual design* applicato al Cultural Heritage. È una tecnica di proiezione evoluta, che trasforma qualsiasi tipo di superficie in un display dinamico, trasformando l'architettura in un nuovo media di comunicazione. In particolare, quando la superficie utilizzata è emisferica, ovvero costituita da una cupola che avvolge gli spettatori a 360°, si fa riferimento a tecniche e tecnologie di proiezione 3D *fulldome*, utilizzate principalmente all'interno di

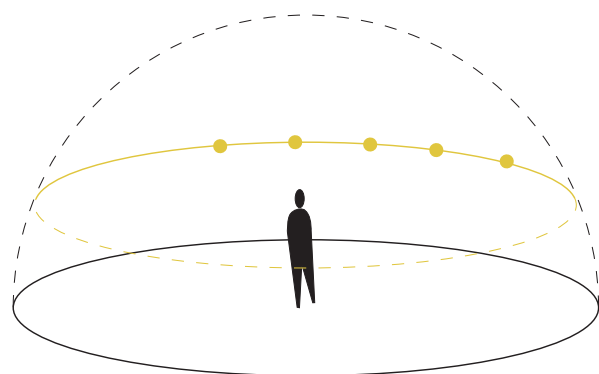
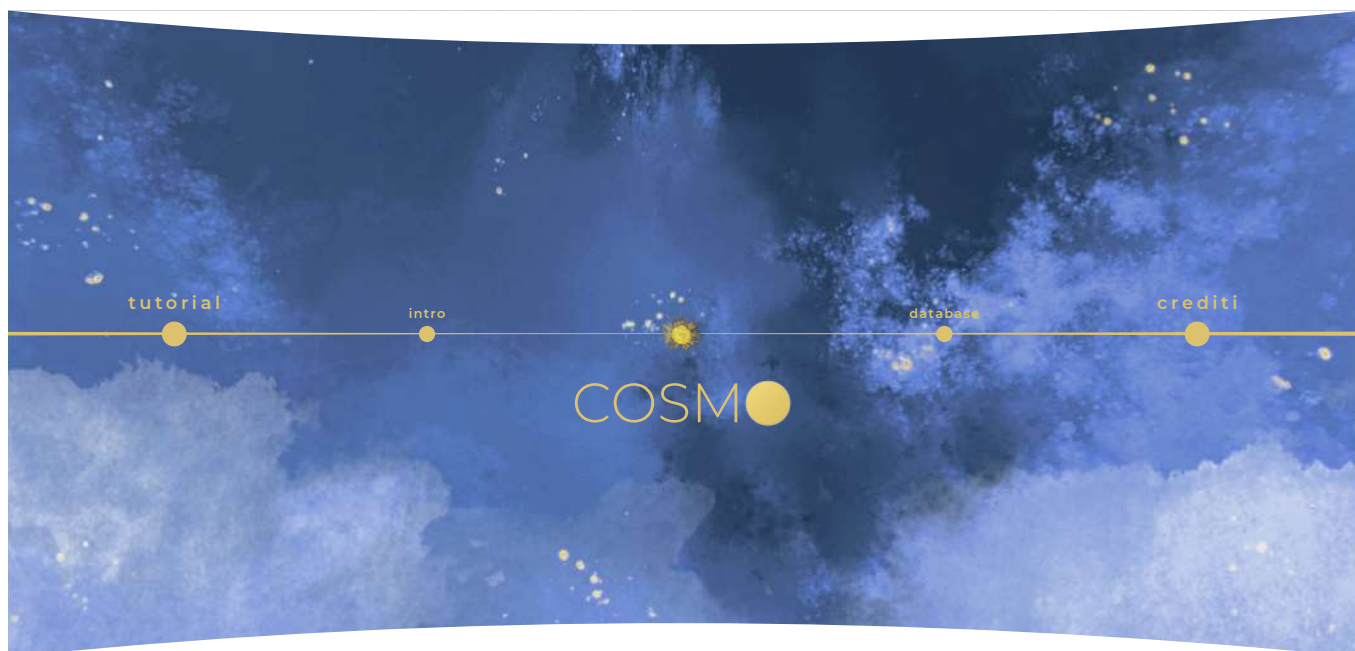


FIG. 7.23. Idea per la realizzazione dell'interfaccia di avvio dell'applicativo. Il menù è realizzato all'altezza dell'orizzonte visivo del fruitore e, lungo un'orbita, sono collate le varie sezioni dell'applicazione: tutorial, intro, avvio, database, crediti. In basso a destra la palette di 7 colori utilizzata.

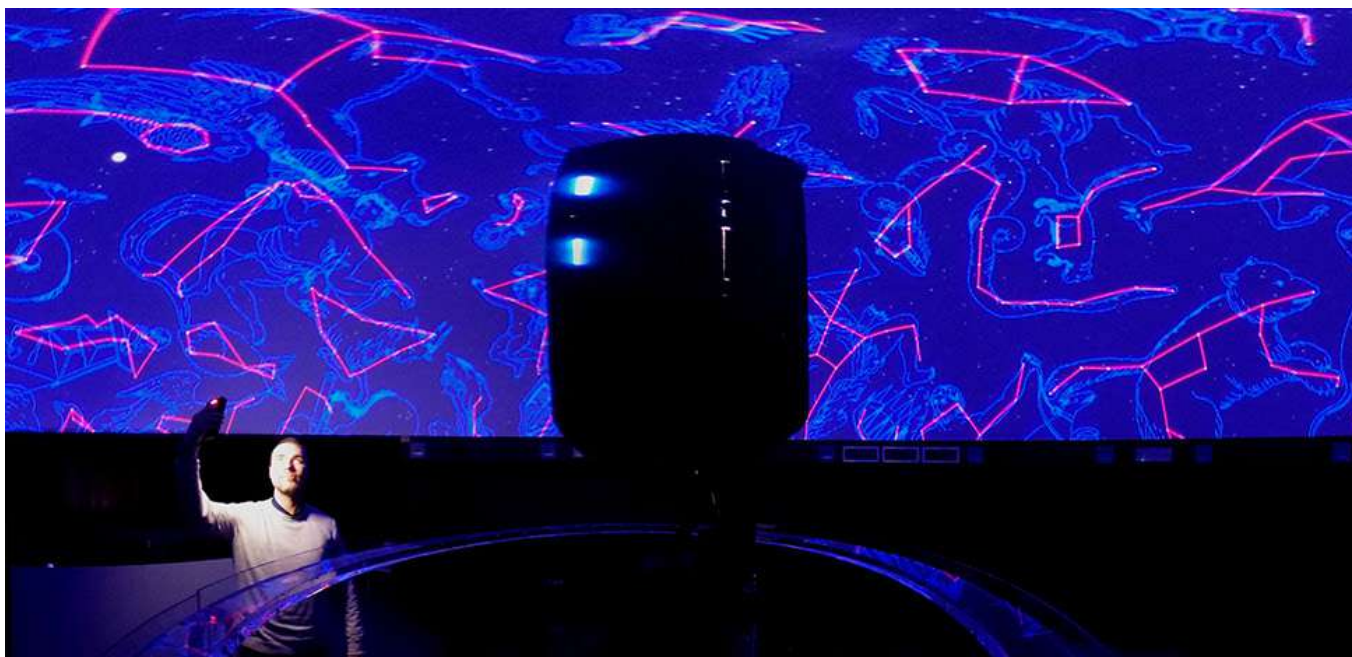


FIG. 7.24. Il Planetario di Firenze rappresenta un esempio di planetario digitale. Presenta una cupola di 8 metri di diametro, con una capienza totale di 54 posti [<https://www.fstfirenze.it/planetario/>].

planetari digitali per la comunicazione dell'astronomia (fig. 7.24.). Nonostante rappresenti una tecnologia specifica del mondo della divulgazione astronomica, il suo utilizzo si è esteso anche a contesti artistici o di *entertainment*⁴¹ nei quali l'impiego di proiezioni su superfici emisferiche, a volte anche in abbinamento a dispositivi e stratagemmi sensoriali (sedute mobili, movimenti d'aria, emissione di odori), è finalizzato ad offrire esperienze più coinvolgenti e immersive. A questo proposito è interessante l'aspetto ambivalente "Enlightenment vs. Experience" dei programmi di divulgazione svolti all'interno dei planetari evidenziato da Marianne Achiam et al. (2019) che mette in risalto come l'aspetto educativo ed estetico siano indissolubilmente legati⁴². Gli elementi costitutivi di un moderno planetario digitale sono rappresentati da:

- Una superficie emisferica di proiezione
- Un sistema di proiezione
- Il contenuto da proiettare

Per quanto riguarda le cupole di proiezione, costruite secondo criteri tecnici appositi (bassa rugosità interna, pigmentazione grigia, ecc.) e secondo dimensioni variabili, possono essere distinte in sistemi portatili, come cupole gonfiabili o strutture assemblabili in vario materiale, o fissi.

I sistemi di proiezione invece si suddividono in due macrocategorie: i sistemi opto-meccanici, unica soluzione in utilizzo anteriormente al 1970, e sistemi digitali. I primi rappresentano una soluzione utilizzata fin dalla commercializzazione dei primi dispositivi della Zeiss⁴³ e consistono in una sfera cava sulla cui superficie sono incisi dei fori dotati di lente che, tramite una fonte luminosa posizionata al suo interno, consentono di riprodurre sulla cupola una particolare configurazione del cielo. I sistemi digitali, sviluppati in seguito alla rivoluzione informatica, rappresentano invece delle tecnologie estremamente flessibili in quanto, contrariamente ai sistemi meccanici, consentono la proiezione di contenuti più svariati. Le

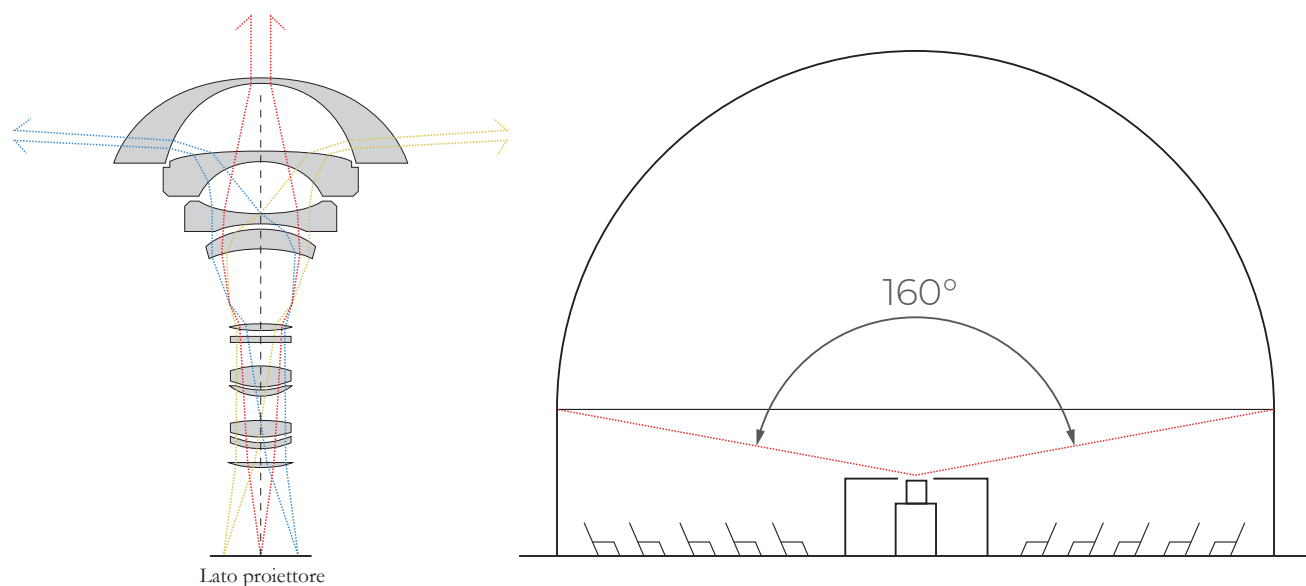


FIG. 7.25. Schematizzazione del funzionamento di un obiettivo fisheye e del sistema di proiezione.

tecnologie ad oggi impiegate all'interno dei planetari digitali sono suddivise in: sistemi di proiezione fisheye, a specchio sferico e multi-proiettore.

Sistemi di proiezione fisheye

Nel settore fotografico il termine “fisheye”⁴⁴, letteralmente “occhio di pesce”, si riferisce ad un particolare obiettivo che consente di scattare immagini con un campo visivo uguale o maggiore di 180° . A causa di questo sistema grandangolare estremo le immagini prodotte sono panoramiche o circolari e presentano una forte distorsione visiva. Invertendo il percorso ottico dei raggi luminosi, questo tipo di obiettivo può essere impiegato nei sistemi di proiezione che, collocati al centro della cupola, permettono di coprire l'area di tutta la superficie emisferica (fig. 7.25.). Per questo motivo risulta essere una delle tecnologie più utilizzate all'interno dei planetari digitali, in quanto consente di strutturare un sistema a proiettore singolo relativamente

accessibile a livello di costo e software necessari⁴⁵. L'inversione del processo fotografico si riflette anche sulla produzione di immagini da proiettare che, necessariamente, dovranno essere immagini fisheye, in modo tale da non risultare distorte sulla superficie della cupola. Nel caso in cui i contenuti da proiettare siano prodotti tramite software di computer grafica, come nel caso di modelli 3D, sarà necessario utilizzare tecniche di renderizzazione apposite.

