

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

Scuola di Scienze
Dipartimento di Fisica e Astronomia
Corso di Laurea Magistrale in Astrofisica e Cosmologia

**Studio ed implementazione di un
sistema di proiezione per i planetari di
Piacenza e di Modena**

Tesi di laurea

Presentata da:
Michele Cifalinò

Relatore:
Chiar.mo Prof. Fabrizio Bonoli

Sessione III
Anno accademico 2015-2016

Indice

| | |
|---|-----------|
| Abstract | 6 |
| Introduzione | 8 |
| | |
| 1 Il Planetario e la didattica astronomica | 10 |
| 1.1 La nascita del Planetario..... | 10 |
| 1.1.1 Un po' di storia..... | 10 |
| 1.1.2 I primi strumenti | 14 |
| 1.2 I Planetari Moderni..... | 17 |
| 1.2.1 Planetari in Italia ed in Europa..... | 17 |
| 1.2.2 Planetari nel mondo..... | 18 |
| | |
| 2 Elementi costitutivi di un Planetario | 21 |
| 2.1 Gli elementi fondamentali..... | 21 |
| 2.2 Le cupole..... | 22 |
| 2.2.1 Cupole gonfiabili..... | 23 |
| 2.2.2 Cupole itineranti..... | 24 |
| 2.2.3 Cupole fisse..... | 26 |
| 2.3 Sistemi di proiezione opto-meccanici..... | 27 |
| 2.4 Sistemi di proiezione digitali..... | 29 |
| 2.4.1 Sistema di proiezione Fish-Eye..... | 31 |
| 2.4.2 Sistema di proiezione a Specchio Sferico..... | 34 |
| 2.4.3 Sistema di proiezione a Multi-Proiettore..... | 40 |
| 2.5 I contenuti da proiettare..... | 40 |
| 2.5.1 Stellarium..... | 41 |
| 2.5.2 Nightshade..... | 42 |
| | |
| 3 Il prototipo del Planetario digitale di Piacenza | 44 |
| 3.1 Storia e obiettivi del progetto..... | 44 |
| 3.1.1 Esperienza didattica svolta a Piacenza (2014)..... | 44 |

| | |
|---|-----------|
| 3.1.2 Esperienza didattica svolta a Parma (2015)..... | 46 |
| 3.2 La location del Museo di Storia Naturale di Piacenza..... | 47 |
| 3.2.1 Le sale e gli spazi..... | 48 |
| 3.3 Valutazione preliminare del progetto..... | 50 |
| 3.3.1 Valutazione della cupola..... | 52 |
| 3.4 Valutazione tecnica del progetto..... | 56 |
| 3.4.1 Il prototipo Fish-Eye..... | 56 |
| 3.4.2 Il prototipo a specchio sferico..... | 64 |
| 3.4.3 Valutazioni conclusive | 68 |
| 4 La soluzione adottata per il Planetario di Piacenza | 71 |
| 4.1 Considerazioni e scelte tecniche..... | 71 |
| 4.1.1 Configurazione di Stellarium360..... | 73 |
| 4.2 Valutazione delle prestazioni..... | 74 |
| 5 Programmazione didattica del Planetario di Piacenza | 80 |
| 5.1 La didattica dell'astronomia tramite il planetario..... | 80 |
| 5.1.1 Scopo del progetto..... | 81 |
| 5.1.2 Metodologie didattiche..... | 81 |
| 5.2 Programmi didattici e contenuti..... | 82 |
| 5.2.1 Modulo 1: Storia dell'astronomia..... | 82 |
| 5.2.2 Modulo 2: Geografia astronomica ed orientamento nel cielo..... | 83 |
| 5.2.3 Modulo 3: Sistema Solare..... | 85 |
| 5.2.4 Modulo 4: Stelle e galassie..... | 86 |
| 5.2.5 Programma didattico indirizzato alle scuole..... | 87 |
| 5.3 Utilizzo delle funzioni avanzate di Stellarium..... | 88 |
| 5.4 Considerazioni conclusive e prospettive future per il Planetario di Piacenza..... | 89 |
| 5.4.1 Il futuro del Planetario..... | 89 |
| 5.4.2 Prospettive didattiche..... | 90 |
| 6 Realizzazione di un sistema di proiezione per il Planetario di Modena | 91 |
| 6.1 La storia del Planetario..... | 92 |

| | |
|--|------------|
| 6.2 L'attività didattica del Planetario di Modena..... | 93 |
| 6.2.1 Lo strumento..... | 93 |
| 6.2.2 L'offerta didattica del Planetario | 95 |
| 6.2.3 Osservazioni sull'attività didattica attuale..... | 96 |
| 6.3 Realizzazione di un sistema di proiezione per il Planetario di Modena..... | 97 |
| 6.3.1 Valutazioni preliminari..... | 97 |
| 6.3.2 Implementazione del sistema di proiezione a specchio sferico..... | 89 |
| 6.3.3 Test e valutazione del nuovo sistema di proiezione | 104 |
| 6.3.4 Considerazioni conclusive e prospettive future..... | 109 |
| 7 Conclusioni | 110 |
| 8 Bibliografia | 112 |
| Appendice 1 Location esterna nel Museo di Storia Naturale di Piacenza | 114 |
| Appendice 2 File dati di impostazione di Stellarium | 115 |
| Appendice 3 Macro per la visualizzazione dello zodiaco | 117 |
| Appendice 4 Macro per la visualizzazione del cielo | 119 |
| Appendice 4 Planimetrie Planetario di Modena | 120 |
| Appendice 6 Programmazione Planetario di Modena estate 2016 | 121 |
| Ringraziamenti | 122 |

Abstract

Aim of this study is both the technical implementation of a digital planetarium for the city of Piacenza and the development of a projection system for the Modena Planetarium, which at present uses an old opto-mechanical projector. The planetarium designs have recently undergone sweeping changes and improvements in technology, in particular with regard to the digital projection systems.

Following this direction, the first purpose concerns the technical design of a Planetarium well-suited inside the Natural Museum in Piacenza. A broad spectrum investigations have therefore been made, guided by the general hypothesis that a Planetarium is to be intended as a "portable solution". Two prototypal projection systems have been designed and tested for this purpose: a projection system based on a spherical mirror technique has been then selected as the best solution. A considerable part of the project concerns the education program for schools, differentiating the treated topics and the methods used for different approaches.

The second purpose is the implementation of the digital projection system under the dome of the Modena Planetarium. The compatibility of digital projection system with an opto-mechanical projector was evaluated as last analysis.

The planetarium intrinsic value and educational role was assessed as final consideration from a study of the scope and quality of its functions as a teaching tool. The tests performed with the planetarium confirmed the ability to inspire enthusiasm for science to audiences of all ages.

Introduzione

Il presente lavoro di Tesi si è sviluppato a partire da un mio personale progetto di realizzare un planetario per la città di Piacenza, a seguito di alcune esperienze svolte come divulgatore presso planetari itineranti. L'idea si è basata sulla possibilità di assemblare un sistema di proiezione digitale a basso costo e ad alta efficienza per planetari di medie piccole dimensioni, senza l'ausilio di particolare strumentazione.

Recentemente le tecnologie digitali si sono sempre più diffuse all'interno dei maggiori planetari oggi esistenti, diventando parte integrante dell'offerta didattica rivolta alle scuole ed al pubblico. Un sistema di proiezione opto-meccanico ha di fatto la caratteristica di poter riprodurre fedelmente e con un certo grado di accuratezza la volta celeste, così come si potrebbe osservare in qualsiasi luogo e tempo. I vantaggi nell'utilizzare una tecnologia digitale risiedono principalmente nella possibilità di allargare l'offerta didattica in termini di contenuti, come ad esempio filmati o animazioni, che in linea di principio possono anche trattare argomenti molto variegati. Il planetario diventa dunque uno “strumento” didattico dalle enormi potenzialità per introdurre alle scienze astronomiche un pubblico più ampio possibile. La proiezione full-dome rappresenta una modalità didattica estremamente interessante, tramite la quale lo spettatore è guidato attraverso un'esperienza audio-visiva all'apprendimento dei contenuti.

In senso più ampio è possibile anche pensare ad un'integrazione fra sistemi opto-meccanici e digitali, come di fatto avviene nelle strutture di grandi dimensioni, con l'utilizzo di tecnologie di riproduzione avanzate. Sulla base di queste considerazioni gli studi ed i test che ho condotto hanno dimostrato la piena compatibilità dei due sistemi, mostrando come sia possibile arricchire le prestazioni di un planetario tramite un sistema di proiezione economico ma al tempo stesso facile da implementare.

Il primo obiettivo è dunque stato quello di realizzare e successivamente testare un planetario itinerante presso il Museo di Storia Naturale di Piacenza. E' evidente che riuscire a riprodurre immagini o filmati su una superficie curva non è un'operazione semplice, anche se concettualmente non troppo difficile da realizzare: è necessario effettuare numerosi test per raggiungere un perfetto connubio fra tutti gli elementi ottici che costituiscono un sistema di proiezione. Al fine di individuare la soluzione più idonea ho personalmente realizzato e successivamente testato due prototipi differenti, con lo scopo di rendere operativo il Planetario di Piacenza. A tal fine ho anche definito un programma didattico suddiviso in diversi moduli differenziati in base al target scolastico, con l'obiettivo di rendere compatibili le proiezioni con i programmi didattici svolti nelle scuole elementari, medie e superiori.

Una volta implementato e reso funzionante lo strumento ho avuto modo di verificarne la compatibilità con un proiettore opto-meccanico integrando il sistema di proiezione digitale presso il Planetario Civico di Modena, ottenendo ottimi risultati sia in termini di prestazioni che di potenzialità didattiche. Il nuovo sistema è stato da me testato in pubblico durante alcune conferenze, con lo scopo di essere finalmente installato in maniera permanente divenendo parte integrante del Planetario di Modena.

Nel primo capitolo è presentata un'introduzione di carattere storico sulla nascita del planetario, inteso come strumento per la rappresentazione della volta celeste. Nel secondo capitolo sono prese in esame le principali tecnologie di proiezione digitale e confrontate con i tradizionali sistemi di proiezione opto-meccanici. Nel capitolo terzo e quarto è discusso il caso del Planetario di Piacenza presentando gli studi ed i test che ho effettuato per realizzare e rendere operativo lo strumento, mentre nel quinto capitolo è approfondita la programmazione didattica e la presentazione dei contenuti alle scuole. Il sesto e ultimo capitolo è dedicato al Planetario Civico di Modena e all'integrazione del prototipo che ho realizzato con lo strumento presente in cupola.

1 Il Planetario e la didattica astronomica

1.1 La nascita del Planetario

1.1.1 Un po' di storia

L'interesse per l'uomo nei confronti del cielo si è manifestato fin dalle epoche più remote: le prime rappresentazioni iconografiche di fenomeni astronomici risalgono addirittura alla preistoria (basti qui ricordare alcune ossa incise, risalenti al Paleolitico Superiore, con sequenze di incisioni che sembrano raffigurare l'evoluzione delle fasi lunari). Uno dei più antichi (e primitivi) esempi è il famoso “disco di Nebra”, un reperto che sembrerebbe indicare una rozza rappresentazione della Luna e di alcuni astri. Le applicazioni in lamina d'oro presentano una tecnica particolare di lavorazione ad intarsio: è presumibile che il disco sia stato sotterrato intorno al 1600 a.C. mentre la data di fabbricazione viene stimata tra il 1700 a.C. e il 2100 a.C.

Prima di trovare però una raffigurazione completa della volta celeste dobbiamo aspettare il I sec. d.C.: è il caso di alcuni soffitti egiziani di epoca tolemaica tra cui il celebre Planisfero di Denderah del Tempio di Hathor, di cui esiste una versione di forma circolare al Museo del Louvre.[1]

Nei corso dei secoli ben presto l'interesse si indirizzò verso una rappresentazione “sferica” della volta celeste. Questa idea si dimostrò ben presto realizzabile in due modi: immaginando di osservare il cielo “dall'interno” (simulando cioè il gesto di alzare gli occhi per guardare il cielo) oppure osservandolo “dall'esterno”. Il primo metodo risulta senz'altro il più naturale e ovvio visto che la volta celeste ci appare come un'enorme cupola che ci avvolge, una semisfera nella quale l'osservatore occupa la posizione centrale. Il secondo modo consiste nella costruzione di un globo sul quale vengono riportate stelle e costellazioni, analogamente ai mappamondi geografici.

In tal senso uno degli strumenti astronomici dell'antichità più noti (probabilmente derivata dall'astrolabio) fu la sfera celeste, inventata intorno al VI sec. a.C. presumibilmente da Anassimandro di Talete. Ne esistevano fin dall'inizio versioni "piene", dette globi celesti, e rappresentazioni ad armatura metallica, dette sfere armillari (dal latino armilla, "braccialetto, anello"). Uno dei globi più antichi che ci sia pervenuto è l'Atlante Farnese (o "Ercole") databile al II secolo d.C. (e copia di un originale greco, probabilmente risalente al II secolo a.C.) : una statua di marmo che raffigura un gigante, Atlante, che regge sulle spalle un globo celeste sul quale sono scolpite in bassorilievo alcune costellazioni, l'eclittica e l'equatore celeste.[1]

Un altro esempio molto rappresentativo è la cosiddetta "Macchina di Antikitera", un meccanismo di bronzo composto da una trentina di ruote dentate scoperto all'inizio del secolo a bordo di una nave greca affondata intorno al 75 a.C. e rappresenta di fatto un primo tentativo di riproduzione meccanica della volta celeste. Tale congegno, datato tra il I secolo a.C. e il III d.C., è un vero e proprio "calcolatore astronomico" composto da quattro frammenti di rame, che mostrano le vestigia di quello che doveva essere stato un congegno meccanico con complicati ingranaggi.

In epoca romana esistevano anche volte che riproducevano il cielo e ne imitavano la rotazione diurna per mezzo di ingegnosi meccanismi idraulici. Lo storico latino Svetonio (ca. 70-140 d.C.) nel libro dedicato a Nerone nelle "Vite dei Cesari" ci parla esplicitamente di un dispositivo di questo genere, ornato di rappresentazioni zodiacali e costellazioni dipinte, nella sala principale ottagonale della Domus Aurea. Nel 66 d.C. Nerone vi invitò Tiridate, fratello del re dei Parti, e nei secoli successivi divenne una prerogativa tradizionale dei re sassanidi possedere una sala del trono sormontata da una cupola rotante a imitazione del firmamento.[1]

Il planetario moderno tuttavia ha mosso i suoi primi passi nella seconda metà del XVII secolo, quando furono soddisfatte due condizioni fondamentali: una

conoscenza completa del cielo e un livello apprezzabile della tecnologia. I primi veri planetari infatti sorsero quando le tecniche costruttive raggiunsero un livello superiore: furono dapprima costruiti globi enormi, capaci di contenere anche dieci, quindici persone che, con movimenti idraulici, ruotavano ogni 24 ore con un'inclinazione pari a quella dell'asse terrestre ma il tutto era enormemente dispendioso e rumoroso, oltre a non possedere la precisione e i movimenti più fini che si ricercavano.

Nel 1664 apparve il Globo di Gottorp, costruito da Andreas Busch in Germania per il duca Federico III di Holstein-Gottorp. Era una sfera cava di rame di poco più di tre metri di diametro e di circa tre tonnellate e mezzo di peso, sulla cui superficie esterna erano raffigurati i continenti e gli oceani della Terra e su quella interna una mappa del cielo costituita da stelle dorate.

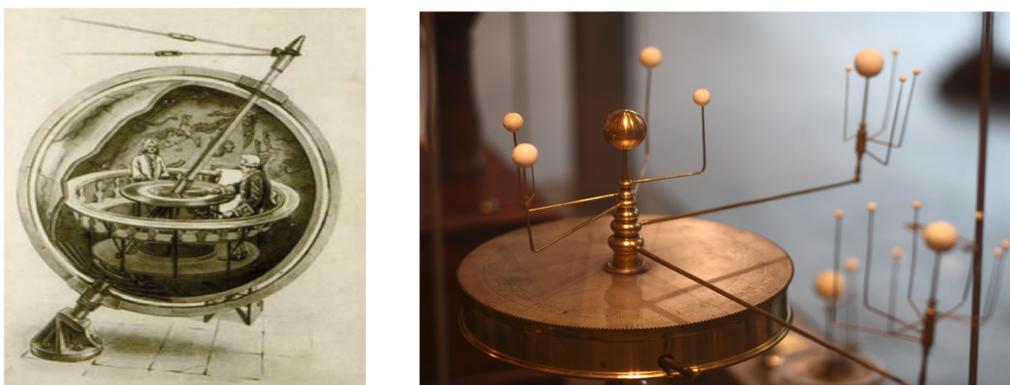


Fig 1.1: Rappresentazione del globo di Gottorp (a sinistra) e un esemplare di planetario da tavolo (a destra).

Internamente vi era posto per una dozzina di persone, che potevano così osservare il cielo da una posizione più naturale, cioè dall'interno, e percepire la simulazione della rotazione terrestre, in quanto il globo era azionato da un dispositivo idraulico, che ne permetteva la rotazione completa in 24 ore.

All'inizio del XVIII secolo si assiste in Inghilterra alla nascita dei primi planetari da tavolo o "Orrery". Questo termine apparve per la prima volta nel 1713 e deriva dal nome del collezionista di strumenti scientifici Charles Boyle, conte di Orrery, il quale aveva incoraggiato e favorito l'impresa di realizzare questo genere di strumenti che riproducevano il moto del Sole, della Terra e della Luna. Un grande passo avanti fu il globo celeste Atwood, costruito due secoli più tardi (1912-1913) con materiali più leggeri in modo da ridurre il peso e mosso da un motore elettrico.



Fig 1.2: Immagine del globo celeste Atwood.

I visitatori penetravano nel globo attraverso un'apertura nell'emisfero meridionale e mediante 700 forellini potevano vedere altrettante stelle (fino alla quarta magnitudine apparente); altri forellini venivano scoperti in prossimità dei pianeti e il Sole era rappresentato con una lampada mentre la Luna e le fasi con

dei dischi. Il globo Atwood veniva illuminato dall'esterno affinché la luce passando attraverso i forellini della sfera fornisse l'impressione del cielo stellato e la piattaforma sulla quale stavano i visitatori fungeva da piano dell'orizzonte. Per la parte interna della cupola venne utilizzata una base di legno, sulla quale venne spruzzato un sottile strato di cemento che, una volta solidificato e dipinto di bianco, costituì una buona superficie per la proiezione. Quando la macchina venne accesa per la prima volta il risultato fu talmente straordinario da lasciare a bocca aperta i suoi stessi progettisti e costruttori, che furono anche i primi spettatori.[3] [4]

1.1.2 I primi strumenti

Bisogna aspettare il '900 per parlare di veri e propri planetari, costruiti per rappresentare dinamicamente, in spettacoli educativi e di intrattenimento, la volta celeste ed i fenomeni ad essa connessi.[5]

E' proprio nei primi decenni del ventesimo secolo che Walter Bauersfeld direttore della Zeiss (un'azienda ottica tedesca) rivoluzionò il concetto di planetario portandolo alla sua attuale fisionomia. Nel globo Atwood e in tutti i globi planetari di quel tempo, l'illuminazione era esterna e tutta la sfera che ospitava i pochi osservatori ruotava intorno ad essi. Bauersfeld rovesciò i due concetti: l'illuminazione doveva essere interna e la sfera doveva restare immobile. Più precisamente, la semisfera celeste osservabile doveva essere una cupola bianca, fissa, assimilabile ad enorme schermo, sulla quale una macchina rotante relativamente piccola e posta nel centro della sala avrebbe proiettato gli astri e i loro movimenti. Naturalmente tutta la sala doveva essere nella più completa oscurità, affinché i proiettori fossero in grado di svolgere la loro funzione. L'enorme vantaggio derivava dalla possibilità di comandare con semplici interruttori elettrici una piccola macchina da proiezione che richiede scarsa potenza per ruotare piuttosto di una sfera di grandi dimensioni. Diversi proiettori secondari provvedevano ad illuminare sulla volta i pianeti, la Luna e il Sole,

avendo ognuno di questi l'opportunità di muoversi e ruotare per espletare i moti propri dei pianeti, le fasi lunari e il moto annuo del Sole. Era questo il primo planetario Zeiss (il modello I, 1923, il primo planetario moderno) e da allora i vari modelli della Zeiss e di altre case produttrici progredirono nella stessa direzione migliorandone i moti, il bilanciamento dei pesi, i proiettori accessori e le luci di sala.

I nuovi modelli progredirono con il miglioramento delle macchine sotto molteplici aspetti e contemporaneamente si affacciarono sul mercato nuove case produttrici, quali la giapponese Goto che, approfittando dell'entrata in vigore in Giappone nel 1954 della legge sulla Promozione della Scienza in tutti gli ordini di insegnamento, iniziò lo studio di modelli di proiettori adatti a tale scopo. Nel 1963 uno dei modelli più piccoli di questa casa costruttrice, E-3 o E-5 (3 e 5 corrispondono all'ampiezza in metri della cupola) fu installato in ogni scuola elementare giapponese.

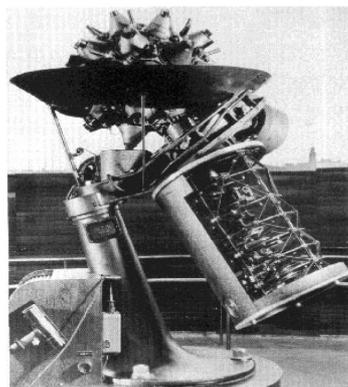


Fig 1.3: La "Meraviglia di Jena" a sinistra ed il modello "GOTO" della Zeiss a destra.

Un'altra casa costruttrice, la Spitz, dal nome del suo fondatore il Dr. Armand Spitz, sviluppò un proiettore ottico di piccole dimensioni, l' "A-1", adatto per scuole e piccoli musei, che fu prodotto e installato negli istituti scolastici

statunitensi per tutti gli anni '50. Il planetario opto-meccanico era ormai diventato un diffuso strumento per l'informazione astronomica a livello didattico, divulgativo e perfino militare.

Il primo planetario italiano fu inaugurato a Roma nel 1928, quando dopo la prima guerra mondiale la Germania offrì all'Italia, in conto riparazione dei danni di guerra, un planetario Zeiss, un apparecchio di nuovissima concezione che aveva riscosso un grande entusiasmo nel pubblico tedesco: fu il primo planetario che si doveva aprire al di fuori del mondo austro-tedesco.

Nel 1980 la soprintendenza statale ritenne opportuno restaurare la sala della Minerva destinandola a sala espositiva e così dopo una storia travagliata il planetario fu smontato, messo in casse, consegnato all'Università La Sapienza e depositato presso l'osservatorio di Monte Porzio. Si nota inoltre il variare delle soluzioni architettoniche legate alla struttura dei planetari: fino agli anni '70 le cupole erano montate in modo orizzontale, così da corrispondere all'orizzonte naturale del cielo notturno, ed avevano i sedili reclinabili e distribuiti in modo concentrico, per favorire una visione più confortevole. Ma agli inizi del 1970 Spitz costruì la prima configurazione di cupola inclinata, con sedili disposti a gradinata per garantire una visione ottimale: iniziò così la rapida evoluzione tecnologica dei planetari, che ha portato alla vasta disponibilità attuale di modelli, controllati dal computer e sofisticati sistemi di automazione. Sul piano architettonico gli architetti si sono sbizzarriti nel creare le forme più varie per queste strutture: in alcuni moderni planetari il pavimento è di vetro, per permettere agli spettatori di sentirsi al centro di una sfera, sulla cui superficie interna vengono proiettate immagini in tutte le direzioni: l'impressione è quella di galleggiare nello spazio. In altri ancora pulsanti o joystick sui braccioli dei sedili consentono al pubblico di percepire fisicamente lo spettacolo in tempo reale. La tendenza negli ultimi decenni del ventesimo secolo è quella di rendere la tecnologia digitale sempre più partecipe e parte integrante della modalità didattica offerta dai planetari. [2] [3]

1.2 I Planetari Moderni

1.2.1 Planetari in Italia ed in Europa

Uno dei più importanti planetari in Italia è sicuramente il Planetario di Milano: situato nei giardini di Corso Venezia, ha una pianta ottagonale e una sala di proiezione prima in Italia per dimensione: ogni anno ospita oltre 100.000 visitatori, grazie alle numerose attività didattiche proposte sia per le scuole che per il pubblico.

Oltre al Planetario di Milano, in Italia è possibile trovarne altri famosi nelle maggiori città: basti pensare alle strutture comunali di Venezia, Modena, Ravenna, Firenze e Reggio Calabria (gestito dalla Società Astronomica Italiana). Invece nelle città di Torino e Roma, sono presenti congiuntamente planetario e museo astronomico (anche se ad oggi il planetario di Roma non risulta operativo). Nella lista dei planetari comunali si affiancano anche numerose strutture private, di minori dimensioni, che risultano attive nell'attività di divulgazione ma che non rientrano nella presente analisi.

Nel resto dell'Europa naturalmente gli esempi possono essere molto vari: una struttura simile al Planetario di Milano la troviamo ad esempio a Stoccarda, immersa in uno splendido parco: è il più grande della Germania e nel teatro a forma di cupola può ospitare circa 200.000 spettatori.

In Spagna invece il planetario più importante è situato a Madrid, all'interno del Parco Tierno Galvan: anch'esso propone interessanti mostre, conferenze e osservazioni, che spesso avvengono da una torre di osservazione alta 28 metri e dotata di un modernissimo telescopio. Sempre in Spagna troviamo "L'Hemisfèric", il planetario è il fulcro nella Città delle Arti e delle Scienze di Valencia. La struttura nel suo complesso ricorda un grande occhio (è dotata di un movimento di apertura che ricorda la palpebra oculare): la semisfera al centro (il "bulbo oculare") è racchiuso in una struttura in cemento, lunga 110m e larga 55,5m.