Sistema di proiezione Spherical Mirror

Il sistema di proiezione a specchio sferico fu progettato da Paul Bourke⁴⁶ nel 2003 al fine di fornire uno strumento di proiezione *fulldome* più economico ed accessibile dei coevi sistemi fisheye. Il sistema utilizza un proiettore standard e uno specchio sferico per riflettere le immagini sulla maggior parte della cupola⁴⁷. Rispetto ai sistemi fisheye presenta due fondamentali differenze: consente di decentrare la posizione del sistema di proiezione, utile nel caso

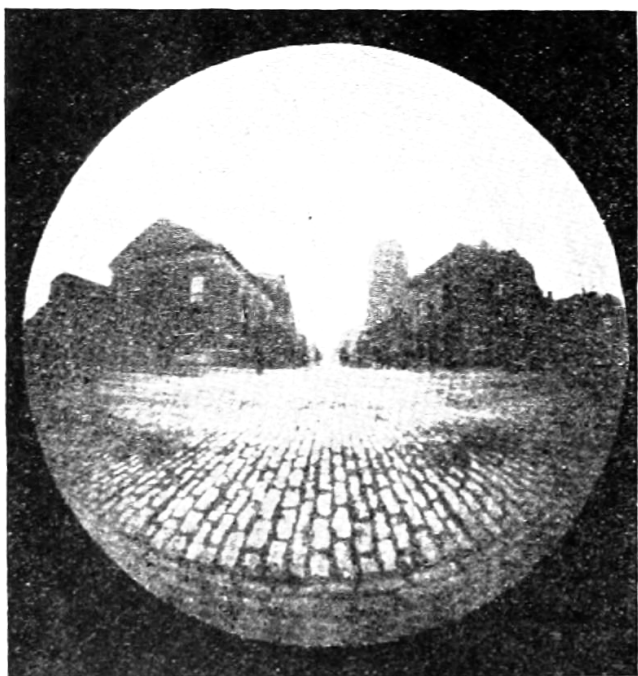
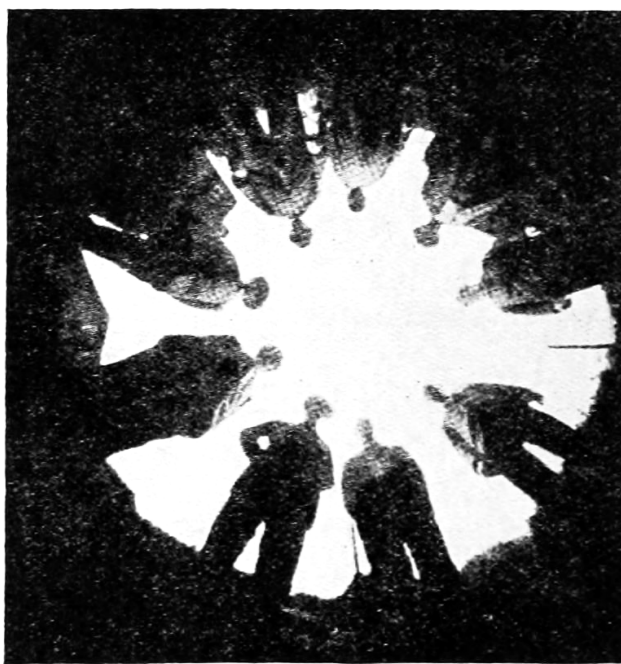
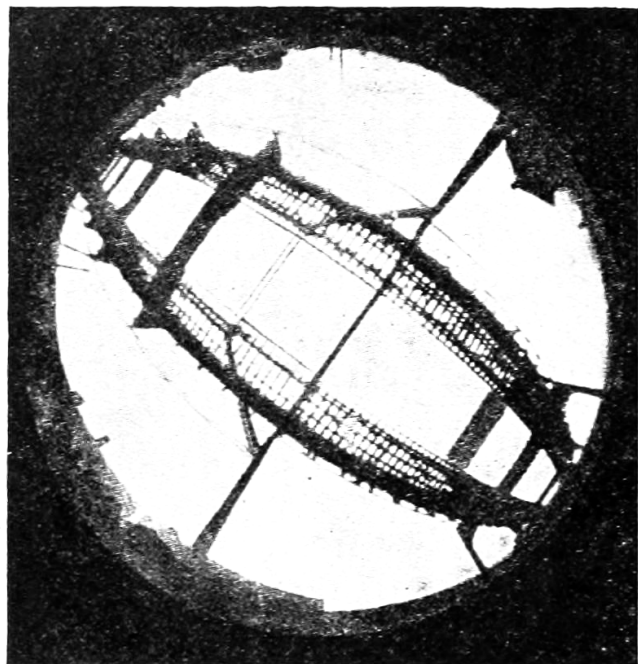


FIG. 7.26. *Alcuni tra i primi scatti effettuati con obiettivo fisheye. [Wood, R. (1911), p. 68].*

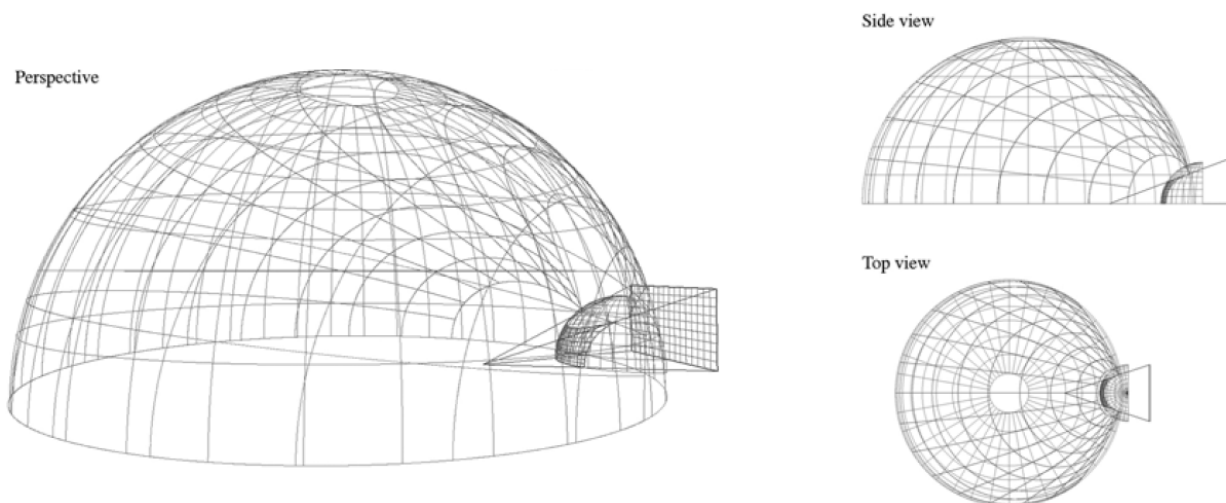


FIG. 7.27. Posizionamento del proiettore, dello specchio e della superficie di proiezione in un sistema a specchio sferico. [Bourke, P. (2005), p. 283].

di una fruizione singola, e di limitare l'aberrazione cromatica che si realizza tipicamente ai margini di una lente fisheye. Affinché l'immagine risulti però corretta e non distorta sulla superficie della cupola è necessario realizzare l'operazione di "warping". Questa consiste nella correzione dell'immagine fisheye circolare attraverso l'applicazione di una rete di coordinate e la sua conseguente distorsione mediante applicativi dedicati.

Sistemi multi-proiettore

I sistemi multiproiettore sfruttano l'utilizzo contemporaneo di più dispositivi (il numero è dipendente dalla dimensione della cupola) al fine di assicurare una risoluzione più elevata della proiezione finale. L'immagine da proiettare viene scomposta nei diversi dispositivi collocati ai margini della cupola e ricombinata mediante la fusione dei bordi di ogni proiezione contigua. Se da una parte presenta il vantaggio di una risoluzione maggiore, dall'altra necessita di operare un allineamento perfetto delle varie proiezioni che, in ogni caso, con un eventuale

usura non uniforme dei dispositivi potrebbero presentare nel tempo discordanze di luminosità e colore.

Tecniche di renderizzazione per la proiezione in planetario digitale

Come abbiamo visto i sistemi di proiezione singoli necessitano di rappresentazioni fisheye o warped per poter realizzare una corretta mappatura di una semisfera. È possibile realizzare questa tipologia di prodotto all'interno di software di rendering attraverso l'utilizzo di camere fisheye virtuali con FOV a 180°, delle quali ad oggi quasi tutti i software di grafica dispongono, grazie a *plug-in* o *tool* integrati. Blender, utilizzato nel caso studio, mette a disposizione all'interno del motore di render Cycles la possibilità di realizzare immagini panoramiche tra cui:

- Fisheye Equidistant: Fisheye ottimale per la proiezione *fulldome*⁴⁸. Questo tipo di camera produce un'immagine circolare che presenta una distorsione diffusa degli oggetti (al centro

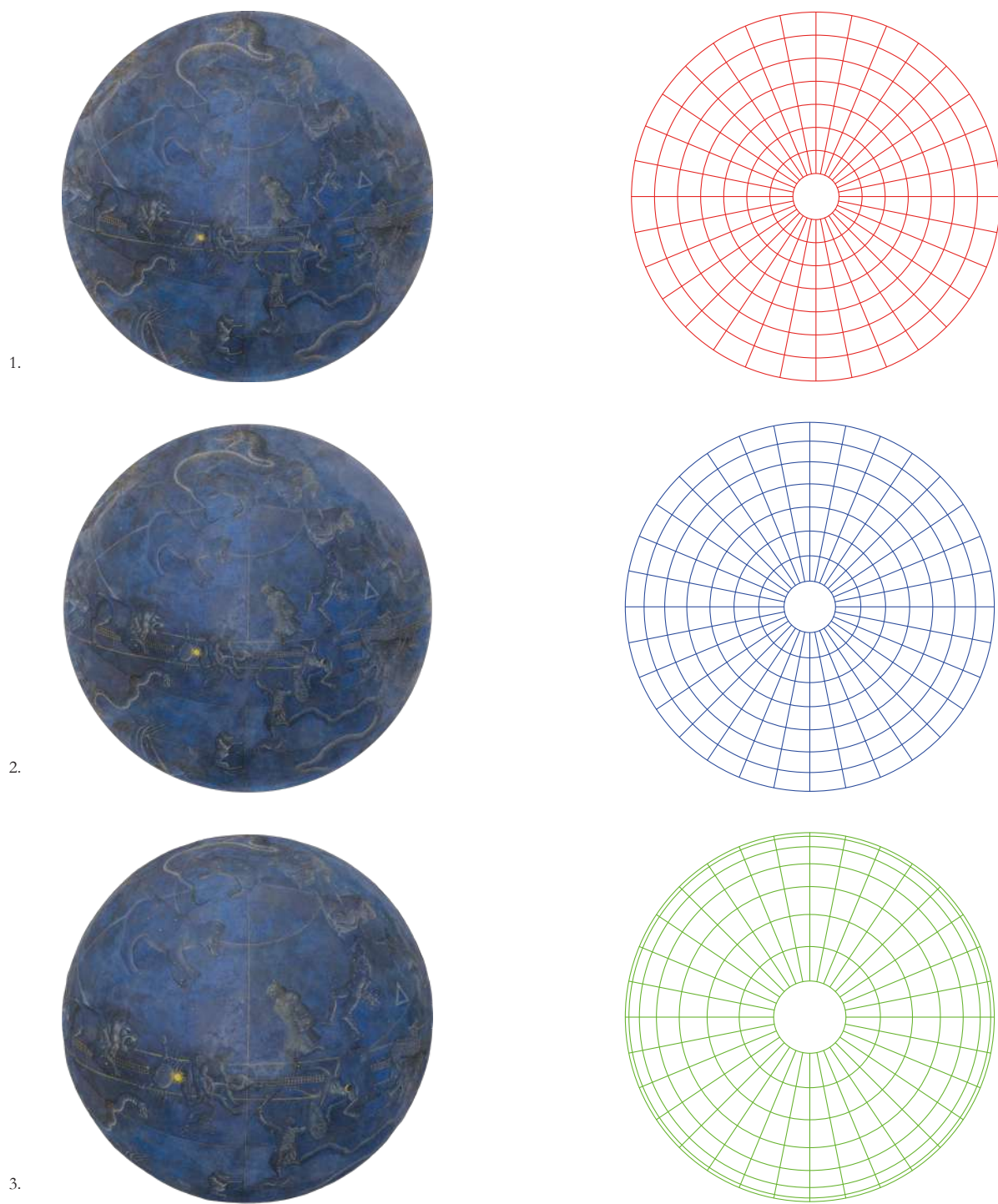


FIG. 7.28. *Le due tipologie di render fisbeye: Fisbeye Equidistant (1) e Fisbeye Equisolid (2). In basso una proiezione ortografica (3).*

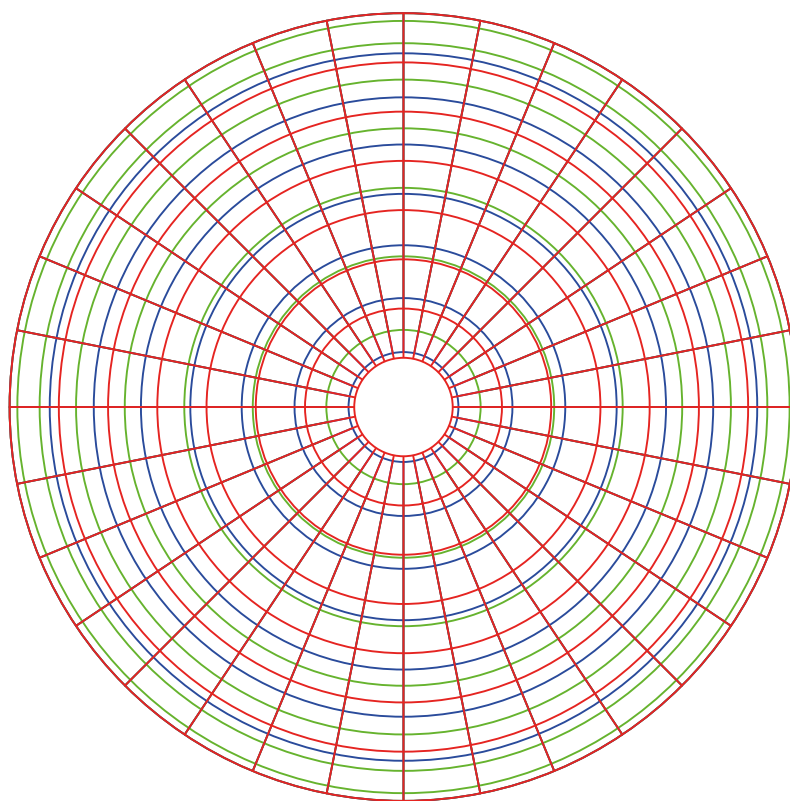


FIG. 7.29. Sovrapposizione delle griglie delle proiezioni Fisheye Equidistant (in rosso), Fisheye Equisolid (in blu) e Ortografica (in verde).

come nelle zone periferiche) e non consente la manipolazione del sensore virtuale. Non corrisponde ad una lente reale fisheye in quanto nella realtà esiste inevitabilmente qualche variazione dalla proiezione ideale a causa di limitazioni di fabbricazione o limitazioni economiche⁴⁹. Per la realizzazione di immagini fisheye per la proiezione *fulldome* a partire da scatti o registrazione eseguite con un obiettivo fisheye reale è necessario, infatti, convertire e postprodurre le immagini al fine di restituire un'immagine fisheye equidistant il più possibile ideale⁵⁰.