Il più famoso in Europa (e forse anche il più particolare) è sicuramente il planetario dell'Osservatorio di Greenwich, in Inghilterra: come il Planetario di Milano (e tanti altri) esso è situato all'interno di uno splendido parco, dove ha sede anche un museo. Ha una struttura esterna davvero unica: questo planetario è ospitato all'interno di un tronco di cono rivestito in bronzo, dal peso di circa 45 tonnellate, ed inclinato di $51,5^\circ$ rispetto all'orizzonte, ovvero la latitudine di Greenwich e parallelo al primo meridiano.[5]

Un ulteriore planetario importante in Europa è quello di Mosca: riaperto nel 2010 dopo 17 anni di lavori, contiene al suo interno il più grande pendolo di Foucault, pesante oltre 50 chilogrammi.

Un record particolare spetta invece all'Austria: nel villaggio sciistico di Königsleiten al Gerlosplatte, è presente un planetario della Zeiss con una cupola dal diametro di 7 metri. Aperto al pubblico dal 1997, è situato a ben 1.600 metri sopra il livello del mare ed è il planetario più alto d'Europa (2016).

1.2.2 Planetari nel mondo

Nel mondo si trova una vastissima gamma di esempi di planetari che spiccano sia per le tecnologie adottate per la proiezione sia per l'originalità architettonica delle strutture. Nella maggior parte dei casi (specialmente se di dimensioni notevoli) si utilizzano sistemi di proiezione "ibridi", in cui cioè la proiezione tradizionale (opto-meccanica) viene affiancata da proiettori digitali.

Come primo esempio vi è l'Hayden Planetarium a New York, il quale fa parte del "Rose Center", che a sua volta è integrato nel Museo Americano di Storia Naturale, senza dubbio una delle migliori attrazioni di New York. La struttura è una sfera completa divisa per due: la metà superiore è denominata "Star Theatre", in cui si presentano diversi spettacoli in modalità "fulldome", e la metà inferiore è il "Big Bang Theater", in cui vengono proposte animazioni 3-D sulla nascita dell'universo. A fianco alla sfera del Rose Center si sviluppa un percorso a spirale che ripercorre la storia dell'Universo, attraverso modelli in scala di

galassie, stelle, pianeti e altri corpi celesti. L'Hayden Planetarium è sicuramente un esempio di planetario basato su proiezioni digitali di alta definizione, grazie al modello Zeiss Universarium IX abbinato ad un'offerta didattica molto variegata: la particolarità consiste anche nello spaziare fra temi molto eterogenei, anche non riguardanti direttamente l'astronomia, proponendo show 3-D molto vari (scienze naturali, dinosauri, ecc..).[5][6]

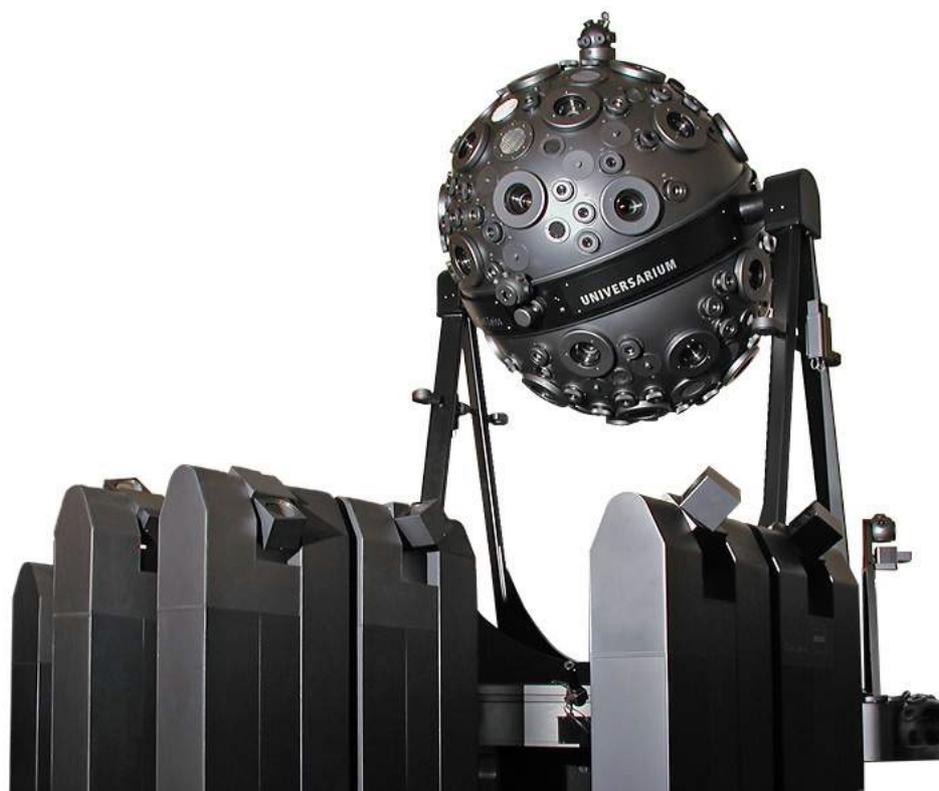


Fig 1.4: Il modello "Universarium IX" della Zeiss.

In California si trova un altro interessante esempio: il planetario "Samuel Oschin" fa parte del Griffith Observatory, situato all'interno Griffith Park, un parco urbano di fama mondiale, essendo una delle attrazioni più popolari a Los Angeles. La cupola di circa 23 metri di diametro (75 piedi) ospita 290 posti ed è realizzata in alluminio. La tecnologia di proiezione si basa su un sistema digitale

Zeiss di ultima generazione, in grado di produrre veri e propri shows tridimensionali.

Sempre in California, A San Francisco, si trova “The Morrison Planetarium” facente parte della California Academy of Sciences, uno dei più grandi musei di storia naturale del mondo. Il museo e il planetario si trovano nel Golden Gate Park, a sua volta una delle attrazioni più popolari di San Francisco.

A Buenos Aires, Argentina Il planetario Galileo Galilei si trova nel famoso parco urbano, nel quartiere di Palermo di Buenos Aires. Il planetario è stato aperto al pubblico nel 1968. La cupola è di 20 metri (66 piedi) di diametro, e ha 360 posti. La proiezione è assicurata da un sistema opto-meccanico modello “Megastar” affiancato da 8 computer e proiettori digitali in grado di proiettare immagini ad alta risoluzione (3K) a 14000 Lumen.

Un primato davvero eccezionale spetta tuttavia al Science Museum di Nagoya City (città della regione di Chubu nell'isola di Honshu in Giappone) che ospita un planetario imponente con un diametro di ben 35 metri (115 ft), e 350 posti a sedere. Grazie alle sue dimensioni, oltre ad avere il primato nel mondo in quanto a grandezza è anche uno dei planetari più sofisticati e tecnologicamente avanzati mai costruiti. Nel caso del planetario di Nagoya troviamo un bellissimo esempio di sistema “ibrido” di altissime prestazioni: esattamente nel centro della struttura è installato un avanzatissimo proiettore Zeiss (modello Universarium IX) in grado di proiettare oltre 9000 stelle di sesta magnitudine, affiancato da 6 proiettori digitali e 24 computers, in grado di produrre immagini di 8000 x 8000 pixels lungo l'intera superficie della cupola, con una qualità dell'immagine sorprendente. [6]

2 Elementi costitutivi di un Planetario

2.1 Gli elementi fondamentali

In questo capitolo verranno presentate le soluzioni tecnologiche alla base dei planetari moderni, sia dal punto di vista software che hardware.

E' da precisare che attualmente esistono numerose varianti e soluzioni tecniche differenti che hanno reso possibile lo sviluppo dei planetari anche su piccola scala (ovvero strumenti di modeste dimensioni e di costi contenuti). In quest'ottica si giustifica anche il proliferare di piccole strutture, spesso a carattere itinerante, che operano sovente a carico di associazioni o piccoli comuni.

Dal punto di vista tecnico la tendenza attuale, che si avverte ormai anche nei planetari più grandi, vede una prevalenza dei sistemi così detti “digitali”, che sfruttano cioè tecnologie di proiezione 3-D. Nel corso degli ultimi anni si è assistito ad una diffusione sempre maggiore di proiettori di alta definizione, la cui elevata produzione (in termini di unità vendute all'anno) ha portato ad una notevole riduzione dei costi di acquisto.

Fatte queste premesse di carattere generale verranno ora esaminate nel dettaglio le varie soluzioni tecniche che si possono adottare per proiettare i contenuti all'interno di una superficie sferica. Gli elementi costitutivi alla base di un planetario moderno si identificano essenzialmente in tre categorie:

- una superficie riflettente (generalmente una cupola di varie dimensioni)
- un sistema di proiezione (digitale oppure opto-meccanico)
- il contenuto da proiettare

La definizione dei suddetti punti definisce e identifica la soluzione tecnica adottata per il funzionamento di un planetario. Come si vedrà in seguito ogni

componente deve rispettare certe caratteristiche e gli elementi da tenere in considerazione sono molteplici: un buon risultato in termini di proiezione scaturisce dal rispetto di alcuni requisiti minimi che vengono applicati a ciascun elemento costitutivo. E' altresì facile comprendere che disporre del miglior software diventa inutile se il sistema di proiezione è di scarsa qualità e viceversa.

2.2 Le cupole

Il primo elemento rappresenta la superficie su cui avviene la proiezione: le cupole per planetari possono essere di varie dimensioni e possono presentare caratteristiche molto eterogenee in termini di materiali, tuttavia esistono delle caratteristiche comuni che devono essere rispettate:

- rugosità interna relativamente bassa, per evitare discontinuità in grado di disturbare l'immagine prodotta;
- i materiali impiegati devono soddisfare i requisiti minimi di sicurezza previsti dalle normative vigenti;
- pigmentazione grigia per ottimizzare la resa della proiezione;

Mentre il primo e il secondo punto sono abbastanza ovvi, il terzo è di fatto meno intuitivo: contrariamente a quanto si può pensare lo sfondo ottimale non è bianco ma piuttosto grigio chiaro. La ragione deriva da alcune considerazioni di carattere percettivo, ovvero di come viene percepita l'immagine in un ambiente completamente buio, come l'interno di un planetario. L'esperienza visiva all'interno di una cupola è tanto più "realistica" quanto più ampio è il range dinamico dell'immagine proiettata, cioè il contrasto tra le zone illuminate e le zone in ombra. Questo è un punto fondamentale per la resa ottimale di un sistema di proiezione, in quanto una porzione di immagine molto brillante

proiettata su un lato della cupola in ombra tenderà a riflettere a sua volta la luce sulla superficie opposta. Si creerà quindi di conseguenza un innalzamento del livello del nero in quella zona e la qualità dell'immagine complessiva ne risentirà pesantemente. Tale problematica era di fatto sconosciuta ai planetari opto-meccanici di un tempo, in cui l'unico soggetto proiettato erano le stelle, ovvero sorgenti di luce puntiformi. Da quando invece si sono diffusi i sistemi digitali e si è iniziato a proiettare immagini estese di luminosità variabile, questa problematica è diventata importante. Per risolvere i contrasti si utilizza quindi una pigmentazione grigia, in modo da ridurre la riflessione della luce incidente a circa il 40-50%, aumentando sensibilmente il range dinamico dell'immagine.

In quanto a dimensioni delle cupole si trovano diametri differenti, in genere compresi fra 4 e 35 metri. La scelta del diametro della struttura ha un impatto determinante sul funzionamento del planetario, soprattutto in termini di qualità della proiezione: a dimensioni crescenti si ha una maggiore capienza ma al tempo stesso crescono di pari passo le difficoltà legate alla risoluzione effettiva dell'immagine, oltre che alla sua luminosità. Tali considerazioni valgono naturalmente sia per i sistemi opto-meccanici che (e soprattutto) per quelli digitali.

Dal punto di vista dell'utilizzo è possibile distinguere fra cupole gonfiabili (ovvero non rigide), itineranti (assemblate ogni volta in un luogo diverso) oppure fisse, le cui caratteristiche verranno discusse nel dettaglio.

2.2.1 Cupole gonfiabili

Le cupole gonfiabili rappresentano di fatto la soluzione più semplice, veloce ed economica per disporre di una superficie sferica su cui proiettare. I materiali utilizzati sono spesso derivati del PVC oppure tessuti ultraleggeri rivestiti di uno strato apposito per proiezioni. In entrambi i casi il montaggio è veloce e la procedura di allestimento si conclude entro alcuni minuti (il tempo è variabile a seconda del tipo di materiale ed in base alle dimensioni). Dato il peso contenuto

della struttura sono facilmente trasportabili e rappresentano un vero e proprio laboratorio didattico itinerante, che può essere facilmente allestito negli ambienti chiusi (preferibilmente) che rispettano i requisiti di ingombri, come centri commerciali, palestre o aule scolastiche.



Fig 2.1: Modello di planetario gonfiabile.

Per contro ci sono alcuni elementi a sfavore tra cui il fatto che sono molto delicati (il tessuto se maneggiato con poca cura rischia di essere danneggiato) e che non sono resistenti all'acqua e alla luce solare diretta, fattori che rendono questo tipo di cupole poco adatto all'uso esterno.