- Fisheye Equisolid: Camera che simula con più precisione gli obiettivi fisheye reali. Permette la calibrazione di parametri come la lunghezza focale,

l'angolo di vista e le dimensioni del sensore⁵¹.

In figura 7.28. sono schematizzate le differenze tra le due tipologie di fisheye attraverso il confronto tra la renderizzazione di un emisfero *wireframe* eseguita mediante le due tipologie di camere a disposizione e mediante una camera ortografica. Le immagini prodotte possono essere facilmente adattate a proiezioni a specchio sferico mediante l'utilizzo di numerosi tool di *warping*⁵² che, attraverso mappe di deformazione, sono in grado di mappare l'immagine o il video fisheye originale nella distorsione corretta. Ovviamente nella realizzazione di un progetto di proiezione digitale *fulldome* l'elaborazione di contenuti da proiettare è strettamente dipendente dagli strumenti a disposizione e le loro specifiche tecniche e dalle caratteristiche della superficie di proiezione



FIG. 7.30. *Simulazione della proiezione in un planetario digitale.*

e necessita di figure professionali specifiche. Tali informazioni, prese in considerazione già dagli step preliminari del progetto, consentono pertanto di calibrare il processo di renderizzazione al fine di realizzarlo nella maniera più corretta per ogni specifica situazione. Sarà pertanto necessario uno studio preliminare per poter assicurare una corretta resa finale della proiezione.

Attraverso l'utilizzo di strumenti di renderizzazione è pertanto possibile, attraverso il posizionamento centrale della camera rispetto alla cupola della Sagrestia Vecchia, la creazione di immagini o video animati impiegabili per la proiezione digitale *fulldome* in planetario, verificando così il suo possibile inserimento all'interno di percorsi museali tematici diffusi o programmi di divulgazione astronomica. In

questo modo l'opera diventa visualizzabile e fruibile da più persone contemporaneamente grazie alla sua riproduzione digitale tridimensionale, coniugando la potenza espressiva degli scenari virtuali immersivi con la creazione di un'esperienza condivisa.

NOTE

- ¹ Murray, J. (1997), pag. 99.
- ² Grau, O. (2004), pag. 13.
- ³ Murray, J. (1997), pag. 99.
- ⁴ Grau, O. (2004), pag. 13.
- ⁵ *Ivi*, pag. 14.
- ⁶ Commissione Tecnologie Digitali di ICOM Italia (2020). Immersione. In Glossario *Digitale e Tecnologico*.
- ⁷ Lombard, M., Ditton, T. (1997).
- ⁸ Ch'ng, E. (2019), pag. 16.
- ⁹ Coleridge, S. T. (1991). *Biographia Literaria*. Roma: Editori Riuniti, pag. 236.
- ¹⁰ Lee, K. M. (2004).
- ¹¹ Biocca, F. (1997). The Cyborg's dilemma: progressive embodiment in virtual environments. *J. Comput. Mediated Commun.* 3, 0–0; Kilteni, K., Groten, R., and Slater, M. (2012). The sense of embodiment in virtual reality. *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, 21, 373–387.
- ¹² Marinkovich, S. (2015).
- ¹³ Antinucci, F. (1995).
- ¹⁴ *Ibidem*.
- ¹⁵ Raaen, K., Kjellmo, I. (2015). La latenza è la misura della velocità di risposta di un determinato sistema. Rappresenta l'intervallo di tempo che intercorre fra il momento in cui viene inviato l'input/ segnale al sistema e il momento in cui è disponibile il suo output.
- ¹⁶ Davis, S., Nesbitt, K., Nalivaiko, E. nell'articolo A Systematic Review of Cybersickness (2014), in *IEE2014: Proceedings of the 2014 Conference on Interactive Entertainment*, affrontano il tema del cybersickness analizzando i sintomi sperimentati e definendone le cause.
- ¹⁷ Shedd, B. (1997) *Designing for the Dome. Designing for Dome projection and the need for a standardized bottom frameline in projection*. Consultato il 17 febbraio, 2022, da <https://benshedd.com/designing-for-the-dome-written-19941997/>
- ¹⁸ Gandolfi, G. (2021), pag. 342.
- ¹⁹ Warburg, A. (1999).
- ²⁰ Gandolfi, G. (2021).
- ²¹ Fereydooni, N., Walker, B. (2020). Virtual Reality as a Remote Workspace Platform: Opportunities and Challenges. *SIGCHI Conference*; Grubert, J. et al. (2018). The Office of the Future: Virtual, Portable, and Global. *IEEE Computer Graphics and Applications*. 38, 6, 125–133; Peters, E. et al. (2016). Design for collaboration in mixed reality: Technical challenges and solutions. *8th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications, VS-Games 2016*.
- ²² Per quanto riguarda gli astri sono stati scorporati esclusivamente il sole e la luna, e raggruppati in un unico livello tutti gli altri a causa dell'identificazione difficoltosa, per la quale è necessaria una competenza specifica.
- ²³ Wasserman, J. (2019).
- ²⁴ La *Reconstruction Region* in Reality Capture rappresenta una *box* che consente l'esportazione delle proiezioni ortografiche grazie alla selezione delle sue facce. La *box* non può essere orientata attraverso l'inserimento di coordinate ma solo attraverso la sua manipolazione visiva, non consentendo così un controllo adeguato sul risultato finale.
- ²⁵ Palmer, D. (1998). Cutout animation. In K. Laybourne (a cura di), *The animation book*. New York: Three Rivers Press.
- ²⁶ I diversi elementi del quadro sono stati scomposti, animati e riposizionati a più livelli di profondità in modo tale da consentire di aggiungere una terza dimensione allo spazio bidimensionale del quadro, fruibile mediante VR. La visita immersiva è costituita da un video 360° che consente all'utente di “entrare” nel quadro, affiancato da suoni, musiche e una spiegazione audio. L'esperienza è ancora disponibile al link: https://www.youtube.com/watch?v=bXR9EEmb-JU&ab_channel=RoyalMuseumsofFineArtsofBelgium
- ²⁷ Magnenat-Thalmann, N., Laperrière, R., Thalmann, D. (1989). Joint-Dependent Local Deformations for Hand Animation and Object Grasping. In *Proceedings on Graphics Interface '88*, pag. 26-33. Edmonton, Canada: Canadian Information Processing Society.
- ²⁸ Amin, J. (2014). *Introduction to rigging in Maya*. Consultato il 03 marzo, 2022, al link: <https://3dtotal.com/tutorials/t/maya-rigging-introduction-to-rigging-jahirul-amin-animation-character-vehicle#article-before-jumping-in-and-creating-joints-left-right-and-center-lets-take-a-step-back-and-look-at-some-of-the-main-tools-used-in-the-rigging-process>
- ²⁹ *Armatures*. Blender 2.79 Manual. Disponibile al link: <https://docs.blender.org/manual/en/2.79/rigging/armatures/introduction.html>

- ³⁰ All'interno di Unity 3D sono chiamati genericamente *asset* tutti gli elementi impiegati nella realizzazione del progetto, come modelli 3D, *scripts*, *textures*, o persino interi progetti, *prefabs*, suoni ecc. Il programma mette a disposizione una vasta libreria di *asset* prodotti da terzi, scaricabili o acquistabili a pagamento, o lascia la possibilità di crearne di nuovi a partire da zero.
- ³¹ Ferrari, F., Medici, M. (2018), pag. 65.
- ³² *Ivi*, pag. 69.
- ³³ Google Cardboard ha un prezzo compreso tra i 10 e i 40€, Samsung Gear VR si aggira intorno ai 100€ (a questi prezzi va aggiunto il costo dello smartphone, di cui però oggi siamo tutti forniti), mentre soluzioni avanzate come HTC Vive possono arrivare a costare fino a 1300-1400€.
- ³⁴ Antinucci, F. (1995).
- ³⁵ *Ibidem*.
- ³⁶ Cervellini, F., Rossi, D. (2011).
- ³⁷ Gorisse, G., Christmann, O., Amato, E. A., Richir, S. (2017), pag. 8.
- ³⁸ Kilteni, K., Groten, R., and Slater, M. (2012).
- ³⁹ Una ricerca condotta nel 2016 da Ezra Fishman ha dimostrato, analizzando un campione di 564.710 video, che il coinvolgimento dello spettatore risulta costante durante i primi due minuti mentre, oltre questa soglia, si verifica un *drop-off* significativo. Fishman, E. (2016, July 5). *How long should your next video be?* [Web log post]. Consultato, gennaio 2022, <https://wistia.com/learn/marketing/optimal-video-length>.
- ⁴⁰ Antinucci, F. (2014). <https://www.slsc.org/explore/omnimax-theater/>
- ⁴² Achiam, M., Nicolaisen, L. B., Ibsen, T. (2019).
- ⁴³ Il primo proiettore opto-meccanico della storia è stato concepito a partire da un'idea di Oskar von Miller, fondatore del Deutsches Museum a Monaco di Baviera, su suggerimento di Max Wolf, astronomo all'Università di Heidelberg. Il progetto fu sviluppato nel primo dopoguerra dall'ingegnere Walter Bauersfeld, direttore della Zeiss, e fu presentato al pubblico nel 1923. Per approfondimenti vedasi: Chant, C. A. (1935). The Story of the Zeiss Planetarium. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 29, 143-156; Chartrand, M. R. (1973).
- ⁴⁴ Il termine "fish-eye" fu coniato da R. Wood nel suo libro "Physical Optics" del 1911 (pag. 66-67), un compendio sulle visioni teoriche e sperimentali dei fenomeni ottici, facendo riferimento alla modalità di visione semisferica di un pesce sul fondo di un lago. Wood, R. W. (1911). *Physical optics*. New York: Macmillan. <https://archive.org/details/details/physicaloptic00wood/page/66/mode/2up>
- ⁴⁵ Bourke, P. (2020). *Dome Projection and Calibration for Offaxis Fisheye Lenses*. <http://paulbourke.net/dome/offaxisfisheyeprojection/>
- ⁴⁶ Bourke, P. (2005).
- ⁴⁷ Bourke, P. (2003). *Sphemir. Dome projection on a budget, also known as MirrorDome* (updated 2004). <http://paulbourke.net/dome/mirrordome/>
- ⁴⁸ <https://docs.blender.org/manual/en/2.79/render/cycles/camera.html>
- ⁴⁹ Bourke, P. (2017). *Classification of fisheye mappings*. <http://paulbourke.net/dome/fisheyetypes/>
- ⁵⁰ Bourke, P. (2016). *Fisheye lens correction*. <http://paulbourke.net/dome/fisheycorrect/>
- ⁵¹ <https://docs.blender.org/manual/en/2.79/render/cycles/camera.html>
- ⁵² Bourke, P. (2019). *Tools for Spherical Mirror Projection* (aggiornato 2021). <http://paulbourke.net/dome/fishwarp/>

CONCLUSIONI

CONCLUSIONI

Le odierne Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione consentono di declinare la fruizione del patrimonio culturale in forme nuove ed innovative che, oltre a rappresentare utili strumenti per un pubblico di "addetti ai lavori" si avvicinano sempre di più alle aspettative di un pubblico non specializzato, grazie alla progressiva integrazione di strategie provenienti dai settori più disparati. Con il crescente impiego di queste tecnologie all'interno del settore dei beni culturali, è stato riconosciuto il loro valore scientifico e comunicativo, confermato dalle numerose direttive nazionali ed internazionali sviluppate in materia che ne incentivano l'utilizzo all'interno di contesti museali e culturali. Infatti, negli ultimi anni la comunicazione digitale del bene culturale e la sua progettualità si è imposta come vero e proprio motore di funzionamento del museo. Al centro di questo processo vi è il pubblico a cui si rivolge, con l'obiettivo ultimo di sviluppare strategie di narrazione inclusive in grado di superare le barriere fisiche, cognitive e culturali.