2.2.2 Cupole itineranti

Le cupole itineranti possono essere realizzate in vari materiali, generalmente leggeri e facilmente trasportabili come segmenti in plastica e vetroresina oppure alluminio. Offrono il vantaggio che possono essere installate anche all'esterno, in modo semi-permanente (ovvero per periodi di tempo teoricamente illimitati) ed

offrono uno spazio generalmente ampio e confortevole (a differenza delle cupole gonfiabili non necessitano di ventilatore). Lo svantaggio principale risiede nel fatto che non sono facilmente trasportabili (richiedono infatti mezzi di trasporto appositi) e richiedono notevole manodopera per essere montate, generalmente ad opera di personale qualificato e specializzato. Inoltre, per ogni installazione è necessaria una certificazione di corretto montaggio per poter garantire l'agibilità in sicurezza della struttura.



Fig 2.2: Immagine di una cupola rigida (a sinistra) e una in tenso-struttura di tipo geodetica (a destra).

In questa categoria rientrano anche le cupole in tensostruttura: vengono realizzate montando alla base uno scheletro di tubolari a forma di cupola geodetica, al quale è applicato un rivestimento in PVC a triplo strato (in grado cioè di bloccare la luce esterna rendendo l'ambiente interno completamente oscurato). Questa soluzione è una via di mezzo fra le cupole gonfiabili e quelle rigide, sicuramente interessante per eventi di durata limitata come mostre o eventi.

2.2.3 Cupole Fisse

Le cupole fisse sono generalmente realizzate in pianta stabile, con materiali leggeri e fono-assorbenti, principalmente spicchi di alluminio rivestiti internamente con materiale idoneo per la proiezione. Queste strutture sono adatte per ospitare un planetario fisso posizionato in ambiente esterno ma sono anche funzionali all'utilizzo in qualsiasi tipo di ambiente. I costi di realizzazione aumentano sensibilmente all'aumentare delle dimensioni e richiedono particolari attenzioni costruttive di natura statica e progettuale, al fine di rispettare le normative di sicurezza vigenti. Sono la soluzione ideale per ospitare planetari di medio – piccole dimensioni, difficilmente collocabili in un ambiente chiuso.



Fig 2.3: Esempio di cupola fissa con struttura in alluminio.

2.3 Sistemi di proiezione opto-meccanici

Il secondo elemento che costituisce un planetario è appunto il sistema di proiezione: esistono attualmente diversi sistemi in grado di proiettare all'interno di una superficie sferica, con caratteristiche molto diverse. Una prima distinzione, che si basa su tipo di tecnologia impiegata, riguarda i planetari opto-meccanici ed i planetari digitali.

Il primo tipo è storicamente la soluzione più adottata (e anche l'unica, fino agli anni '70) nei primi esemplari della Zeiss, e nonostante sia una tecnologia oggi “superata” offre ancora dei notevoli vantaggi dal punto di vista della resa finale, come apparirà più chiaro in seguito (si comprende anche il fatto che molti planetari moderni utilizzano una soluzione “ibrida”). La tecnologia alla base consiste in una sfera cava, di dimensione variabile, sulla cui superficie sono incisi dei piccoli fori di diametro diverso a seconda del tipo di stella che si vuole riprodurre sulla sfera celeste; in corrispondenza di queste fessure sono incastonate delle piccole lenti, di diametro variabile. All'interno di questa sfera è posta una sorgente luminosa (di potenza differente a seconda del diametro della cupola) la cui luce viene focalizzata attraverso le lenti sulla volta, creando un effetto di ricostruzione del cielo molto fedele e preciso. La resa estremamente realistica è dovuta non solo alla precisione nel realizzare una “sorgente” apparentemente puntiforme, quale è una stella, ma anche nel livello di buio (e conseguentemente al contrasto di luce) che si riesce ad ottenere. Dal punto di vista funzionale la sfera è dotata solitamente di tre movimenti principali: uno rotatorio in direzione Est-Ovest per simulare il moto diurno della Terra, uno Nord-Sud per adeguare la latitudine alle diverse posizioni sulla superficie terrestre ed uno di rotazione per riprodurre la precessione degli equinozi. Alcuni planetari sono anche costituiti da due sfere distinte per la simulazione dei due emisferi celesti (cielo australe e boreale).



Fig 2.4: Modello di planetario opto-meccanico della Zeiss.

Tramite proiettori aggiuntivi è inoltre possibile riprodurre i corpi del Sistema Solare con i loro movimenti e simulare funzioni quali la Via Lattea, i crepuscoli, le coordinate astronomiche e quant'altro. Come si vedrà in seguito le stesse prestazioni non sono raggiungibili con la tecnologia digitale moderna, che nonostante il miglioramento continuo dei software, non riesce ad ottenere risultati paragonabili (escludendo i sistemi più avanzati).

2.4 Sistemi di proiezione digitali

Con la diffusione dei computer e con il proliferare della tecnologia di proiezione digitale il planetario ha subito una “rivoluzione tecnologica” che ha cambiato il sistema alla radice. La tecnologia opto-meccanica soffre infatti di alcuni limiti dovuti essenzialmente alla scarsa flessibilità del sistema, che si limita alla ricostruzione della volta celeste e dei vari movimenti del cielo.

Con la tecnologia digitale il planetario diventa estremamente flessibile, permettendo di fatto di esplorare i contenuti più svariati: basti pensare alle numerose applicazioni “fulldome” che permettono di realizzare filmati didattici, anche su tematiche estranee all'astronomia. Tuttavia vi sono comunque alcuni svantaggi rispetto alla tecnologia più tradizionale: un planetario digitale eredita di fatto i limiti del proiettore stesso e dell'apparato software utilizzato, in termini di risoluzione e prestazioni complessive (scheda grafica, CPU, ecc...).

La resa ottimale rimane dunque un perfetto e delicato connubio fra entrambe le soluzioni, binomio che consente di esaltare i vantaggi ed i pregi di entrambe le tecnologie.

Nei sistemi digitali l'immagine viene creata tramite una matrice di pixel, per cui maggiore sarà il numero di pixel in grado di essere visualizzato dal sistema, migliore sarà la qualità raggiunta. Attualmente si trova in commercio un'ampia gamma di tecnologie di videoproiezione : CRT (Cathode Ray Tube), DLP (Digital Light Processing), LCD (Liquid Crystal Display), LCOS (Liquid Crystal On Silicone) e proiettori LED/laser.

Dal punto di vista funzionale si distingue fra lato software ed hardware, in quanto componenti con diverse caratteristiche di funzionamento.



Fig 2.5: Proiettore digitale ad alta definizione.

I sistemi digitali si basano essenzialmente su quattro elementi:

- un proiettore digitale;
- un computer;
- un software di proiezione (o un contenuto da proiettare);
- un sistema di proiezione;

Di seguito verranno esaminate le tecnologie principali che fanno capo ai planetari digitali, ovvero i sistemi di proiezione di tipo “fish-eye”, a specchio sferico oppure con proiezione a multi-proiettore.

2.4.1 Sistema di proiezione Fish-Eye

Una lente fish-eye (ovvero “ad occhio di pesce”) è un obiettivo grandangolare estremo che produce una forte distorsione visiva in grado di creare immagini panoramiche o emisferiche. E' tipicamente uno strumento che nasce nel mondo della fotografia, per ottenere angoli di vista molto ampi, ma può essere utilizzato anche come obiettivo per proiezione.

Le immagini prodotte da un fish-eye sono circolari, anche se in certi casi, quando non è necessaria una copertura di 180°, parte del bordo o addirittura tutto il bordo circolare viene escluso (dalla lastra o dalla pellicola).

L'obiettivo può essere anche usato per proiezioni, in questo caso il cammino ottico dei raggi luminosi sarà invertito rispetto alla tipica configurazione per uso fotografico. Come mostrato in figura la proiezione di un proiettore singolo copre un'area ben definita, che ovviamente dipende dalla distanza proiettore-superficie di proiezione. L'utilizzo di un obiettivo sferico consente invece di proiettare su di una superficie sferica, ovvero con un'estensione angolare molto maggiore (che è proprio l'esigenza di un planetario).

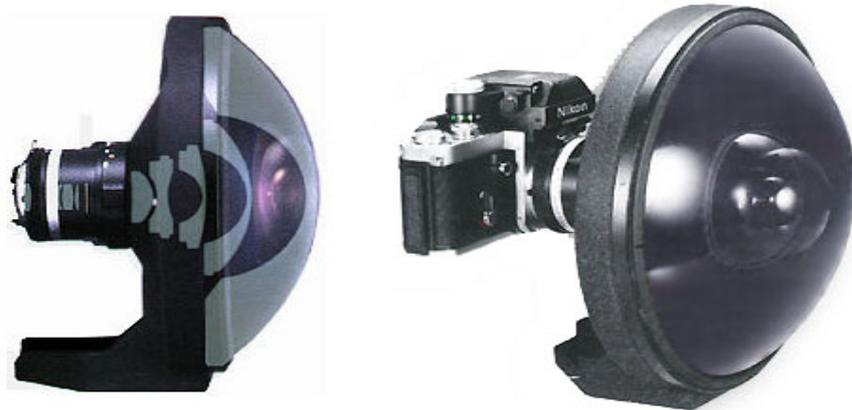


Fig 2.6: Montaggio di un obiettivo fish-eye su una macchina fotografica.

Dal punto di vista tecnico un sistema di proiezione basato su un obiettivo sferico consiste di almeno 3 o 4 elementi [10]:

- un proiettore HD;
- un obiettivo fish-eye;
- Un secondo obiettivo per convergere correttamente la luce in uscita dal proiettore;
- eventuali diaframmi, lenti o specchi aggiuntivi (a seconda della soluzione adottata);

Il principio si basa sul fatto che la luce del proiettore deve essere indirizzata in ingresso all'obiettivo sferico: per fare ciò si utilizza tipicamente un secondo obiettivo di focale corta e di diametro sufficiente a raccogliere il fascio del proiettore. A tal proposito esistono diverse soluzioni tecniche e diverse configurazioni in commercio: è possibile anche acquistare prodotti completi, “ready to use”, ovvero dei proiettori che hanno incorporato un obiettivo fish-eye all'interno. La qualità di questi assemblati è notevole, ma i costi di acquisto lievitano enormemente, soprattutto se si richiedono alti rendimenti in termini di risoluzione. Nell'ambiente dei planetari itineranti esistono soluzioni già progettate per funzionare bene su cupole di medio – piccole dimensioni: tali sistemi generalmente sfruttano elementi ottici differenti appositamente studiati per un determinato tipo di proiettore, al fine di ottimizzare la resa finale. E' tuttavia possibile realizzare un sistema di questo tipo solo su certi proiettori digitali, che hanno cioè determinate caratteristiche in termini di prestazioni. Nelle immagini successive sono rappresentate le caratteristiche ottiche di un un obiettivo fish-eye e come quest'ultimo può essere implementato all'interno di un proiettore per l'utilizzo all'interno di planetari.

PROIEZIONE NORMALE TRAMITE PROIETTORE



PROIEZIONE TRAMITE FISHEYE



Fig 2.7: Confronto fra l'immagine prodotta da un proiettore tradizionale (in alto) e da un proiettore digitale per planetari (in basso).

LATO PROIEZIONE

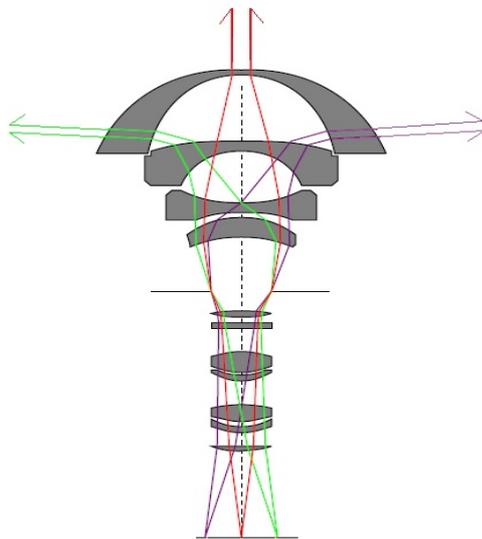


Fig 2.8: Schema di funzionamento di un obiettivo fish-eye.

2.4.2 Sistema di proiezione a Specchio Sferico

Nei sistemi di proiezione a specchio sferico viene appunto utilizzata una superficie riflettente convessa, posta frontalmente alla sorgente di luce (proiettore). Per riflessione l'immagine viene proiettata sulla parete della cupola, con una buona copertura finale (tuttavia, come sarà approfondito in seguito, la copertura della volta non raggiunge il 100%).



Fig 2.9: Utilizzo di uno specchio sferico per proiezioni.

A causa della loro forma gli specchi sferici forniscono un campo visivo più ampio di quello di altri tipi di specchi e per questo motivo sono spesso impiegati come apparati di sicurezza negli incroci stradali o per la sorveglianza. Lo specchio convesso produce sempre un'immagine virtuale dell'oggetto, indipendentemente dalla posizione della sorgente. Come si nota dalla figura il sistema dal punto di vista dell'assemblaggio è molto semplice: naturalmente è richiesta molta cura nel posizionamento del proiettore, in modo da centrare opportunamente l'immagine. Spesso, a causa della focale del proiettore, è necessario posizionare lo specchio ad una distanza troppo elevata (maggiore di 1 metro): in tal caso o si cambia proiettore o si interpone uno specchio secondario in modo da diminuire tale distanza e compattare così la struttura.

Dal punto di vista fisico il sistema funziona in base al principio di riflessione su specchi sferici convessi. In figura seguente viene idealizzata una situazione tipica, in cui un oggetto è posto frontalmente allo specchio sferico: si considera in questa analisi che tutti i raggi incidenti siano paralleli all'asse ottico, per semplicità.

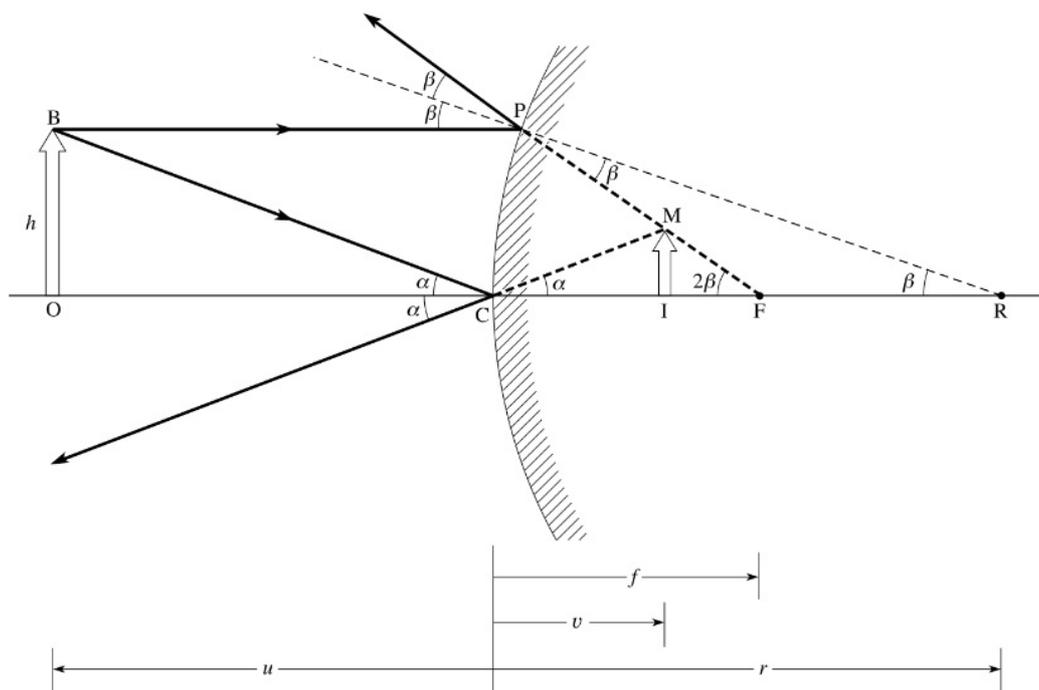


Fig 2.10: Schema che rappresenta la riflessione dei raggi luminosi sulla superficie di uno specchio sferico.

Si definisce a tal proposito l'equazione seguente:

$$2\beta = \tan 2\beta = h/CF$$

$$\beta = \tan \beta = h/CR$$

dove $h = CP$ e considerando $CF = f$ e $CR = r$, si ottiene che $f = r/2$.

Questo risultato mostra semplicemente che un raggio parallelo all'asse ottico e riflesso in P sembra provenire da un punto a metà tra il vertice dello specchio e il suo centro di curvatura (cioè il fuoco). Per determinare la posizione e le dimensioni dell'immagine formata da uno specchio convesso si può usare il metodo del diagramma dei raggi, ma bisogna tenere presente che il fuoco e il centro di curvatura si trovano dietro la superficie riflettente, non davanti a essa.

A fronte della semplicità costruttiva tale configurazione comporta alcuni accorgimenti nella scelta dello specchio: esistono a tal proposito in commercio diversi prodotti ad uso “domestico”, come ad esempio specchi per la sicurezza in materiale acrilico. Sicuramente vantaggiosi dal punto di vista economico, tali prodotti non sono prettamente adatti per applicazioni ottiche: come si evince dalla figura 2.11, il rivestimento esterno di materiale acrilico causa problemi durante la rifrazione del raggio di luce incidente, in quanto si crea un raggio riflesso o “secondario” in corrispondenza della superficie frontale dello specchio: in questo modo la proiezione appare disturbata, e le immagini appaiono quasi sfuocate. Si preferisce dunque utilizzare specchi con alluminatura frontale (detti anche “First Surface Mirrors”) anche se naturalmente il costo è notevolmente superiore.

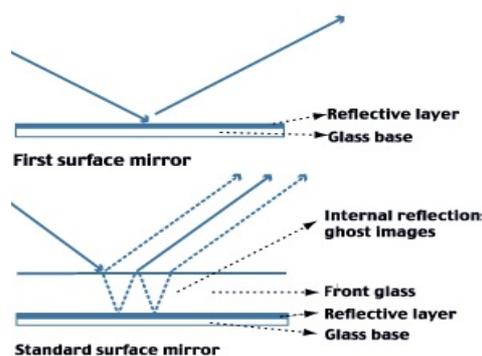


Fig 2.11: Riflessione su una superficie con rivestimento frontale (in alto) e una superficie con rivestimento in seconda faccia (in basso).

Un altro accorgimento che bisogna adottare per questo tipo di proiezione è la correzione del software: lo specchio sferico infatti deforma l'immagine incidente per cui è necessario correggere dal lato software questo inconveniente. Esistono codici dedicati che provvedono a manipolare l'immagine fish-eye in modo da compensare l'effetto di distorsione introdotto dallo specchio e ottenere un'immagine corretta sulla cupola. Questa operazione viene chiamata "warping", letteralmente distorsione o deformazione. In termini pratici si applica l'immagine fish-eye a una "mesh" (in italiano "maglia") costruita secondo un'opportuna griglia di coordinate.

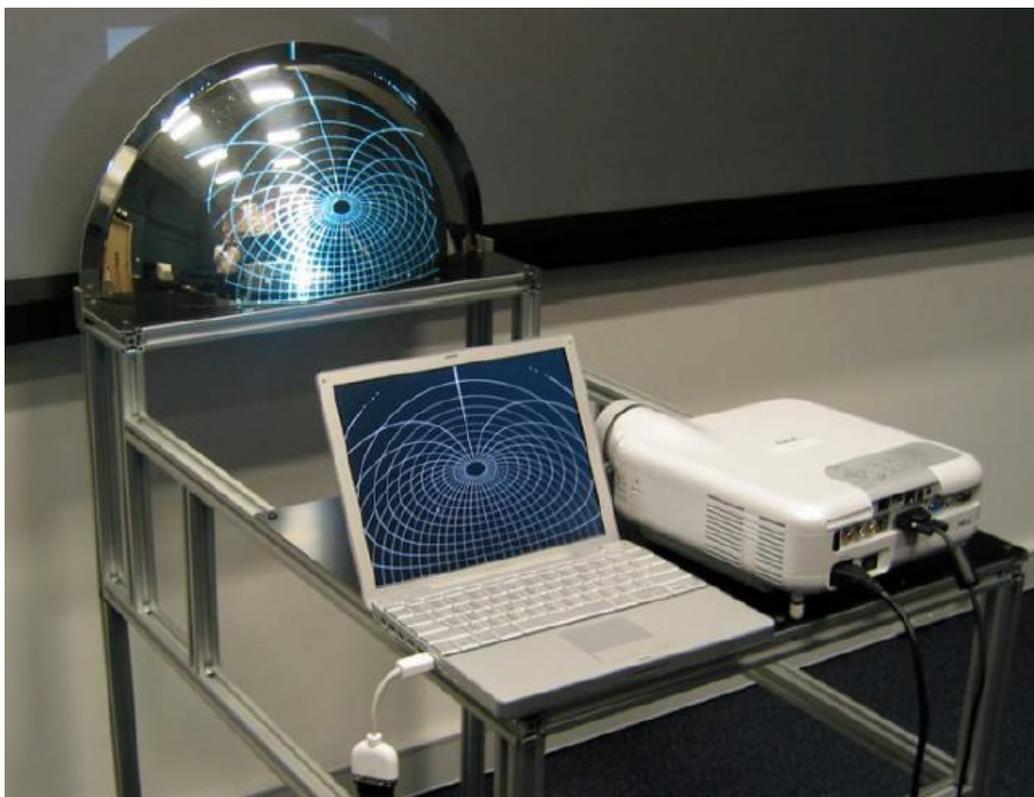


Fig 2.12: Esempio di apparato per la proiezione a specchio sferico.

Tale maglia e la corrispondente griglia di coordinate possono essere generate mediante software specifici e una volta create vengono implementate nei programmi che supportano questo genere di operazioni.

La creazione di un'immagine corretta, dato un certo tipo di proiettore e date le dimensioni della cupola, si effettua sulla base delle trasformazioni che avvengono durante la riflessione. Il problema è tridimensionale, ma può essere ricondotto ad un caso bidimensionale, per semplicità, come riportato in figura seguente. A tal proposito si considera lo specchio al centro del riferimento di coordinate, mentre il proiettore è posto nel punto P_1 : secondo tale schema un raggio luminoso che parte da P_1 raggiunge la cupola nel punto P_2 . In questo modo il cammino ottico dal proiettore allo specchio è indicato con L_1 mentre dallo specchio alla cupola con L_2 .

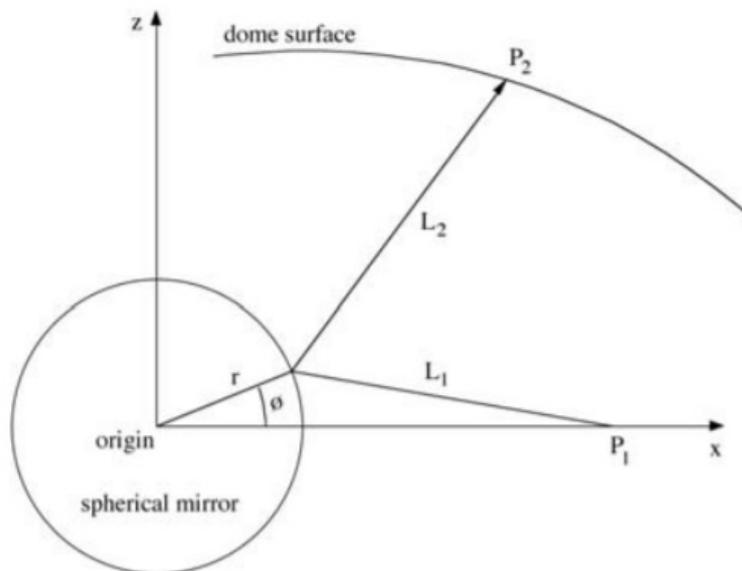


Fig 2.13: Schema che rappresenta la formazione di un'immagine su una superficie sferica: il punto P_1 rappresenta il proiettore (la sorgente dell'immagine) mentre il punto P_2 è la rispettiva proiezione sulla superficie della cupola. Nell'origine del sistema di riferimento è idealmente collocato lo specchio sferico. [11]

I cammini ottici possono essere scritti in funzione dell'angolo ϕ come segue [11]:

$$L1=(P1x-rcos(\varphi))^2+(rsen(\varphi))^2$$

$$L2=(P2x-rcos(\varphi))^2+(P2z-rsen(\varphi))^2$$

Il principio di Fermat afferma che il cammino ottico della luce è quello minimo, ovvero di tutti i possibili cammini che la luce può seguire per andare da un punto ad un altro, essa segue il cammino che richiede il tempo minore [12].

Detto ciò il valore dell'angolo ϕ può essere ricavato minimizzando il cammino ottico totale dato dalla somma dei due contributi.

$$Min((L1)^2+(L2)^2)^{(1/2)}$$

Inserendo le trasformazioni in un algoritmo è possibile ottenere una correzione in tempo reale dell'immagine (o del "frame") prodotta dal proiettore. Il risultato finale è la proiezione corretta dell'immagine sulla cupola, riducendo al minimo le distorsioni prodotte dalla riflessione dello specchio sferico.