La spinta alla digitalizzazione, già avviata da diversi anni, ha subito un ulteriore impulso dalla pandemia Covid-19 che ha costretto, le istituzioni culturali in primis, a ripensare le modalità di comunicazione con il pubblico in chiave digitale. Questa emergenza globale da un lato ha contribuito ad accelerare il processo di sperimentazione di metodologie sempre più avanzate per la digitalizzazione del patrimonio e per la sua fruizione da parte del pubblico, dall'altro ha anche acuito e reso più visibili le sue criticità. Queste sono

principalmente legate alle reali possibilità di assorbire la trasformazione digitale da parte delle istituzioni museali, in particolar modo limitate dalla mancanza di risorse e di figure professionali capaci di gestire il funzionamento delle nuove forme comunicative¹. Dall'avvento del digitale, infatti, lo sviluppo di nuove professionalità è stato esponenziale ed estremamente più veloce rispetto alla presa di coscienza da parte dei musei della necessità di una loro integrazione all'interno del processo di comunicazione del patrimonio culturale. Parallelamente alla creazione di nuovi modi di fruire il museo, risulta di centrale importanza, pertanto, che il personale delle istituzioni sia in grado di gestire e, allo stesso tempo, essere ideatore della trasformazione del museo.

In questo clima di progressi e sviluppi repentini risulta urgente ricercare degli approcci operativi capaci di guidare buone pratiche, ed è in questa direzione che intende collocarsi il presente lavoro di tesi. La ricerca trae fondamento dal presupposto che non sempre il significato di un'opera è immediatamente chiaro a tutti i visitatori ed è quindi di fondamentale importanza fornire al fruitore delle idonee chiavi di lettura in grado di migliorarne la comprensione. La tesi riflette sulle possibilità fornite dal digitale in questo senso, come strumento in grado di incrementare la conoscenza di un bene, creando narrazioni mediante linguaggi nuovi e coinvolgenti (anche grazie all'integrazione di strumenti grafici ed informatici provenienti dal mondo dei videogiochi, della programmazione e animazione) e, al contempo,

¹ NEMO (2021).

garantendone l'accessibilità. In particolare, l'obiettivo riguarda la strutturazione di un iter metodologico che, a partire da un database digitale, permetta di "tradurre" i dati derivanti da progetti di rilievo e documentazione in contenuti digitali accessibili e fruibili dal pubblico in modalità immersiva.

IL METODO

Il processo che conduce alla creazione della "conoscenza" è stato formalizzato dalla Teoria dell'Informazione nel modello della Piramide DIK (*Data, Information, Knowledge*)². Tale modello, genericamente rappresentato come una piramide, presenta alla base il "dato", inteso come informazione grezza e non ancora elaborata, e a salire l'"informazione", costituita dai dati elaborati cognitivamente, trasformati ed organizzati secondo specifici schemi, e la "conoscenza", definibile come l'informazione applicata. All'interno del settore del Rilievo e della Rappresentazione i procedimenti che consentono il passaggio tra i vari strati della piramide sono rappresentati dai processi di acquisizione, lettura, interpretazione e conseguente sistematizzazione e interconnessione delle informazioni e della loro rappresentazione attraverso modelli. Il processo applicato nel caso studio della Sagrestia Vecchia, ed in particolare della cupola emisferica della scarsella, ha seguito questa impostazione ed è stato strutturato

in due fasi principali: la prima relativa alla fase di acquisizione ed elaborazione del dato finalizzata alla creazione di un corpus documentario di base, la seconda relativa ai procedimenti di creazione dei contenuti del progetto di fruizione virtuale. Il primo step può essere riassunto nelle seguenti attività:

- Reperimento e studio di documentazione esistente, svolgimento di sopralluoghi e analisi cognitive preliminari dell'oggetto di studio e del contesto nel quale è inserito;
- Definizione delle strumentazioni di acquisizione e pianificazione della campagna di rilievo;
- Realizzazione delle campagne di rilievo e strutturazione di un database;
- Elaborazione dei dati ottenuti;
- Lettura ed interpretazione del dato per la produzione di modelli 2D e 3D.

Il secondo step, riguardante l'ideazione del progetto di fruizione virtuale COSMO e la produzione dei relativi contenuti, è stato articolato nelle seguenti fasi:

- **Definizione del problema e degli obiettivi.** Il progetto di fruizione virtuale si è posto come obiettivo quello di fornire uno strumento attraverso il quale l'utente possa fruire l'opera attraverso una modalità inedita e scoprirne i contenuti;

² Lee, E. (2012). Il modello nella sua forma più classica - DIKW - prevede un ulteriore step costituito dalla "saggezza" (*Wisdom*), intesa come il livello di comprensione più alto, risultato da processi personali (contemplazione, valutazione, ecc.) e dall'esperienza personale acquisita. Per approfondimenti sui vari modelli esistenti si veda: Ridi, R. (2019). La piramide dell'informazione: una introduzione. *AIB studi*, 59(1-2), 69-96.

- **Analisi dell'oggetto di studio.** Identificazione delle tematiche presenti all'interno della rappresentazione nella cupola (storia, astronomia, mitologia) e schematizzazione delle sue caratteristiche morfologiche e materiche;
- **Analisi delle possibilità di fruizione ed interazione.** Analisi dello stato dell'arte di progetti di fruizione virtuale, delle tecnologie a disposizione, delle modalità di comunicazione;
- **Definizione dell'utenza e individuazione di una soluzione.** L'utenza ipotizzata è eterogenea e costituita da individui non specializzati. In base alle caratteristiche intrinseche del manufatto sono state privilegiati i sistemi digitali immersivi, in grado di restituire l'opera nella sua tridimensionalità e di consentirne una fruizione più naturale possibile. In particolare, è stata prevista una fruizione mediante sistemi VR interattivi e sistemi di proiezione digitale fulldome;
- **Individuazione della tipologia di storytelling.** I vari elementi della cupola sono stati organizzati in racconti tematici e caratterizzati dalla presenza di animazioni. Quest'ultimo espediente è stato dettato dalla volontà di creare un ambiente coinvolgente e dinamico che da un lato potesse facilitare la lettura di determinati aspetti e dall'altro mantenere costante il livello di coinvolgimento ed attenzione del fruitore;
- **Creazione dei contenuti.** A partire dai dati del rilievo è stato prodotto un modello 3D ottimizzato per l'impiego in applicativi realtime e sono stati scorporati i diversi elementi del dipinto attraverso la manipolazione della texture, al fine di consentirne l'animazione e l'interazione;
- **Creazione dello scenario virtuale.** I vari elementi sono stati ricomposti e riassemblati in uno scenario unico al fine di consentire l'esportazione di video animati per la proiezione fulldome e la creazione delle meccaniche di interazione per la fruizione mediante VR;
- **Scelte stilistiche e grafiche.** Questa fase ha previsto l'identificazione della palette di colori, la creazione dell'interfaccia dell'applicativo VR e il design di un logo rappresentativo.

Il processo può essere pertanto ricondotto a due fasi principali: analisi, intesa come l'analisi del problema e documentazione sullo stato dell'arte, e sintesi, corrispondente alla fase di identificazione della soluzione, creazione di contenuti ed "assemblaggio" dello scenario e delle sue componenti (interazione, interfaccia, ecc.). Questi due step al fine di creare un prodotto utilizzabile necessitano fattivamente di una ulteriore fase di "validazione", intesa come "misurazione" del grado di soddisfazione degli obiettivi di base e come test dell'applicativo. L'ultima fase è quindi costituita dall'indagine dell'esperienza utente che, integrata sia nella fase di progettazione sia in fase di fruizione, consente di ottenere informazioni cruciali in grado di migliorare la comunicazione e l'esperienza del patrimonio culturale³.

³ Angeloni, R., Pierdicca, R., Paolanti, M., Mancini, A., Tonelli, A. (2021).

È evidente che tutti i processi metodologici di progettazione, a partire da quelli relativi al design del prodotto o dell'architettura fino a quelli relativi alla realizzazione di artefatti virtuali (applicazioni VR e proiezioni digitali del *Cultural Heritage* come nel caso in esame), non si configurano come schemi rigidi o definitivi e rappresentano piuttosto un percorso ramificato, durante il quale le informazioni provenienti dalle analisi svolte o da input esterni possono continuamente ridefinire il processo di riferimento. A tale scopo la tesi vuole evidenziare come i vari aspetti che caratterizzano un progetto di fruizione virtuale di un'opera siano strettamente interconnessi e direttamente influenzati l'uno dall'altro. Ne è un esempio emblematico l'aspetto dell'utenza individuata, definita da un particolare contesto socioculturale, determinati interessi e capacità di attenzione, la quale influenza direttamente la scelta delle modalità di fruizione e lo *storytelling* più adeguato al fine di mantenere alto il coinvolgimento del fruitore e di garantire la efficace veicolazione delle informazioni.

RISULTATI OTTENUTI E SVILUPPI FUTURI

Il progetto di rilievo svolto nell'ambito della presente tesi ha consentito di realizzare una documentazione 3D approfondita del caso studio della cupola emisferica nella scarsella della Sagrestia Vecchia, strutturando così un database digitale su cui poter effettuare analisi e studi ulteriori. Visto l'accesso interesse, tuttora presente, per le questioni legate all'interpretazione astronomica e astrologica del

dipinto, il modello 3D realizzato si configura come un supporto metrico indispensabile per architetti, astronomi e storici interessati allo studio dell'opera. L'utilizzo di un modello digitale in scala consente infatti di effettuare misurazioni e analisi direttamente sul manufatto senza la necessità di installare ponteggi fisici che comporterebbero l'interruzione della fruizione da parte del pubblico e richiederebbero lo svolgimento delle ricerche entro determinate finestre temporali. In questo modo la cupola risulta invece accessibile in qualsiasi momento, consentendo di effettuare ricerche senza particolari restrizioni legate alle tempistiche o al budget a disposizione. Inoltre, grazie alla possibilità di creare uno spazio virtuale informatizzato grazie ai sistemi GIS 3D o BIM, il manufatto si configura come un vero e proprio database all'interno del quale le ricerche possono essere svolte contemporaneamente dai gruppi di lavoro, depositate, condivise e visualizzate.

La ricerca ha inoltre evidenziato, nell'ultima parte del lavoro, come a partire dal *corpus* documentario prodotto da processi di rilevamento sia possibile strutturare progetti di fruizione virtuale per la comunicazione del patrimonio culturale. Pertanto, si tenta di compiere un ulteriore passo oltre la mera documentazione contribuendo a tracciare un indirizzo per le eventuali future attività di valorizzazione dell'opera, per le quali sarà necessaria la partecipazione di figure specializzate nei vari settori coinvolti. Tale lavoro pertanto crea una traccia per una possibile implementazione futura e arricchimento delle informazioni contenute nel progetto, determinando a sua volta un possibile ampliamento del bacino di utenza e delle modalità di

fruizione dell'opera.

Attraverso la proposta di valorizzazione la tesi tenta di fornire una innovativa articolazione delle soluzioni impiegate al fine di rendere visibili e comprensibili le tematiche insite nel manufatto, difficilmente apprezzabili dai visitatori durante la visita fisica svolta in autonomia, attualmente non supportata da informazioni aggiuntive, dimostrando come le tecnologie di fruizione virtuale (VR, AR, proiezioni digitali, ecc.), se utilizzate con attenzione, consentano di ridurre la distanza tra utenti e artefatti, agevolandone la comprensione e garantendo al contempo un elevato livello scientifico dei contenuti proposti.

Guardando oltre il progetto proposto nel lavoro di tesi, nel prossimo futuro il digitale sarà sempre più centrale per le istituzioni museali e per garantire l'accessibilità diffusa al patrimonio culturale. In particolare, negli ultimi tempi la crescente sensibilità per gli aspetti più effimeri del nostro patrimonio, sta conducendo a sperimentazioni in ambito di fruizione virtuale che possano essere in grado di restituire l'ambiente in maniera multisensoriale, consentendo di ampliare la percezione dello spazio grazie all'integrazione degli altri sensi. Ne sono degli esempi il progetto PHEND – *The Past Has Ears at Notre*

Dame (2020-2024)⁴, focalizzato sulla ricostruzione digitale di Notre-Dame de Paris e della sua acustica, e il più recente progetto europeo AURA – *Auralisation of Acoustic Heritage Sites Using Augmented and Virtual Reality*⁵, co-finanziato da Europa Creativa nel 2021, che, attraverso la sperimentazione su casi studio relativi a tre teatri europei, esplora le potenzialità dell'«auralizzazione» al fine di strutturare una visita virtuale in VR che affianchi all'aspetto visivo quello della percezione acustica dello spazio. Sempre seguendo la logica dell'interazione multisensoriale si sta muovendo anche il concetto di Metaverso, un passo avanti rispetto al concetto di realtà virtuale e realtà aumentata. Questo rappresenta infatti un vero e proprio mondo digitale in cui sarà possibile interagire con persone, oggetti e ambienti virtuali, e che, stando alla definizione di S. Mystakidis, è «immersivo», «multiutente», «persistente» e «in tempo reale»⁶. Una vera e propria copia del mondo fisico, dunque, all'interno della quale anche gli enti e le istituzioni museali, se supportate da rigorose strategie di digitalizzazione e comunicazione, potranno ritagliarsi una parte e sfruttare le opportunità che esso offre.

⁴ PHEND è un progetto di ricerca francese finanziato dall'ANR (ANR-20-CE38-0014). I partner del progetto includono ricercatori provenienti da una vasta gamma di discipline, legati alla storia sonora della cattedrale di Notre-Dame. <http://pasthasears.dalembert.upmc.fr/doku.php/phend>

⁵ AURA è un progetto guidato dalla Berliner Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit mbH (BGZ), in collaborazione con partner della Hochschule für Technik und Wirtschaft di Berlino (HTW), dei Dipartimenti di Architettura (DIDA) e Ingegneria Industriale (DIEF) dell'Università di Firenze (UNIFI) e della Lviv Polytechnic National University (LPNU), supportati da istituzioni musicali e da partner di marketing. <https://aura-project.eu/en/>

⁶ Mystakidis, S. (2022).

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

AINIS, M. (2009). Beni culturali. *Enciclopedia Treccani*.

ACHIAM, M., NICOLAISEN, L. B. IBSEN (2018) **T.** Planetariums between experience and enlightenment. *Nordisk museologi* 2019, 1, s. 11–24.