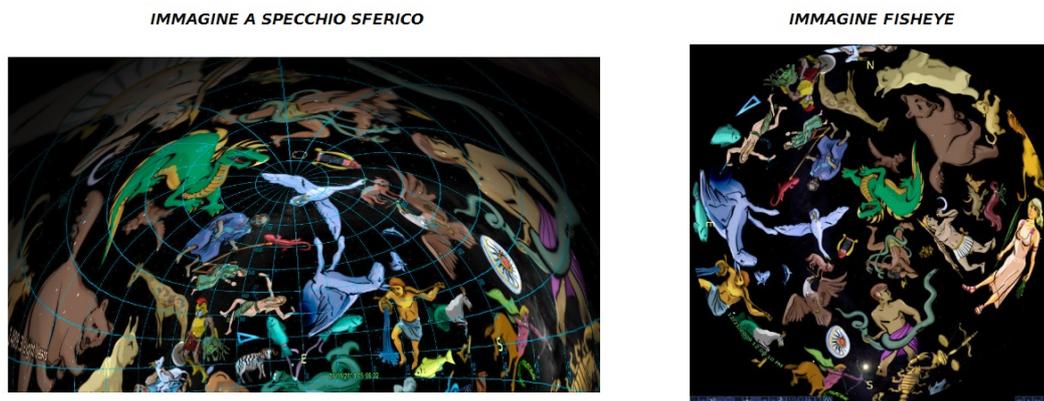


Fig 2.14: esempio di immagine ottenuta a partire da un frame in formato "fish-eye" (a destra), e la rispettiva immagine trasformata dalla riflessione sferica (a sinistra).

2.4.3 Sistema di proiezione a Multi-Proiettore

I nuovi sistemi digitali possono contare su un numero anche elevato di videoproiettori (4, 5, 6 fino a 12, a seconda del diametro della sala), non collocati al centro della cupola ma sul bordo, cioè sull'orizzonte dell'osservatore. Un sistema di computers suddivide l'immagine da proiettare nei diversi proiettori; i diversi "pezzi" si combinano quindi a formare l'immagine finale.

Suddividere l'intera immagine in diverse parti consente una maggiore risoluzione ed un posizionamento migliore dei proiettori, che non intersecano lo spazio interno della cupola riservato al pubblico. Uno svantaggio di questo sistema è la necessità di adeguare frequentemente l'allineamento dei proiettori per ottenere un'immagine perfetta; inoltre, dispositivi diversi possono avere prestazioni leggermente diverse (in termini di contrasto o luminosità) per cui è necessario compensare questi aspetti. Infine possono avvenire anche fenomeni di “usura” non uniforme, che portano nel tempo a differenze di luminosità e di colore tra le varie parti dell'immagine, se molto marcate possono compromettere il risultato finale.

2.5 I contenuti da proiettare

I contenuti che tipicamente si proiettano durante uno spettacolo al planetario dipendono fortemente dalle caratteristiche del sistema di proiezione: è evidente che per un planetario di tipo opto-meccanico, la scelta dei contenuti sarà limitata alla visualizzazione della volta celeste (costellazioni, moti apparenti, percorso degli astri, ecc...) oppure a piccole animazioni che spesso sono introdotte tramite diapositive e proiettori ausiliari.

Nel caso invece dei planetari digitali la scelta dei contenuti è estremamente variabile e dipende dal tipo di software che si utilizza per la proiezione. Questi programmi consentono di visualizzare una varietà di contenuti sorprendenti,

inoltre rendono la proiezione molto flessibile, dando spazio all'operatore di scegliere numerose varianti. I software sono sempre corredate di librerie contenenti dati e subroutine di calcolo accessibili liberamente online. Tali subroutine possono essere incorporate nei codici sorgente dei programmi per calcolare, ad esempio, le effemeridi dei corpi celesti. Inoltre l'utente ha la possibilità di modificare il codice e creare delle piccole “macro” o “script”, ovvero dei percorsi personalizzati che consentono di visualizzare determinati contenuti durante la proiezione (tale aspetto verrà approfondito nel capitolo successivo).

Le funzioni che si annoverano fra i software sono sempre in continuo aggiornamento, circa ogni anno vengono pubblicate nuove versioni con aggiornamenti o sviluppo di nuove funzionalità. Fra i più utilizzati vi sono Stellarium e Nightshade, per i quali verrà presentata un'analisi generale evidenziandone le principali caratteristiche.

2.5.1 Stellarium

Stellarium è forse uno dei più famosi software liberi per planetari, realizzato secondo i termini della GNU (General Public License); è disponibile per Linux, Windows e Mac OS X e sfrutta la Open Graphics Library per la grafica. È stato di fatto il programma che ha lanciato la nuova generazione di simulatori del cielo, che si basano proprio su una grafica abbastanza realistica

Stellarium contiene anche una vasta gamma di funzioni e animazioni che di fatto lo rendono uno dei software più apprezzati e utilizzati nell'ambito della didattica astronomica nei planetari digitali. Vi sono tuttavia anche alcune caratteristiche che lo rendono poco flessibile, tra cui l'impossibilità di stampare carte celesti e la mancanza di un sistema di ricerca automatica di vari fenomeni astronomici. La versione full-dome, open source, chiamata “Stellarium360”, viene da alcuni anni sviluppata indipendentemente dalla versione desktop, sia nella versione per Windows che Linux. Con tale versione è possibile visualizzare il cielo del

giorno, visualizzare la posizione di numeri corpi celesti e realizzare dei percorsi didattici personalizzati tramite la funzione di script. [13]

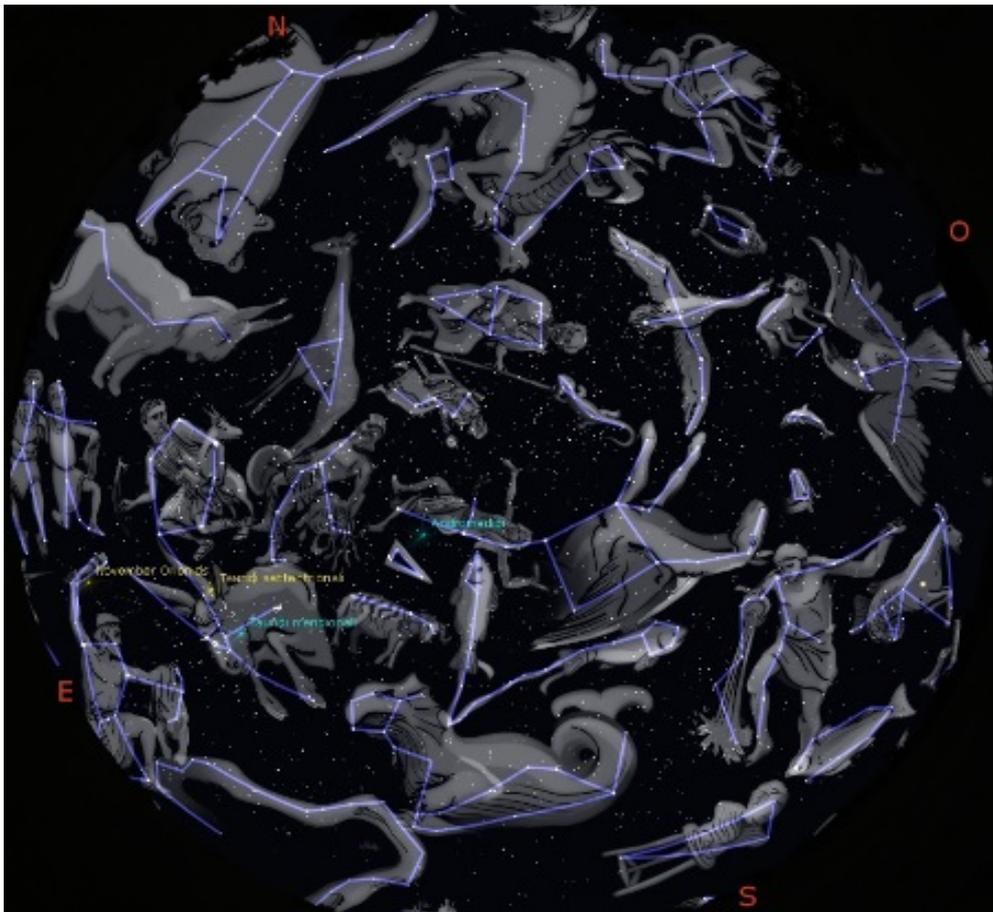


Fig 2.15: Immagine ottenuta con Stellarium, raffigurante la volta celeste.

2.5.2 Nightshade

Un altro prodotto molto diffuso è Nighshade, software per la simulazione e visualizzazione del cielo, per certi versi molto simile a Stellarium. La versione stabile del programma, “Nightshade Legacy”, è stata sviluppata originariamente parallelamente a Stellarium, ma ideata con il tentativo di facilitarne l'utilizzo

3 Il Prototipo del Planetario digitale di Piacenza

3.1 Storia e obiettivi del progetto

Il progetto del Planetario nasce da alcune esperienze personali svolte in merito a eventi didattici e divulgativi seguiti negli anni passati a Piacenza e a Parma.

L'idea di portare un planetario a Piacenza è nata a seguito di una collaborazione che ho svolto nel 2006 in occasione della mostra astronomica “A che tante facelle...?” organizzata presso la sede del Politecnico di Milano di Piacenza. Per l'evento fu installata una cupola in alluminio di 6 metri di diametro presso le sedi dei laboratori LEAP del politecnico. All'interno era posto un planetario opto-meccanico Zeiss, in grado di proiettare fedelmente 3600 stelle e di creare piccoli effetti visivi (visualizzazione della Via Lattea, esplosione di una supernova, ecc..). Negli anni successivi, a seguito del successo dell'iniziativa, ho valutato e concretizzato l'idea di ripetere un evento analogo, prima nella città di Piacenza e successivamente a Parma. Da quest'anno ho infine considerato l'ipotesi di realizzare a Piacenza una struttura “fissa”, ovvero un planetario che potesse essere utilizzato costantemente e senza vincoli esterni, tramite un sistema di proiezione economico ma al tempo stesso performante. Di seguito verranno descritte le esperienze che ho svolto a Piacenza e Parma per poi esporre il progetto che ho realizzato per il Planetario di Piacenza.

3.1.1 Esperienza didattica svolta a Piacenza (2014)

Il planetario venne riproposto a Piacenza nel 2014, anno in cui organizzai una mostra astronomica in collaborazione con il Museo di Storia Naturale di Piacenza, di cui fui curatore scientifico. Lo strumento venne noleggiato dalla stessa ditta fornitrice del 2006 e fu piazzato nei giardini esterni del museo.

La struttura del Planetario, delle dimensioni di 6 metri di diametro, 5 metri di altezza e della capienza di una quarantina posti a sedere, permetteva la visione fedele degli astri e delle costellazioni, come si osserverebbero in condizioni di oscurità ottimali. L'evento fu molto apprezzato dal pubblico e dalle scuole: in totale più di 4000 spettatori di cui circa 3000 studenti di ogni ordine e grado per più di 100 classi coinvolte; visitatori provenienti da ogni parte della provincia, ma anche dalla Lombardia, dal parmigiano, da Torino e da Modena, dai 4 anni (e anche meno) fino agli oltre 90; oltre 200 proiezioni effettuate, 4 collegamenti in diretta con l'Osservatorio Astronomico delle Dolomiti, eventi artistici, culturali, letterari ed eno-gastronomici liberi e gratuiti. Sono questi alcuni dei più significativi numeri che testimoniano il successo dato da questa iniziativa.



Fig 3.1: Immagine scattata all'interno della cupola installata a Piacenza, nel 2014. Al centro, il proiettore ottico della Zeiss.

3.1.2 Esperienza didattica svolta a Parma(2015)

L'anno successivo (2015) proposi il planetario a Parma, pianificando un evento che potesse accogliere la struttura e favorire la divulgazione astronomica. Fortunatamente, grazie ad un'amministrazione molto attenta e interessata alle tematiche scientifiche, fu approvato il progetto in breve tempo e fu possibile installare il planetario presso i giardini del Parco Ducale.



Fig 3.2: La cupola utilizzata a Parma nel 2015, presso il Parco Ducale, in occasione dell'evento realizzato in collaborazione con il Comune di Parma.

Lo strumento messo a disposizione per questo tipo di evento era diverso dall'anno precedente: la struttura a cupola era rimasta la stessa rispetto all'evento piacentino, mentre il proiettore meccanico era stato sostituito da un proiettore digitale ad alta risoluzione. In occasione di questo evento è stato possibile testare il sistema digitale e paragonare le prestazioni con lo Zeiss, sulla base delle

esperienze passate. Il risultato fu una resa superiore a livello didattico, questo grazie alle numerose animazioni che potevano essere implementate durante al proiezione, per contro invece la resa del cielo stellato si rivelò inferiore, senza però compromettere l'efficacia dello spettacolo.

3.2 La location del Museo di Storia Naturale di Piacenza



Fig 3.3: Vista esterna del Museo Civico di Storia Naturale di Piacenza.

Il Macello Comunale, all'interno del cui perimetro si trova il museo, venne costruito a cavallo tra Ottocento e Novecento. Iniziato il 12 maggio 1892 venne poi ampliato e completato nel 1912 proprio con la costruzione della Fabbrica del Ghiaccio necessaria per la conservazione delle carni macellate e nel 1914 con la costruzione di una tripperia su un'area da poco acquistata dal Comune .Il progetto del complesso si deve all'ingegner Diofebo Negrotti che resse l'Ufficio

Tecnico del Comune dal 1889 al 1916 e che si avvale quale direttore dei lavori dell'ingegner Giovanni Perreau.

La sede museale si sviluppa su una superficie di circa 2000 mq e comprende sale espositive, laboratori didattici attrezzati, un settore mostre e un'aula per proiezioni di filmati. Nel percorso espositivo sono presenti anche diversi supporti multimediali che permettono di avere un approccio più diretto con la realtà di un territorio provinciale particolarmente diversificato.

3.2.1 Le sale e gli spazi

L'allestimento è pensato per suscitare quella curiosità e sorpresa che spesso caratterizza le escursioni in natura. Tre ampie sale espositive, ospitano tre ambienti naturali nei quali è suddiviso il territorio provinciale: pianura, collina e montagna.

L'esposizione è in gran parte visitabile "dall'interno"; il visitatore ha un contatto diretto con reperti e modelli, mentre le tradizionali vetrine espositive sono ridotte al minimo. Ad esempio nella sala della collina si possono attraversare un querceto, un castagneto ed una pineta così come si farebbe in un bosco, scoprendone i vari aspetti naturalistici.

Brevi documentari arricchiscono le sale con suoni naturali e immagini tipiche di ogni ambiente. Alla sala della pianura si accede percorrendo un breve corridoio sulla cui parete è posto un pannello che illustra la genesi della pianura, sotto l'aspetto geologico e della vegetazione. La sala è suddivisa in due settori principali (fascia golenale e territori extragolenali) separati da una realizzazione stilizzata dell'argine maestro del fiume Po. Ad arricchire questo settore espositivo contribuisce significativamente un inserto etnografico legato al processo di antropizzazione che ha interessato il fiume Po nel corso della storia.

Nella sala della collina sono ricostruite le tre principali tipologie forestali che ne caratterizzano il paesaggio: querceto, castagneto e pineta. Il querceto è un bosco naturale, mentre il castagneto e la pineta sono di origine antropica. La pineta ha

origini recenti ed è stata introdotta principalmente per aumentare la stabilità dei versanti. L'introduzione del castagno ha origini più antiche, risalenti all'epoca romana, è stato ampiamente coltivato per la produzione di castagne e legname. Attualmente i castagneti da frutto sono in gran parte abbandonati, ma costituiscono ancora importanti formazioni forestali mature. In questa sala troviamo vari punti di approfondimento, in particolare sui fossili e la zona dei calanchi di Castell'Arquato e Lugagnano, sul Quaternario e i ritrovamenti di grossi ungulati un tempo presenti in Pianura Padana, sugli affioramenti ofiolitici della Pietra Parcellara e quelli arenacei di Rocca d'Olgisio, e infine sul bacino idrografico del fiume Trebbia. Gli animali sono stati esposti in questa sala come si potrebbero incontrare in un ipotetico bosco naturale, non sempre sono in evidenza e il visitatore è stimolato a osservare bene l'ambiente per trovarli.

La sala della montagna è suddivisa in due settori principali, uno dedicato alle testimonianze dell'ultima glaciazione che ha interessato il nostro Appennino e l'altro dedicato alle tipologie ambientali montane, quali i ruscelli, i pascoli sommatali e la faggeta. Nel primo settore troviamo la descrizione delle torbiere e dei laghetti di origine glaciale, della particolare flora e fauna del Monte Nero, oltre a una rappresentazione dei principali mutamenti vegetazionali avvenuti dall'ultima glaciazione a oggi.

Nel secondo settore, parallelamente agli ambienti montani descritti, troviamo alcune presenze faunistiche tipiche, come le salamandre, il merlo acquaiolo, il codirossone oltre a esemplari della flora dei pascoli, ma l'attrattiva maggiore è riservata ai due super-predatori attualmente presenti nella provincia piacentina: l'aquila reale e il lupo. Recentemente, inoltre, la sala è stata arricchita con un esemplare di cervo adulto acquisito dal Museo.

Vi sono inoltre tre collezioni che arricchiscono il percorso di visita del Museo di Storia Naturale: zoologica, mineralogica e botanica: Le collezioni comprendono un cospicuo numero di esemplari che in parte furono lasciati in eredità al museo dal Regio Istituto Tecnico (l'attuale Istituto "Romagnosi") e in parte sono il

frutto del lavoro di raccolta e classificazione di studiosi e appassionati quali il professore Giacomo Trabucco per quanto riguarda le rocce, i minerali, i fossili, gli animali e le piante; il medico e ornitologo Edoardo Imparati per quanto concerne l'ampliamento della raccolta degli uccelli; gli studiosi di flora del piacentino Parmigiani e Pavesi, infine, per gli erbari.

Nel corso degli ultimi anni il Museo si è arricchito di tre importanti collezioni: la Collezione Raimondo Del Prete, la collezione mineralogica Giovanni Dosi e la Collezione di Suiseki.

3.3 Valutazione preliminare del progetto

Nella fase preliminare di valutazione ho preso in esame la situazione attuale studiando gli spazi a disposizione nel museo, valutando anche le esigenze in termini di fruizione dell'attività didattica. Successivamente ho poi valutato e selezionato la tipologia di cupola più idonea per l'installazione ed infine ho progettato e realizzato due prototipi di sistemi di proiezione per sperimentare diverse soluzioni tecniche. Di seguito è descritta la procedura di valutazione e scelta della location per poi passare a descrivere i singoli componenti che costituiscono il planetario.

Lo spazio a disposizione all'interno del plesso rappresenta di fatto un primo vincolo per le dimensioni della cupola, che dovrà naturalmente inserirsi nella struttura delle sale (se interno al museo) oppure nei giardini (se esterno).

Dopo un attento esame delle planimetrie, congiuntamente ai responsabili del museo, si è identificata un'area interna ed una esterna: la prima all'ingresso del museo, dove in teoria sarebbe possibile installare una cupola di 5 metri di diametro, mentre la seconda all'esterno, in prossimità delle sale del museo.

L'area interna risulta però già assegnata per mostre ed esibizioni, oltre che per ospitare una garzaia (struttura in legno che dovrebbe ricordare il luogo di nidificazione delle garze).

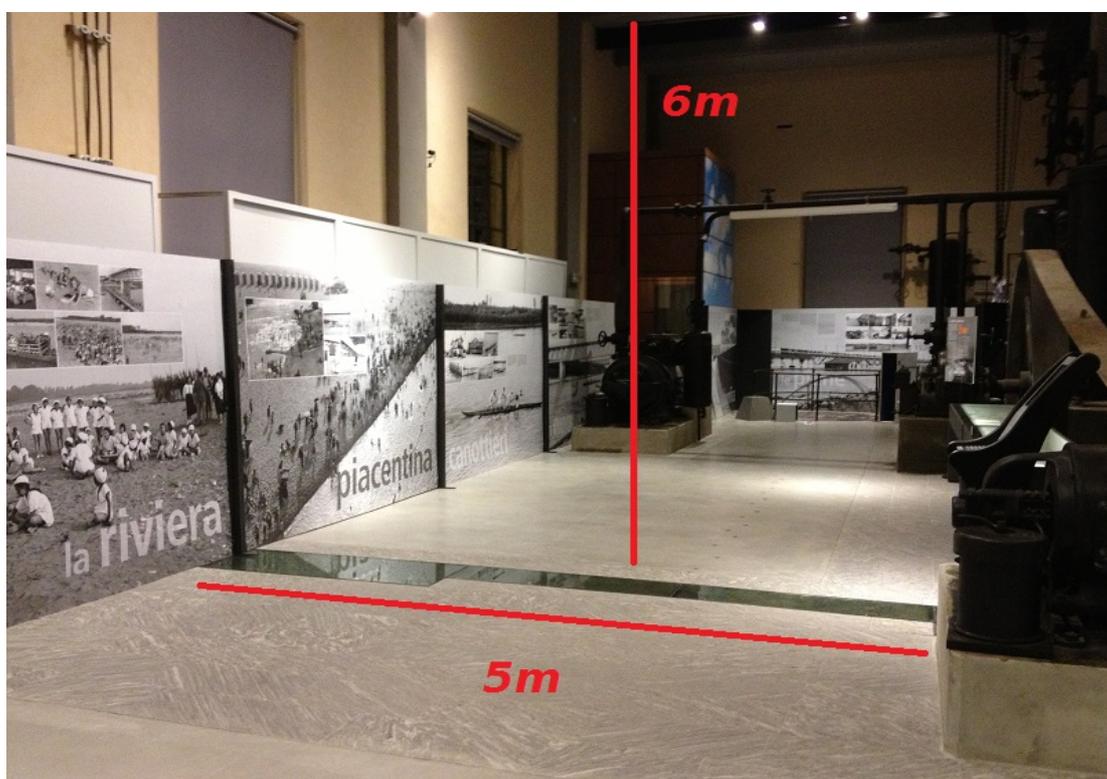


Fig 3.4: Spazi interni disponibili per l'installazione del Planetario digitale.

A seguito delle precedenti osservazioni si è individuata un'area antistante il giardino, nei pressi della location utilizzata per la precedente mostra astronomica. In tale area sarebbe dunque possibile installazione temporanea del planetario, salvo però renderla libera all'occorrenza, per ragioni di sicurezza.

Il planetario inoltre, essendo indirizzato prevalentemente alle scuole, dovrà rispettare le seguenti caratteristiche:

- dimensioni contenute (diametro cupola max 5m);
- installazione facile e veloce, per non occupare in maniera definitiva l'area messa a disposizione;
- capacità sufficiente a contenere almeno una classe (media di 20 alunni);



Fig 3.5: Area esterna utilizzabile per l'installazione del Planetario digitale.

Sulla base delle seguenti considerazioni si sono prese in esame due tipologie di strutture per la cupola: una variante in tensostruttura (facilmente smontabile) ed una variante gonfiabile in PVC.

3.3.1 Valutazione della cupola

Una prima soluzione consisterebbe nell'utilizzare una struttura modulare di cupola geodetica, in alluminio, ricoperta di uno speciale telo in PVC opaco a triplo strato, in grado di isolare l'interno dalla luce esterna. Di tale cupola esistono in commercio numerose varianti, a costi molto differenti, ed in genere sono realizzate rispettando alti standard qualitativi e costruttivi.



Fig 3.6: Esempi di strutture modulari per uso esterno o interno.

Tale soluzione consentirebbe anche l'utilizzo all'esterno, anche in caso di maltempo, ma al tempo stesso presenta i seguenti svantaggi:

- installazione poco agevole (necessita di punti di ancoraggio a terra);
- certificazione del corretto montaggio da parte di soggetti terzi;
- costo di acquisto relativamente alto;

Una seconda soluzione è invece rivolta all'utilizzo nell'area interna al museo di un planetario gonfiabile del diametro di 5 metri (capacità massima 25 persone).

Tale alternativa offre indubbi vantaggi:

- estrema facilità nel montaggio;
- costi di acquisto contenuti;
- certificazione del materiale rilasciata dal costruttore, senza obbligo di certificazioni aggiuntive durante l'installazione

A seguito delle suddette considerazioni si è optato per la scelta di un modello gonfiabile, del diametro di 5 metri e una capienza massima di circa 25 persone.

La struttura è di facile montaggio e si presta per essere quindi utilizzata negli spazi a disposizione per essere poi rimossa facilmente, senza necessità di occupare in

maniera permanente gli spazi. La cupola è rivestita internamente di un tessuto speciale per proiezione, che consente di risaltare al meglio l'immagine riflessa sulla parete interna. Il peso contenuto (45Kg) consente un facile trasporto, anche se il volume dell'imballo richiede il coinvolgimento di almeno due persone.

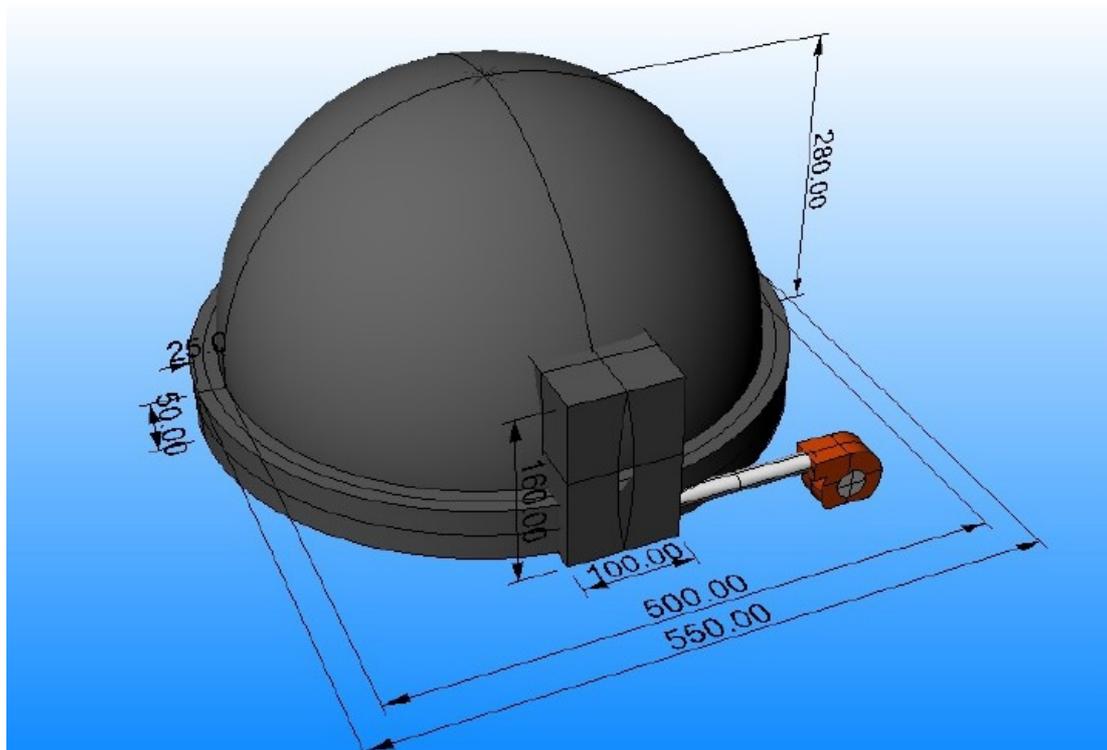


Fig 3.7: Dimensioni della cupola acquistata per il Planetario digitale (vista 3D).