ACKE, L., DE VIS, K., VERWULGEN, S., VERLINDEN, J. (2020). *Survey and literature study to provide insights on the application of 3D technologies in objects conservation and restoration*. *Journal of Cultural Heritage*, 49, 272-288.

AKENINE-MÖLLER, T., HAINES, E., HOFFMAN, N. (2018). *Real-Time Rendering* (4th ed.); Abingdon, UK: Taylor & Francis.

ALUNNO, V. (2017). *Le tecnologie multimediali per la fruizione museale e l'esperienza dei visitatori. Prima indagine sui Musei Civici di Palazzo Buonaccorsi a Macerata*. *Il Capitale culturale*, (15), 265-29.

AMORUSO, G., MANTI, A. (2020). Le stanze-giardino e le prospettive illusorie di Vincenzo Martinelli a Bologna. In: Bertocci, S., Farneti, F. (a cura di), *L'architettura dipinta: storia, conservazione e rappresentazione digitale*, pp. 100-109. Firenze: didapress. https://issuu.com/dida-unifi/docs/l_architettura_dipinta_bertocci_farneti

ANGELONI, R., PIERDICCIA, R., PAOLANTI, M., MANCINI, A., TONELLI, A. (2021). Measuring and evaluating visitors' behaviors inside museums: the Co.ME. project. In *SCIRES-IT*, 11(1), 167–178.

ANTINUCCI, F. (2014). *Comunicare nel museo* (Nuova ed. riveduta e aggiornata ed., Percorsi 173). Roma, Bari: Laterza.

ANTINUCCI, F. (2007). *Musei virtuali*. Roma-Bari: Laterza.

ANTINUCCI, F. (1995). La realtà virtuale come strumento di conoscenza. Ginevra, Convegno *TELECOM*, 10/15/95. Disponibile al sito: <https://docuver.se/mirrors/www.mediamente.rai.it/mmold/home/bibliote/intervis/a/antinucc.htm.html#link009>

APOLLONIO, F. I., FANTINI, F., GARAGNANI, S., & GAIANI, M. (2021). *A Photogrammetry-Based Workflow for the Accurate 3D Construction and Visualization of Museums Assets*. *Remote Sensing*, 13(3), 486.

ARVIDSSON, A., DELFANTI, A. (2016). *Introduzione ai media*

digitali (2.nd ed., Itinerari. Sociologia). Bologna: il Mulino.

ATERINI, B. (2018). *Il segreto dell'illusione spazio immaginato e architettura dipinta* (2. ed. riveduta e integrata ed., Pristina servare. Quaderni 4). Firenze: Altralinea.

AZUMA, R. T. (1997). *A Survey of Augmented Reality*. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6, 4 (August 1997), 355-385.

BALDINI, U., NARDINI, B. (a cura di) (1984). *San Lorenzo. La Basilica, le Sagrestie, le Cappelle, la Biblioteca*. Firenze: Nardini editore.

BATTISTI, E. (1976). *Filippo Brunelleschi*. Milano: Electa.

BECK, J. (1989). Leon Battista Alberti and the «Night Sky» at San Lorenzo. *Artibus et Historiae*, 10(19), 9–35.

BEKELE, M., PIERDICCIA, R., FRONTONI, E., MALINVERNI E. S., GAIN, J. (2018). A survey of augmented, virtual, and mixed reality for cultural heritage. *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, 11.2: 7.

BELARDI, P., MENCHETELLI, V. (2018). 4DGypsoteca. Un'architettura multimediale per la didattica del disegno. In A. Luigini, C. Panciroli (a cura di) *Ambienti digitali per l'educazione all'arte e al patrimonio*, pp. 35-50. Milano: Franco Angeli.

BENEDETTI, B., GAIANI, M., REMONDINO, F. (a cura di) (2010). *Modelli digitali 3D in archeologia: il caso di Pompei*. Pisa: Edizioni della Normale.

BENJAMIN, W. (2015). *Piccola storia della fotografia*. Milano: Abscondita.

BENJAMIN, W. (2012). *L'opera d'arte nell'epoca della sua riproducibilità tecnica. Tre versioni (1936-39)*. Roma: Donzelli editore.

BERTOCCHI, S., FARNETI, F. (a cura di) (2020). *L'architettura dipinta: storia, conservazione e rappresentazione digitale*. Firenze: didapress.

BERTOCCHI, S., FERRARI, F., CIOLI, F., BORDINI, E. (2020). From physical to virtual memory. Digital survey for the creation of an informative “double” of Florence heritage. In atti del convegno *KUI 2020 - Culture and Computer Science – Extended Reality*.

BERTOCCHI, S., CIOLI, F., BORDINI, E. (2018). Virtual models

- for the valorisation and promotion of the business heritage in the historic centre of Florence. *DISEGNARECON: Advanced Technologies for Historical Cities Visualization*, Vol. 11, No 21, pp. 2.1-2.19.
- BERTOCCI, S., BINI, M.** (2012). *Manuale di rilievo architettonico e urbano*. Novara: CittàStudi.
- BIGONGIARI, M.** (2021). Il rilievo digitale di una fabbrica del Quattrocento: la Sagrestia Vecchia di San Lorenzo/Digital Survey of a Building Site of the Fifteenth Century: the Sagrestia Vecchia in San Lorenzo. In A. Arena, M. Arena, D. Mediatì, P. Raffa (a cura di). *Connettere. Un disegno per annodare e tessere. Linguaggi Distanze Technologie. Atti del 42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Connecting. Drawing for weaving relationship. Languages Distances Technologies. Proceedings of the 42th International Conference of Representation Disciplines Teachers*, pp. 2092-2109. Milano: FrancoAngeli.
- BIOCCA, F., LEVY, M. R.** (1995). *Communication in the age of virtual reality*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- BLUME, D.** (2006). Astrologia come scienza politica. Il cielo notturno della Sagrestia Vecchia di San Lorenzo. In F. Alberti, V. Schmitt (a cura di), *L'art de la Renaissance entre science et magie* (Collection d'histoire de l'art de l'Académie de France à Rome), pp. 149-164. Rome Paris: Académie de France à Rome Somogy.
- BODO, S.** (a cura di) (2003). *Il museo relazionale. Riflessioni ed esperienze europee*. Torino: Edizioni della Fondazione Giovanni Agnelli.
- BOLTER, J., GRUSIN, R.** (2003). *Remediation competizione e integrazione tra media vecchi e nuovi* (2.nd ed., Alf@net 11). Milano: Guerini.
- BOMMES, D., LÉVY, B., PIETRONI, N., PUPPO, E., SILVA, C., TARINI, M., ZORIN, D.** (2013). Quad-Mesh Generation and Processing: A Survey. *Computer Graphics Forum*, 32(6), 51–76.
- BOMMES, D., ZIMMER, H., KOBELT, L.** (2009). Mixed-interger quadrangulation. *ACM Transactions on Graphics*, 28(3), 1
- BONACINI, E.** (2020). *I musei e le forme dello Storytelling digitale*. Roma: Aracne Editore.
- BONACINI E.** (2011). *Nuove tecnologie per la fruizione e valorizzazione del patrimonio culturale*. Roma: Aracne Editore.
- BORTOT, A.** (2021). La sfera tra stereotomia e cartografia. Dai tracciati lapidei alla rappresentazione del cosmo. *Diségna. Connecting. Drawing for Weaving Relationships*, 8, 35-46.
- BOTSCH, M., KOBELT, L., PAULY, M., ALLIEZ, P., LÉVY, B.** (2010). *Polygon Mesh Processing*. Natick, Massachusetts: A K Peters, Ltd.
- BOURKE, P.** (2005). Spherical mirror: a new approach to hemispherical dome projection. In *Proceedings of the 3rd international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia* (GRAPHITE '05). Association for Computing Machinery, New York, NY, 281–284.
- BRAGHIERI, N.** (2020). Macchine poetanti o strumenti esecutivi? *CASABELLA*, 914, 4-12.
- BRANCHESI, L., CURZI, V., MANDARANO, N.** (a cura di) (2016). *Comunicare il museo oggi. Dalle scelte museologiche al digitale*, Atti del Convegno Internazionale di Studi, Sapienza Università di Roma, 18-19 febbraio 2016. Milano: Skira.
- BRANZAGLIA, C.** (2011). *Comunicare con le immagini*. Milano: Bruno Mondadori.
- BRUNO, I.** (2019). Comunicazione e accessibilità culturale. L'esperienza di Museo Facile. «*Il capitale culturale*», n. 20, 2019, pp. 297-325.
- BRUSAPORCI, S., TRIZIO, I.** (2013). La “Carta di Londra” e il Patrimonio Architettonico: riflessioni circa una possibile implementazione. *SCIRES-IT*, 3(2), 55-68.
- BRUSAPORCI, S., CENTOFANTI, M.** (a cura di) (2010). *Sistemi informativi integrati per la tutela, la conservazione e la valorizzazione del patrimonio architettonico e urbano*. Roma: Gangemi editore.
- BRUSCHI, A.** (2006). *Filippo Brunelleschi*. Milano: Electa.
- BUONAMICI, F., CARFAGNI, M., FURFERI, R., GOVERNI, L., LAPINI, A., VOLPE, Y.** (2018). Reverse engineering modeling methods and tools: a survey. *Computer-Aided Design & Applications*, 15(3), 443-464.
- CANNELLA, M.** (2019). The Augmented Reality as an Instrument for the Representation/Visualization of Architecture. In A. Luigini (a cura di), *Proceedings of the 1st International and Interdisciplinary Conference on Digital Environments for Education, Arts and Heritage* (Vol. 919, Advances in intelligent systems

and computing), pp. 336-344. Cham: Springer International Publishing AG.

CANNELLA, M., GAY, F. (2018). Ambienti aumentati e archeologia dei media. In A. Luigini, C. Panciroli (a cura di) *Ambienti digitali per l'educazione all'arte e al patrimonio*, pp. 64-78. Milano: Franco Angeli.

CAPRARA, B., COLOMBI, A., SCALA, C. (2018). I musei italiani nel Web: analisi, riflessioni e proposte didattiche. In A. Luigini, C. Panciroli (a cura di) *Ambienti digitali per l'educazione all'arte e al patrimonio*, pp. 79-96. Milano: Franco Angeli.

CARPENTIERI, P. (2020). Digitalizzazione, banche dati digitali e valorizzazione dei beni culturali. *Adeon*, (3), 92-101. doi: 10.7390/99476

CARPO, M. (2020). Storia brevissima, ma si spera veridica, della svolta numerica in architettura. *CASABELLA*, 914, 4-12.

CARPO, M. (1998). *L'Architettura dell'età della stampa*. Milano: Editoriale Jaca Book SpA.

CERVELLINI, F., ROSSI, D. (2011). Comunicare emozionando. L'edutainment per la comunicazione intorno al patrimonio culturale. *DISEGNARECON*, 8(4), pp. I.48-I.55.

CH'NG, E. (2019). Virtual Reality: The Use of Images for the Interpretation and Experience of Culture and Heritage. In A. Luigini (a cura di), *Proceedings of the 1st International and Interdisciplinary Conference on Digital Environments for Education, Arts and Heritage* (Vol. 919, Advances in intelligent systems and computing), pp. 13-18. Cham: Springer International Publishing AG.

CHIUPPESI, M. (2016). Musei virtuali e inclusione sociale. *Rivista Trimestrale di Scienza dell'Amministrazione*, 1, 2016, 7.

CLARKE, G. (2009). *La fotografia. Una storia culturale e visuale* (Piccola biblioteca Einaudi Mappa 9). Torino: Einaudi.

CLINI, P., QUATTRINI, R., NESPECA, R., ANGELONI, R., D'ALESSIO, M. (2022). In dialogo con i musei: innovazione e trasformazione digitale per una nuova visione del patrimonio/Dialogue with museums: innovation and digital transformation for a new vision of the cultural heritage. In C. Battini, E. Bistagnino (a cura di), *Dialoghi. Visioni e visualità. Atti del 43° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Dialogues. Visions and visuality. Proceedings of the*

43rd International Conference of Representation Disciplines Teachers. Milano: FrancoAngeli, pp. 205-220.

CLINI, P., QUATTRINI, R. (2021). Editorial. Digital Cultural Heritage, arts reproduction and museum systems. Languages and techniques in a Covid and post-covid scenario for new forms of heritage against the silence of a fragile culture. *SCIRES-IT*, 11(1), 1-10. doi: 10.2423/i22394303v11n1p1.

CLINI, P., RUGGIERI, L., ANGELONI, R., SASSO, M. (2018). Interactive immersive Virtual Museum: Digital documentation for virtual interaction. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42(2), 251-257.

COCHETTI, F., ANTINUCCI, F., RUFA, C., FORLANI, M., POLEGRI, G., FISICHELLA, J. (2018). Caracalla IVD: un tuffo nel passato Come nasce un progetto di visita immersiva. *Archeomatica*, 2, 10-14.

COHEN, J., OLANO, M., MANOCHA, D. (1998). Appearance-Preserving Simplification. In *Proceedings of the SIGGRAPH 98*, pp. 115-122. New York: ACM.

COMETA, M. (2016). *Archeologie del dispositivo: regimi scopici della letteratura*. Cosenza: Luigi Pellegrini.

COMETA, M. (2012). *La scrittura delle immagini: letteratura e cultura visuale*. Milano: Raffaello Cortina.

CORRADINI, E. (2019). Il ruolo dei Musei Universitari per la Terza Missione e l'impatto sociale. *Museologia Scientifica – Memorie*, 20, 100-103. ISBN 978-88-908819-3-0.

CRUZ-NEIRA, C., SANDIN, D. J., DEFANTI, T. A., KENYON, R. V., HART, J. C. (1992). The Cave. Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment. *Communications of the ACM*, 35 (6).

DE GIOVANNI, G. (2009) Problematiche di valorizzazione, fruizione e musealizzazione dei beni culturali. Tecnologie innovative per la città ritrovata. In G. Bonini, A. Brusa, R. Cervi (a cura di) *Il paesaggio agrario italiano protostorico e antico. Storia e didattica*. Quaderni / Istituto Alcide Cervi, Museo Cervi (6/2010), pp. 165-177. Gatatico: Istituto Alcide Cervi. ISBN 88-904211-1-2

DE LUCA, L. (2011). *La fotomodellazione architettonica: rilievo, modellazione, rappresentazione di edifici a partire da fotografie*. Palermo:

D. Flacovio.

DE QUINCY, Q. (1844) *Dizionario storico di architettura contenente le nozioni storiche, descrittive, archeologiche, biografiche, teoriche, didattiche e pratiche di quest'arte*, vol. 2. https://archive.org/details/bub_gb_ktXcW_Ry108C/page/n3/mode/2up

DE ROSA, A. (a cura di) (2003a). *Lo sguardo denigrato ruolo dell'osservatore nell'era della rappresentazione digitale* Seminario di Studi, Venezia 30-31 ottobre 2003 (Imago rerum 1). Venezia Padova: IUAV Il Poligrafo.

DE ROSA, A. (2003b). Eclisse dello sguardo. In A. De Rosa (a cura di), *Lo sguardo denigrato ruolo dell'osservatore nell'era della rappresentazione digitale* Seminario di Studi, Venezia 30-31 ottobre 2003 (Imago rerum 1), pp. 9-23. Venezia Padova: IUAV Il Poligrafo.

DE RUBERTIS, R. (1994). *Il Disegno dell'Architettura*. Roma: La Nuova Italia Scientifica.

DEKKER, E. (2007). Globes in Renaissance Europe. In D. Woodward (a cura di), *Cartography in the European Renaissance*, vol. 3.1, pp. 135-173. Chicago & London: The University of Chicago Press.

DEKKER, E. (2002). Innovations in the making of celestial globes. *Globe Studies*, 49/50, 61-79.

DEKKER, E. (1987). On the dispersal knowledge of the southern celestial sky. In *Der Globusfreund*, 35/37, Report on the VIth International Symposium of Coronelli Society, pp. 211-230.

DENARD, H. (2012). A New Introduction to the London Charter. In A. Bentkowska-Kafel, D. Baker, H. Denard (a cura di), *Paradata and Transparency in Virtual Heritage Digital Research in the Arts and Humanities Series* (Ashgate, 2012), pp. 57-71.

DOCCI, M., GAIANI, M., MAESTRI, D. (2017). *Scienza del disegno*. Torino: UTET.

ECO, U. (2007). *Il museo nel terzo millennio*. Conferenza tenuta a Bilbao, giugno 2001. <http://www.umbertoeco.it/CV/II%20museo%20nel%20terzo%20millennio.pdf>

ECO, U. (1988). Osservazioni sulla nozione di giacimento culturale. In U. Eco, F. Zeri, R. Piano, A. Graziani, *Le isole del tesoro. Proposte per la riscoperta e la gestione delle risorse culturali*, pp.

15-40. Milano: Electa.

EISENMAN, P. (1992). Oltre lo sguardo. L'architettura nell'epoca dei media elettronici. *DOMUS*, 734, 17-25. https://kiosque-domus.immanens.com/detail/publication/414?issue_id=68699&modal=open#1

EMPLER, T. (2019a). *ICT per il Cultural Heritage. Rappresentare, comunicare, divulgare*. Roma: DEI.

EMPLER, T. (2019b). Mixed Virtuality in the Communication of Cultural Heritage. In A. Luigini (a cura di), *Proceedings of the 1st International and Interdisciplinary Conference on Digital Environments for Education, Arts and Heritage* (Vol. 919, Advances in intelligent systems and computing), pp. 575-586. Cham: Springer International Publishing AG.

EMPLER, T. (2018). Traditional Museums, virtual Museums. Dissemination role of ICTs. *DISEGNARECON: Advanced Technologies for Historical Cities Visualization*, Vol. 11, No 21, pp. 13.1-13.19.

EMPLER, T. (2015). APP design con uso della realtà aumentata per la divulgazione dei beni culturali. *Disegnare Idee Immagini*, 50, 60-69.

FATTA, F. (2003). Metamorfosi e multimedialità. In A. De Rosa (a cura di), *Lo sguardo denigrato ruolo dell'osservatore nell'era della rappresentazione digitale* Seminario di Studi, Venezia 30-31 ottobre 2003 (Imago rerum 1), pp. 73-77. Venezia Padova: IUAV Il Poligrafo.

FERRARI, F. MEDICI, M. (2018). Esperienze virtuali per il Cultural Heritage: Geguti Palace in Kutaisi. *Paesaggio Urbano*, 1, 2018, 65-73.

FIORIO, M., SCHIAVI, A. (2018). *Il museo nella storia dallo studiolo alla raccolta pubblica* (2.nd ed.). Milano, Torino: Pearson.

FORTE, M. (2004). Realtà virtuale, beni culturali e cibernetica: un approccio ecosistemico. *Archeologia e Calcolatori*, 15, 423-448.

FORTE, P. (2019). Il bene culturale pubblico digitalizzato: prime note per uno studio giuridico. *P.A. Persona e Amministrazione*, N. 2(2019), II – STUDI, pp. 245-301.

FORTI, G. ET AL. (1987). Un planetario del XV secolo. *L'astronomia*, 62, 5-14.

- FORTINI BROWN, P.** (1981). Laetentur caeli: the Council of Florence and the astronomical fresco in the Old Sacristy. *Journal of the Warburg and Courtauld Institute*, 44, 176-182.
- GABELLONE F.** (2020). *Archeologia Virtuale. Teoria, Tecniche e Casi di Studio*. Lecce: Edizioni Grifo.
- GAIANI, M.** (2012). Per una revisione critica della teoria del rilievo dopo l'avvento dei mezzi digitali. In L. Carlevaris, M. Filippa (a cura di) (2012), *Elogio della teoria. Identità delle discipline del disegno e del rilievo*. p. 381.
- GAIANI, M., BENEDETTI, B., APOLLONIO, F. I.** (2011). Teorie per rappresentare e comunicare i siti archeologici attraverso modelli critici. *SCIRES-IT*, 2, 2011, pp. 33-70.
- GAIANI, M.** (2003). Elementi per un approccio al disegno a partire dalla sua dimensione temporale. Dalla 'visione' alla grafica in tempo reale attraverso il disegno come modello per la costruzione. In A. De Rosa (a cura di), *Lo sguardo denigrato ruolo dell'osservatore nell'era della rappresentazione digitale* Seminario di Studi, Venezia 30-31 ottobre 2003 (Imago rerum 1), pp. 341-354. Venezia Padova: IUAV Il Poligrafo.
- GALLUZZI, P., VALENTINO, P.A.** (a cura di) (1997). *I formati della memoria. Beni culturali e nuove tecnologie alle soglie del terzo millennio*. Firenze: Giunti gruppo editoriale.
- GANDOLFI, G.** (2021). Gli emisferi celesti della Sagrestia Vecchia a San Lorenzo e della Cappella dei Pazzi a Santa Croce: una rivalutazione astrologica. Parte II. In E. Antonello, R. Ronzitti (a cura di) "... in purissimo azzurro veggo dall'alto fiammeggiar le stelle" Atti del XVIII Convegno SIA, pp. 341-373. Padova: Padova University Press.
- GANDOLFI, G.** (2018). Cosimo de' Medici, Paolo Toscanelli e il Cielo dei Magi: una nuova ipotesi per gli Emisferi Celesti Fiorentini. *Iconocrazia*, "Iconocrazia: Art, Astronomy, Politics and Religion" 13, 2018.
- GANDOLFI, G.** (2016). Gli emisferi celesti della Sagrestia Vecchia a San Lorenzo e della Cappella dei Pazzi a Santa Croce: una rivalutazione astrologica. Parte I. In E. Antonello (a cura di) *Quo dubitet hominem coniungere caelo?* Atti del XVI Convegno SIA, Politecnico di Milano, 3-4 novembre 2016, pp. 121-148.
- GANDOLFI, G.** (2003). La fabbrica delle stelle. *L'Astronomia*, 240, 28-32.
- GARIN, E.** (1957). *Ritratto di Paolo dal Pozzo Toscanelli*. *Belfagor*, 12(3), 241-257.
- GARLANDINI, A.** (2021). Museums and Heritage in the digital age. The challenge of cultural change and technological innovation. *SCIRES-IT*, 11(1), 11-18.
- GORISSE, G., CHRISTMANN, O., AMATO, E. A., RICHIR, S.** (2017). First- and Third-Person Perspectives in Immersive Virtual Environments: Presence and Performance Analysis of Embodied Users. *Frontiers in Robotics and AI*, 4(33). doi: 10.3389/frobt.2017.00033.
- GESUELE, A., VERZA, V.** (2003). Avere occhi per vedere: questione di punti di vista. In A. De Rosa (a cura di), *Lo sguardo denigrato ruolo dell'osservatore nell'era della rappresentazione digitale* Seminario di Studi, Venezia 30-31 ottobre 2003 (Imago rerum 1), pp. 195-199. Venezia Padova: IUAV Il Poligrafo.
- GIANDEBIAGGI, P.** (2018). *Rilievo 4.0: la sfida della complessità*. In V. Cardone (a cura di) *disegno n.3/2018*, History /Histories of Representation, pp. 191-202.
- GIUSTI BACULO, A.** (2003). Rileggendo Proust. In A. De Rosa (a cura di), *Lo sguardo denigrato ruolo dell'osservatore nell'era della rappresentazione digitale* Seminario di Studi, Venezia 30-31 ottobre 2003 (Imago rerum 1), pp. 9-23. Venezia Padova: IUAV Il Poligrafo.
- GRAMIGNA, I.** (2002). Auree proporzioni nel planetario della Sagrestia Vecchia di San Lorenzo a Firenze. *Bruniana & Campanelliana*, 8, 589-594.
- GRAU, O.** (2004). *Virtual Art: From Illusion to Immersion*. Cambridge: The MIT Press.
- GRILLI, E., REMONDINO, F.** (2019). Classification of 3D Digital Heritage. *Remote Sensing*, 11(7), 847.
- GUADAGNOLI, F., IPPOLITI, E.** (2019). Through the Museum. New Models of Communication. In A. Luigini (a cura di), *Proceedings of the 1st International and Interdisciplinary Conference on Digital Environments for Education, Arts and Heritage* (Vol. 919, Advances in intelligent systems and computing), pp. 476-484. Cham: Springer International Publishing AG.
- IPPOLITI, E., CASALE, A.** (2018). Rappresentare, comunicare, narrare. Spazi e musei virtuali tra riflessioni e ricerche. In C. Panciroli, A. Luigini (a cura di) *Ambienti digitali per l'educazione*

all'arte e al patrimonio, pp. 128-150. Milano: FrancoAngeli.

IPPOLITI, E., ALBISINNI, P. (2016). Musei Virtuali. Comunicare e/è rappresentare. *DISEGNARECON*, 9(13), E.1-E.2.

IPPOLITO, A. (2018). *La Scarzuola tra idea e costruzione: Rappresentazione e analisi di un simbolo tramutato in pietra*. Roma: Editrice Sapienza.

JAKOB, W., TARINI, M., PANOZZO, D., SORKINE-HORNUNG, O. (2015). Instant Field-Aligned Meshes. In *ACM Transactions on Graphics* (Proceedings of SIGGRAPH Asia 2015), 34, 6.

JALLA, D. (2017). Materiale o immateriale? La nozione di 'patrimonio culturale' tra normativa e uso comune. *Musei in forma - Rivista Quadrimestrale Della Provincia Di Ravenna*, 58, 16-19.

KEPES, G. (1971). *Il linguaggio della visione*. Bari: Dedalo.

KILTENI, K., GROTEN, R., AND SLATER, M. (2012). The sense of embodiment in virtual reality. *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, 21, 373–387.

LAPI BELLERINI, I. (1988). Gli emisferi celesti della Sagrestia Vecchia e della Cappella Pazzi. *Rinascimento*, 28, 321-355.

LAPI BALLERINI, I. (1986). L'emisfero celeste della Sagrestia Vecchia: rendiconti da un giornale di restauro. In C. Danti et al. (a cura di), *Donatello e la Sagrestia di San Lorenzo*, pp. 75-85. Firenze: Centro Di.

LEE, E. (2012). 'Everything we know informs everything we do': a vision for environment sector knowledge and information management. *The historic environment: policy & practice*, 3 (1), 28-41.

LEE, K. M. (2004). Presence, explicated. *Communication Theory*, 14, 27–50.

LEOMBRONI, C. (2014). La Commissione Franceschini e le biblioteche: un futuro incompiuto. *Accademie e biblioteche d'Italia*, 3-4/2014, 7-19.

LIPPINCOTT, K. (1999). Globes in Art: Problems of Representation and Interpretation. In E. Dekker (a cura di), *Globes at Greenwich: A Catalogue of the Globes and Armillary Spheres in the National Maritime Museum*. Oxford: Oxford University Press and the National Maritime Museum

LO TURCO, M. (2018). Teatri urbani, affreschi di luce.

Raccontare il territorio con le tecnologie digitali. In A. Luigini, C. Panciroli (a cura di) *Ambienti digitali per l'educazione all'arte e al patrimonio*, pp. 151-171. Milano: Franco Angeli.

LOMBARD, M., DITTON, T. (1997). At the heart of it all: the concept of presence. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3(2). <https://academic.oup.com/jcmc/article/3/2/JCMC321/4080403>

LÓPEZ-MENCHERO BENDICHO, V.M., FLORES GUTIÉRREZ, M., VINCENT, M.L., GRANDE LEON, A. (2017). Digital Heritage and Virtual Archaeology: An Approach through the Framework of International Recommendations. In M. Ioannides, N. Magnenat-Thalmann, G. Papagiannakis (a cura di) *Mixed Reality and Gamification for Cultural Heritage*, pp. 3-26. Cham: Springer.

LYKOURANTZOU, I., & ANTONIOU, A. (2019). Digital Innovation for Cultural Heritage: Lessons from the European Year of Cultural Heritage. *SCIRES-IT*, 9(1), 91–98. <https://doi.org/10.2423/122394303V9N1P91>

LUIGINI, A., PANCIROLI, C. (2018). Ambienti digitali per l'educazione all'arte e al patrimonio. In C. Panciroli, A. Luigini (a cura di) *Ambienti digitali per l'educazione all'arte e al patrimonio*, pp. 17-32. Milano: Franco Angeli.

MAFRICI, N., GIOVANNINI, E. C. (2020). Digitalizing data: from the historical research to data modelling for a (digital) collection documentation. In M. Lo Turco, E. C. Giovannini, N. Mafriaci (a cura di), *Digital & Documentation, Digital strategies for Cultural Heritage*, vol. 2, pp. 39-52. Pavia: Pavia University press.

MAIEZZA, P. (2019). *Ricostruendo in digitale. Metodi e modelli per i beni architettonici*. Alghero: Publica.

MALDONADO, T. (2015). *Reale e virtuale*. Milano: Feltrinelli.

MANOVICH, L. (2012). *Museum Without Walls, Art History Without Names: Visualization Methods for Humanities and Media Studies*. <http://manovich.net/index.php/projects/museum-without-walls-art-history-without-names-visualization-methods-for-humanities-and-media-studies>.

MANOVICH, L. (2002). *Il linguaggio dei nuovi media*. Milano: Olivares.

MARANI, P., & PAVONI, R. (2006). *Musei trasformazioni di un'istituzione dall'età moderna al contemporaneo* (Elementi) (Quarta

ed.). Venezia: Marsilio.

MCLELLAN, H. (2004). Virtual Realities. In David H. Jonassen (a cura di), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology*, pag. 461-495. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

MCLUHAN, M. (1964). *Gli strumenti del comunicare* (E. Capriolo, Trad.). Milano: Il sagggiatore.

MERLO, A., BARTOLI, M. (2021). Modelli interpretativi a servizio dell'arte: la porta del Paradiso di Lorenzo Ghiberti. In A. Arena, M. Arena, D. Mediati, P. Raffa (a cura di) Atti del convegno UID 2021, *CONNETTERE – un disegno per annodare le tessere*, pp. 2493-2512, Milano: Franco Angeli.

MERLO, A. (2019). ICT e Cultural Heritage: il video “La Battaglia di Anghiari di Leonardo da Vinci. Storia di un capolavoro incompiuto”. Premesse metodologiche. In E. Ferretti, A. Merlo, & S. Pini (a cura di), *Dalla storia al museo: la Battaglia di Anghiari di Leonardo da Vinci. Temi e problemi fra architettura, ricostruzioni virtuali e disseminazione della ricerca scientifica*, pp. 47-56. Firenze: didapress.

MERLO, A., FANTINI, F., LAVORATTI, G., ALIPERTA, A., LÓPEZ HERNÁNDEZ, J. L. (2013a). Texturing e ottimizzazione dei modelli digitali reality based: la chiesa della Compañía de Jesús. *DISEGNARECON*, 12, 2-14.

MERLO, A., SÁNCHEZ BELENGUER, C., VENDRELL VIDAL, E., FANTINI, F., ALIPERTA, A. (2013b). 3d Model visualization enhancements in Real-Time game engines. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W1, 181-188.

MERZAGORA, M., RODARI, P. (2007). *La scienza in mostra. Musei, science centre e comunicazione*. Milano: Bruno Mondadori.

MESCHINI, A. (2011). Tecnologie digitali e comunicazione dei beni culturali. Stato dell'arte e prospettive di sviluppo. *DISEGNARECON*, 4(8), I.14-I.24.

MILGRAM, P., TAKEMURA, H., UTSUMI, A., KISHINO, F. (1994). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, SPIE, 2351, 282-292.

MIOLA, A. (2012). Cosa è PICT oggi. *SCIRES-IT*, 2(2), 17-28.

MIRZOEFF, N. (2002). *Introduzione alla cultura visuale*. Roma:

Meltemi editore.

MOLES, A. (1972). *Teoria informazionale dello schema*. Versus, 2, 29-37.

MONACI, S. (2003). Comunicazione integrata al Museo Nazionale del Cinema. *Nuova Museologia*, 9, 2-4.

MOROLLI, G. (2013). *La lingua della colonna. Morfologia, proporzioni e semantica degli ordini architettonici*. Firenze:edifir.

MOROLLI, G., RUSCHI, P. (1993). San Lorenzo, 393-1993. *L'architettura, le vicende della Fabbrica*. Firenze: Alinea.

MÜNSTER, S., APOLLONIO, F. I., BELL, P., KUROCZYNSKI, P., DI LENARDO, I., RINAUDO, F., AND TAMBORRINO, R. (2019). Digital Cultural Heritage meets Digital Humanities. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, XLII-2/W15, 813–820. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-813-2019>

MURRAY, J. (1997). *Hamlet on the Holodeck: The Future of Narrative in Cyberspace*. Cambridge, MA: The MIT Press.

MYSTAKIDIS, S. (2022). Metaverse, *Encyclopedia*, Vol. 2 No. 1, pp. 486–497.

NANETTI, A., BENVENUTI, D., BIGONGIARI, M., RADZI, Z., & BERTOCCI, S. (2020). Animation for the study of Renaissance treatises on Architecture. Francesco Di Giorgio Martini's corinthian capital as a showcase. *SCIRES-IT*, 10(2), 19-36. <http://www.sciresit.it/article/view/13390/0>

NOBILE, I. (2003). L'immagine della filosofia: bencipensa o malcivede?. In A. De Rosa (a cura di), *Lo sguardo denigrato ruolo dell'osservatore nell'era della rappresentazione digitale* Seminario di Studi, Venezia 30-31 ottobre 2003 (Imago rerum 1), pp. 157-163. Venezia Padova: IUAV Il Poligrafo.

NOCERINO, E., STATHOPOULOU, E. K., RIGON, S., REMONDINO, F. (2020). Surface Reconstruction Assessment in Photogrammetric Applications. *Sensors* (20(20), 5863.

OPPEDISANO, F., ROSSI, D. (2012). Il design della comunicazione per i beni culturali: sperimentare segni e identità per comunicare la città di Ascoli Piceno e il suo territorio. *DISEGNARECON*, 5(10) special issue, 211-218.

OPPEDISANO, F., BERRUTI, G. (2010). *L'immagine neutra*

indicazioni e contributi interdisciplinari per la riflessione sull'approccio al design della comunicazione audiovisiva. Firenze: Alinea.

PACCIANI, R. (1994). Testimonianze per l'edificazione della basilica di San Lorenzo a Firenze, 1421-1442. *Prospettiva*, 75/76, 85-99. Firenze: Centro Di Della Edifimi SRL.

PALOMBINI, A. (2012). Narrazione e virtualità: possibili prospettive per la comunicazione museale. *Digitalia*, 1, 9-22.

PANCIROLI, C. (2010). Il modello di Museo Virtuale dell'Educazione dell'Università di Bologna. *Ricerche di Pedagogia e Didattica*, 5(2), 1-13.

PANOFKY, E. (2013). *La prospettiva come «forma simbolica»* (E. Filippini, Trad.). Milano: Abscondita.

PAOLINI, P., DI BLAS, N., ALONZO, F. (2005). ICT per i beni culturali: esempi di applicazione. *Mondo Digitale*, 15, 44-61. http://archivio-mondodigitale.aicanet.net/contenuto.asp_pag_archivio2005.html

PARIS L. (2014). *Dal problema inverso della prospettiva al raddrizzamento fotografico*. Roma: Aracne Editrice.

PARRINELLO, S., PICCHIO, F., DELL'AMICO, A. (2019). When the Future is Past. Digital Databases for the Virtualization of Museum Collection. In A. Luigini (a cura di), *Proceedings of the 1st International and Interdisciplinary Conference on Digital Environments for Education, Arts and Heritage* (Vol. 919, Advances in intelligent systems and computing), pp. 212-222. Cham: Springer International Publishing AG.

PARRONCHI, A. (1984). L'emisfero settentrionale della Sagrestia Vecchia. In U. Baldini, B. Nardini (a cura di) (1984). *San Lorenzo. La Basilica, le Sagrestie, le Cappelle, la Biblioteca*, pp. 73-79. Firenze: Nardini editore.

PETRUCCI, A. (1990). I percorsi della stampa: da Gutenberg all'Encyclopédie. In P. Rossi (a cura di), *La memoria del sapere. Forme di conservazione e strutture organizzative dall'antichità a oggi*, pp. 135-164. Roma-Bari: Laterza.

PETTENATI, G. (2019). *I paesaggi culturali Unesco in Italia*. Milano: Franco Angeli.

PINOTTI, A., SOMAINI, A. (2016). *Cultura visuale. Immagini, sguardi, media, dispositivi*. Torino: Einaudi.

PONTI, G. (1932). Discorso sull'arte fotografica. *DOMUS*, 53, 285-289. https://kiosque-domus.immanens.com/detail/publication/414?issue_id=68002&modal=open#60

QUICI, F. (2003). L'occhio confuso ovvero un punto di vista sulla transcodifica del reale. In A. De Rosa (a cura di), *Lo sguardo denigrato ruolo dell'osservatore nell'era della rappresentazione digitale* Seminario di Studi, Venezia 30-31 ottobre 2003 (Imago rerum 1), pp. 99-105. Venezia Padova: IUAV Il Poligrafo.

QUICI, F. (1996). *Il disegno cifrato: ermeneusi storica del disegno di architettura*. Roma: Officina.

RAAEN, K., KJELMO, I. (2015). Measuring Latency in Virtual Reality Systems. In K. Chorionopoulos, M. Divitini, J. Baalsrud Hauge, L. Jaccheri, R. Malaka (a cura di) *Entertainment Computing - ICEC 2015*. ICEC 2015. Lecture Notes in Computer Science, vol 9353, pp. 457-462. Cham: Springer.

RAGGHIANI, C. (1986). *Arte, fare e vedere*. Firenze: UIA Baglioni & Berner.

RAGONE, G. (2016). Virtualizzazione, storytelling, translucchi. In L. Branchesi, V. Curzi, N. Mandarano (a cura di), *Comunicare il museo oggi. Dalle scelte museologiche al digitale*, Atti del Convegno Internazionale di Studi, Sapienza Università di Roma, 18-19 febbraio 2016, pp. 335-344. Milano: Skira.

ROSSI, A., CARBONE, E., FIORILLO, F. (2016). Remote fruition of material and non material goods. ICT for IV century BC necropolis. In T. Slovakia (a cura di), *ScieCONF 2016 (4rd International multidisciplinary Scientific Conference)*, vol. 4(1), pp. 163-168.

RUSCHI, P. (2017). Rimeditando sulle fonti brunelleschiane. In L. Waldman, R. Gaston (a cura di), *San Lorenzo a florentine church* (Villa I Tatti 33), pp. 279-292. Firenze: Villa I Tatti, The Harvard University Center for Italian Renaissance Studies.

SARTORI, G. (1999) *Homo videns. Televisione e post-pensiero*. Roma: GLF Editori Laterza.

SATTA, G. (2013). Patrimonio culturale. *Parole-chiave*, 49, 1-18.

SCHONBERGER, J.L., FRAHM, J.M. (2016) Structure-from-motion revisited. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Las Vegas, NV, USA, 27-30 June 2016; pp. 4104-4113.

SETTIS, S. (2011). *La tutela del patrimonio culturale*. Enciclopedia Treccani.

SETTIS, S. (2007). *Italia S.p.a l'assalto al patrimonio culturale* (2.nd ed., Piccola biblioteca Einaudi 347 Nuova serie. Arte. Architettura. Cinema. Teatro. Musica). Torino: Einaudi.

SGROSSO, A. (2003). Dalla parte di visionari. In A. De Rosa (A cura di), *Lo sguardo denigrato ruolo dell'osservatore nell'era della rappresentazione digitale* Seminario di Studi, Venezia 30-31 ottobre 2003 (Imago rerum 1), pp. 107-126. Venezia Padova: IUAV Il Poligrafo.

SIMON, N. (2010). *The participatory Museum*. Santa Cruz: MUSEUM 2.0. <https://tomskmuseum.ru/content/editor/Posetitel/Opit%20kolleg/Muzej-v-kontekste-kultury-uchastiya.pdf>

SOLIMA, L. (2011). Nuove tecnologie per la valorizzazione dei beni culturali. In SRM-Studi e ricerche per il Mezzogiorno (a cura di) *Mezzogiorno & beni culturali. Caratteristiche, potenzialità e policy per una loro efficace valorizzazione*, pp. 271-294. Napoli: Cuzzolin.

STAVRU, A. (2017). L'Ekphrasis antica tra visualità e scrittura, genealogia di un concetto. In M. Martino, M. Ponzi (a cura di) *Visualità a scrittura*, pp. 19-32. Roma: Lithos

SUTHERLAND, I. E. (1968). A head-mounted three-dimensional display. In *AFIPS Conference Proceedings. 1968 Fall Joint Computer Conference*, vol. 33, pp. 757-764. Washington, DC: The Thompson Book Company.

TALBOT, W. (2010). *The Pencil of Nature*. Project Gutenberg. <https://www.gutenberg.org/files/33447/33447-pdf.pdf>

TISSANDIER, G., THOMSON, J. (1877). *A history and handbook of photography*. New York : Scovill Manufacturing Co. Consultato da Internet Archive: https://archive.org/details/gri_33125001045372/page/n171/mode/2up.

VON SCHORLEMER, S. (2020). UNESCO and the Challenge of Preserving the Digital Cultural Heritage. *Santander Art and Culture Law Review*, 2(6), 33-64.

WALDMAN, L., GASTON, R. (a cura di) (2017). *San Lorenzo a florentine church* (Villa I Tatti 33). Firenze: Villa I Tatti, The Harvard University Center for Italian Renaissance Studies.

WARBURG, A. (1999). *The Renewal of Pagan Antiquity: Contributions to the Cultural History of the European Renaissance*. Los Angeles: Getty Research Institute for the History of Art and the Humanities.

WASSERMAN, J. (2019). The Astronomical Painting in the Old Sacristy of San Lorenzo. In J. Dellith, N. Horsch, D. Roberts (a cura di) *Götterbimmel und Künstlerwerkstaat. Perspektiven auf die Kunst der italienischen Renaissance*, Leipzig: Leipziger Universitätsverlag, pp. 17-32. <http://www.adottaunoperadarte.it/jack-wasserman-the-astronomical-painting-in-the-old-sacristy-of-san-lorenzo-florence>

SITOGRAFIA E RISORSE ONLINE

PAGINE WEB

Associazione Macchine Matematiche: <http://www.macchinematematiche.org/>

Atlas of Places: <https://www.atlasofplaces.com/>

David Rumsey Map Collection: <https://www.davidrumsey.com/>

DrawingMachines.org, An archive of optical/mechanical/automated drawing machines/devices/aids: <https://drawingmachines.org/index.php>

Mostra online "Il paesaggio toscano nei critofilm di Carlo Ludovico Ragghianti": <https://centropatos.it/il-paesaggio-toscano-nei-critofilm-di-carlo-ludovico-ragghianti/>

Sito web del progetto di ricerca "Engineering Historical Memory": <https://engineeringhistoricalmemory.com/>

Sito web della Fondazione Ragghianti: <https://www.fondazioneragghianti.it/>

Sito web di Piergiorgio Mariniello "Breve storia del cinema": <https://www.brevestoriadelcinema.org>

The DEAD MEDIA project by Bruce Sterling: <http://www.deadmedia.org/>

ARTICOLI

CHARTRAND, M. R. (1973). The History of the Planetarium. *Planetarian*, vol.2(3). <https://www.ips-planetarium.org/page/a-chartrand1973>

HAMILTON, A., BROWN, K. (2016). Photogrammetry and Star Wars Battlefront. Presentation at *Game Developers Conference*, Mar. 2016: <http://www.frostbite.com/2016/03/photogrammetry-and-star-wars-battlefront/>

MARINKOVICH, S. (2015). La prima regola della realtà virtuale: non infrangere l'illusione di presenza. *Wired*, 20 marzo 2015. <https://www.wired.it/gadget/computer/2015/03/20/prima-regola-realta-virtuale-non-infrangere-lillusione-presenza/>

REPORT

COMMISSIONE EUROPEA, DIREZIONE GENERALE DELLA RICERCA E DELL'INNOVAZIONE, SONKOLY, G., VAHTIKARI, T. (2018). *Innovation in cultural heritage research: for an integrated European research policy*, Publications Office: <https://data.europa.eu/doi/10.2777/569743>

COMMISSIONE EUROPEA, DIREZIONE GENERALE DELLA RICERCA E DELL'INNOVAZIONE, (2018). *Innovative solutions for cultural heritage: from EU funded Re&I projects*, Publications Office: <https://data.europa.eu/doi/10.2777/496381>

ICOM (2020a). *Museums, museum professionals and COVID-19: follow-up survey*. ICOM Report, november 2020: https://icom.museum/wp-content/uploads/2020/11/FINAL-EN_Follow-up-survey.pdf

ICOM (2020b). *Museums, museum professionals and COVID-19*. ICOM Report, may 2020: <https://icom.museum/wp-content/uploads/2020/05/Report-Museums-and-COVID-19.pdf>

ITU (2020). *Measuring digital development. Facts and Figures 2020*: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/FactsFigures2020.pdf>

ITU (2019). *Measuring digital development. Facts and Figures 2019*: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/FactsFigures2019.pdf>

NEMO (2021). *Follow-up survey on the impact of the COVID-19 pandemic on museums in Europe*. Final Report, gen 2021: https://www.ne-mo.org/fileadmin/Dateien/public/NEMO_documents/NEMO_COVID19_FollowUpReport_11.1.2021.pdf

NEMO (2020). *Survey on the impact of the COVID-19 situation on museums in Europe*. Final Report, apr 2020: https://www.ne-mo.org/fileadmin/Dateien/public/NEMO_documents/NEMO_COVID19_Report_12.05.2020.pdf

UFFICIO DELLE PUBBLICAZIONI, (2018). *Heritage at risk: EU research and innovation for a more resilient cultural heritage*, Publications Office: <https://data.europa.eu/doi/10.2830/711288>

UNESCO (2020). *Museums around the world in the face of Covid-19*. UNESCO Report, may 2020: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373530>

UNESCO (2021). *Museums around the world in the face of Covid-19*. UNESCO Report, apr 2021: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000376729_eng?posInSet=2&queryId=f15efc24-f658-4a08-963d-62096e959727

REGOLAMENTI, CARTE, DISPOSIZIONI DI LEGGE

CARTA DI LONDRA (2003). *Per la visualizzazione digitale dei beni culturali*: <https://www.londoncharter.org/>

CONVENZIONE DELL'AJA (1954). *La Convenzione per la protezione di beni culturali in caso di conflitto armato*: <https://www.unesco.beniculturali.it/english-convenzione-dellaja-1954/>

COMMISSIONE EUROPEA (2018). *Quadro d'azione europeo sul patrimonio culturale. Documento di lavoro dei servizi della commissione*.

COMMISSIONE EUROPEA (2011). *L 283/39 RACCOMANDAZIONE DELLA COMMISSIONE del 27 ottobre 2011 sulla digitalizzazione e l'accessibilità in rete dei materiali culturali e sulla conservazione digitale* (2011/711/UE).

COMMISSIONE FRANCESCHINI (1967) *Atti della Commissione d'indagine per la tutela e la valorizzazione del patrimonio storico, archeologico, artistico e del paesaggio*: https://www.icar.beniculturali.it/biblio/_view_volume.asp?ID_VOLUME=17

DECRETO LEGISLATIVO 22 GENNAIO 2004, N. 42, *Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137* (Consultato dicembre 2021, https://www.bosettiaggiati.eu/info/norme/statali/2004_0042.htm#P.02.01.01)

ICOMOS (2017). *The Seville Principles. International principles of virtual archaeology*. <http://www.sevilleprinciples.com/>

ICOMOS (2008). *The ICOMOS Charter for the Interpretation and Presentation of Cultural Heritage Sites.*

MiBACT, DGE (Direzione Generale Educazione) (2021). *IV Piano Nazionale per l'Educazione al patrimonio culturale 2021.* <https://dger.beniculturali.it/educazione/piano-nazionale-per-educuzione-al-patrimonio/>

MiBACT, DGE (Direzione Generale Educazione) (2015-16). *I Piano Nazionale per l'Educazione al patrimonio culturale (2015-2016).* <https://dger.beniculturali.it/educazione/piano-nazionale-per-educuzione-al-patrimonio/>

UNESCO (2016). *Recommendation concerning the Preservation of, and Access to, Documentary Heritage Including in Digital Form.* <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000244675?5=null&queryId=51e0eacc-efc8-4100-88e5-4135d08d1bd1>

UNESCO (2015). *Recommendation concerning the Protection and Promotion of Museums and Collections, their Diversity and their Role in Society.* <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245176/PDF/245176qaa.pdf.multi>

UNESCO (2004). *Convenzione per la salvaguardia del patrimonio culturale immateriale.* <https://ich.unesco.org/doc/src/00009-IT-PDF.pdf>

UNESCO (2003). *Carta per la conservazione del patrimonio digitale.* https://unesblob.blob.core.windows.net/pdf/UploadCKEditor/carta_UNESCO_it.pdf

ABSTRACT

Il presente lavoro di dottorato ha indagato il ruolo delle tecnologie digitali (ICT) per la comunicazione e la divulgazione dei beni culturali, affrontando in particolare la tematica relativa alle procedure di acquisizione e produzione di contenuti digitali da impiegare all'interno di scenari virtuali immersivi.

L'obiettivo della tesi è quello di individuare le tecnologie e le metodologie che entrano in gioco nella realizzazione di un progetto di valorizzazione e che, in virtù del loro elevato tasso di diffusione e di sviluppo, producono dei cambiamenti significativi nelle possibilità di automazione dei processi operativi di acquisizione e al contempo anche nei meccanismi di rappresentazione, fruizione e comunicazione. Il fine ultimo è quello di strutturare di un iter metodologico che, a partire da un database digitale, permetta di "tradurre" i dati derivanti da progetti di rilievo e documentazione in contenuti digitali accessibili e fruibili dal pubblico.

La ricerca inizialmente affronta una lettura dell'evoluzione dei linguaggi grafici e degli strumenti per la rappresentazione del patrimonio, evidenziando i principali cambiamenti introdotti dagli sviluppi tecnologici e dalle innovazioni tecniche tanto nelle capacità di conoscere il reale e documentarlo quanto nelle modalità impiegate per la sua comunicazione. Inoltre, viene realizzato uno stato dell'arte sulle possibilità che le odierne ICT offrono per la comunicazione della cultura, in particolare all'interno di contesti espositivi e museali oggi sempre più ibridati con il mondo del digitale, e sulle linee guida e le direttive internazionali e nazionali in materia di

digitalizzazione e visualizzazione del patrimonio culturale.

La parte applicativa del lavoro di ricerca presenta il caso studio della raffigurazione pittorica sulla cupola emisferica nella scarsella della Sagrestia Vecchia di San Lorenzo a Firenze, risalente al XV secolo. Questa, rappresenta una figurazione dell'emisfero celeste catturato in una particolare congiunzione astrale e raccoglie sulla sua superficie quelle che erano le conoscenze astronomiche e astrologiche del tempo, configurandosi come un *unicum* nel panorama dell'arte e della scienza rinascimentale.

Sulla base del *corpus* documentario prodotto durante le campagne di rilievo, realizzate a partire da febbraio 2020, la tesi propone nell'ultima parte la strutturazione del progetto di fruizione virtuale COSMO e indaga l'efficienza degli strumenti digitali di fruizione in relazione al caso studio specifico e alle potenzialità individuate. Il progetto prevede la realizzazione di uno scenario virtuale immersivo animato che permette all'utente di scoprire i contenuti e le tematiche della raffigurazione celeste. In particolare, vengono affrontati i procedimenti di post-produzione dei modelli 3D e le procedure di ottimizzazione necessarie per il loro impiego in scenari virtuali *real-time*. La fruizione è stata ipotizzata secondo due diverse modalità: mediante sistemi VR, in cui è prevista una fruizione singola ed è presente la componente dell'interattività, e mediante proiezione digitale *fulldome*, sistema già ampiamente impiegato all'interno di planetari digitali per la divulgazione astronomica.

ABSTRACT

This PhD thesis investigates the role of digital technologies (ICTs) for the communication and dissemination of cultural heritage, addressing, in particular, the issue related to procedures for the acquisition and production of digital content for immersive virtual scenarios. The aim of this work is to identify the technologies and methodologies that participate in the realization of a valorization project and that, due to their high rate of diffusion and development, produce significant changes in the possibilities of automation of processes of acquisition and, at the same time, also in the mechanisms of representation, fruition and communication. The ultimate goal is to define a methodological pipeline that, starting from a digital database, allows to “translate” data from survey and documentation projects into digital content accessible and usable by the public.

The research initially addresses a reading of the evolution of graphic languages and tools for the representation of heritage, highlighting the main changes introduced by technological developments and technical innovations as much in the capacity to know the reality and document it as in the methods employed for its communication. In addition, a state of the art is carried out about the possibilities that ICTs offer for the communication of culture, particularly within exhibition and museum contexts that are now increasingly hybridized with the digital world. This part also present an overview of the international and national guidelines on the digitization and visualization of cultural heritage.

The second part of the research work presents the case study of the pictorial depiction on the hemispheric surface of the dome in the Scarsella of the Old Sacristy of San Lorenzo in Florence, dating back to the 15th century. This painting represents a celestial hemisphere captured in particular astral conjunction and gathers on its surface the astronomical and astrological knowledge of the time, configuring itself as a unicum in the panorama of Renaissance art and science.

Based on the documentary corpus produced during the survey campaigns, carried out since February 2020, the thesis proposes in the last part the creation of the virtual project “COSMO” and investigates the efficiency of the digital fruition tools concerning the specific case study and the identified potentialities.

The project involves the creation of an immersive animated virtual scenario that allows the user to discover the contents and themes of the celestial depiction. In particular, the post-production procedures of 3D models and the optimization procedures necessary for their use in real-time virtual scenarios are addressed. The fruition has been hypothesized according to two different modalities: through VR systems, marked out in single-player mode and on interactivity component, and through full-dome digital projection, a system already widely used within digital planetariums for astronomical divulgation.

Università degli Studi di Firenze
Dipartimento di Architettura DIDA
Dottorato di Ricerca in Architettura,
curriculum di Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente

Tesi di Dottorato di Ricerca D.P.R. 11/7/1980 - Ciclo XXXIV
Settore disciplinare ICAR 17

Coordinatore Prof. Giuseppe DE LUCA

IL CIELO DIPINTO NELLA SAGRESTIA VECCHIA DI SAN LORENZO A FIRENZE
La rappresentazione e fruizione virtuale del Patrimonio Culturale

Dottoranda
Eugenia BORDINI

Tutor
Prof. Stefano BERTOCCI

Referente del Curriculum
Prof. ssa Barbara ATERINI