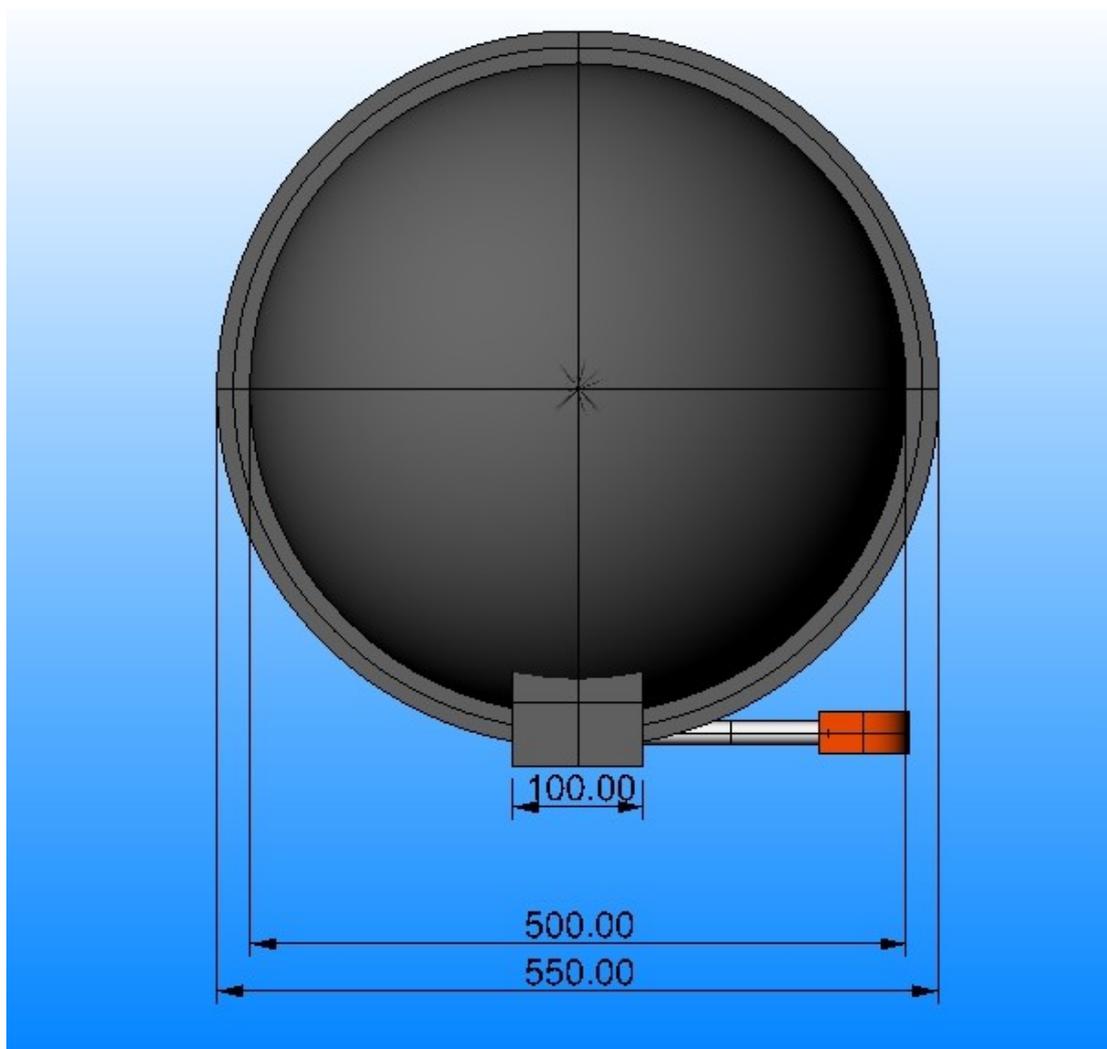


Fig 3.8: Dimensioni della cupola acquistata per il Planetario digitale (vista dall'alto).

3.4 Valutazione tecnica del progetto

I vari sistemi di proiezione presentati offrono una soluzione al problema della proiezione su una superficie sferica, tuttavia presentano caratteristiche diverse e dunque consentono un differente risultato in termini di qualità di proiezione. Per effettuare la scelta migliore ho realizzato e successivamente testato due prototipi per la proiezione: un sistema fish-eye con obiettivo sferico e un sistema a specchio sferico. Entrambi i prototipi rappresentano un'eccellente soluzione e di seguito verranno esaminati i vantaggi e svantaggi per ciascuna alternativa.

3.4.1 Il prototipo Fish-Eye

Per la realizzazione di questo prototipo è necessario in primis dimensionare il gruppo ottico, ovvero gli elementi che consentono di focalizzare la luce proveniente dal proiettore verso l'obiettivo fish-eye. Esistono a tal proposito diversi obiettivi in commercio: generalmente si distingue fra fish-eye “circolari” oppure “full-frame” come mostrato in figura seguente.

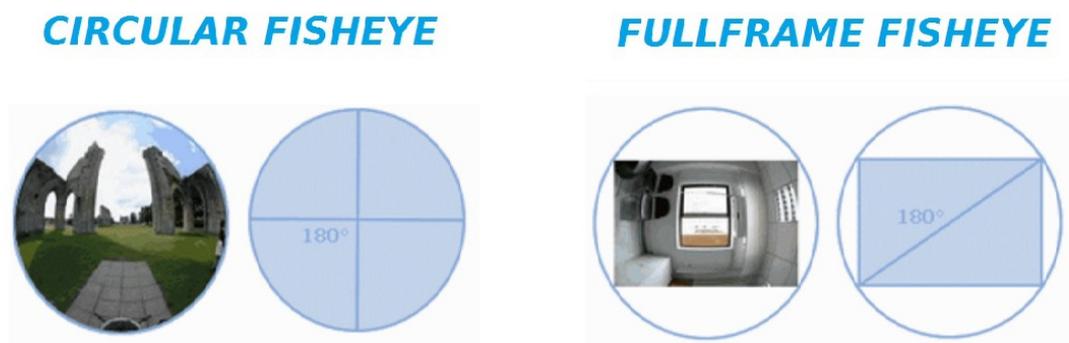


Fig 3.9: Immagine prodotta da un obiettivo circolare (a sinistra) e da un obiettivo full-frame (a destra).

Per la prima tipologia l'immagine risulta a pieno campo, lasciando spazio a regioni angolari ai lati; nel caso “full frame”, invece, il cerchio dell'immagine è circoscritto al frame. In questo modo non si hanno spazi vuoti, ma si avrà perdita di pixel lungo le zone perimetrali. Per l'applicazione in oggetto risulta più conveniente utilizzare un fish-eye di tipo circolare, in modo da non avere perdite nei pixel proiettati. Esistono inoltre obiettivi con diverse funzioni di mappatura, ovvero diversi modi di deformare l'immagine.

Formalmente si definisce R la posizione del punto dell'immagine sul sensore o sulla pellicola, f la lunghezza focale della lente e Φ l'angolo di un punto dell'immagine dall'asse ottico; per cui si ottiene:

$$R = \Phi * f$$

Tipiche lunghezze focali variano tra gli 8 e i 10 mm per immagini circolari e tra i 15 e i 16 mm per immagini full frame.

Un sistema ottico che utilizza un obiettivo fisheye per proiettare su superficie sferica può essere realizzato in modo relativamente semplice, secondo i criteri di Yves Lhoumeau, professore ed astronomo francese che per primo ha studiato questo tipo di assemblaggio. Il progetto di Lhoumeau, o anche definito “Lhoumeau Sky System” [10] consiste nella realizzazione di un gruppo ottico composto da due obiettivi fotografici opportunamente montati: un fish-eye circolare e un obiettivo standard (tipicamente focale $f/1.4$ e diametro 50 mm). Il montaggio deve ovviamente essere effettuato con la massima cura, rispettando in primis la focale dell'obiettivo e la capacità di regolazione del proiettore (per compensare eventuali disallineamenti). Come mostrato in figura il modo più semplice di garantire questo allineamento è di porre l'obiettivo davanti al proiettore, interponendo poi un rinvio a 45° tramite uno specchio angolare per arrivare infine all'obiettivo fish-eye. Per garantire il miglior risultato è necessario scegliere i singoli elementi rispettando alcune caratteristiche importanti.

PROTOTIPO FISH-EYE PER PROIEZIONI



Fig 3.10: Schema di funzionamento del prototipo fish-eye.

Prima di tutto è necessario precisare che per una corretta proiezione non è sufficiente accostare direttamente l'obiettivo sferico al proiettore: le dimensioni dell'immagine non sono compatibili con la lente posteriore dell'obiettivo, inoltre la messa a fuoco non risulta possibile in quanto la lunghezza focale posteriore standard delle lenti per videoproiettori è di circa 80-100 mm, mentre quella del fish-eye è molto minore (42 mm circa).

E' quindi necessario interporre un obiettivo che funge da "condensatore" in modo da aggiustare la focale e ottenere quindi un'immagine proiettata delle giuste dimensioni (vedi figura). In questa configurazione, tipicamente, la distanza fra il condensatore ed il fish-eye è di 84 mm, ovvero la somma delle due lunghezze focali dei due obiettivi. Lo specchio a 45° ha la sola funzione di

rendere più agevole l'assemblaggio, che diversamente dovrebbe essere realizzato in verticale, con il proiettore in posizione scomoda e di difficile regolazione.

Riassumendo quindi le caratteristiche che deve avere il fish-eye sono:

- ridotta lunghezza focale (ad esempio il modello Peleng da 8mm risulta ottimale);
- lunghezza focale posteriore di 42 mm;
- obiettivo circolare (diametro delle immagini di circa 24mm);
- montatura a vite (in alternativa Canon o Eos);

Mentre per il condensatore è necessario considerare:

- diametro 50mm, f/1.4;
- montatura a vite (o Canon);
- diametro lente posteriore maggiore o uguale a 24mm;

La corretta messa a fuoco dell'immagine proiettata dipende drasticamente dall'allineamento tra i due obiettivi i quali devono essere posizionati precisamente sull'asse ottico, altrimenti alcune parti dell'immagine proiettata potrebbero risultare sfuocate. Il campo di vista dipende invece dalla lunghezza focale posteriore della lente condensatrice, dall'obiettivo del videoproiettore (zoom e lunghezza focale) e dalle dimensioni del fascio. Tipicamente un obiettivo di focale f/1.8 risulta il limite, in cui già si avverte una perdita di circa 10° sull'orizzonte. Particolare cura inoltre va riservata nella scelta del proiettore, in quanto la risoluzione finale dipende drasticamente dalla qualità dell'immagine in oggetto. Complessivamente i requisiti minimi per ottenere una buona proiezione all'interno di una cupola di 5mt di diametro sono:

- risoluzione nativa di almeno 1920x1080px (ovvero il formato full-HD classico). Questo parametro è molto importante, perchè livelli di

risoluzione inferiore provocano una drastica diminuzione della qualità percepita dell'immagine e soprattutto non permettono di riprodurre correttamente formati video in alta definizione.

- luminosità di almeno 2000–3000 Lumen; in merito a questo requisito va specificato che la luminosità è legata ad un altro parametro (forse anche più rilevante) che è il livello di nero. In questi dispositivi, come del resto tutti i planetari digitali, le zone “in ombra” non sono perfettamente scure. Questo fatto ha un'importanza relativa se si riproducono filmati o contenuti in 3-D ma ha un'importanza cruciale se si vuole riprodurre la sfera celeste (cioè se si vuole proiettare un cielo “buio”).
- contrasto superiore a 1:2000.

Attualmente esistono diversi modelli anche a prezzi relativamente contenuti e il mercato è in notevole sviluppo: se fino a pochi anni fa la qualità media dei prodotti in commercio era scarsa o inadeguata al presente scopo, ora si trovano facilmente diverse alternative più o meno idonee, con relativi pregi e difetti.



Fig 3.11: Proiettore utilizzato per la realizzazione del prototipo fish-eye.

Dopo un'attenta valutazione la scelta è ricaduta sul modello ACER P1500, un proiettore da 3000 Lumen in full-HD (1920x1080p).

Scelto il proiettore è necessario assemblare il gruppo ottico: lo schema di montaggio è riassunto nell'immagine seguente.

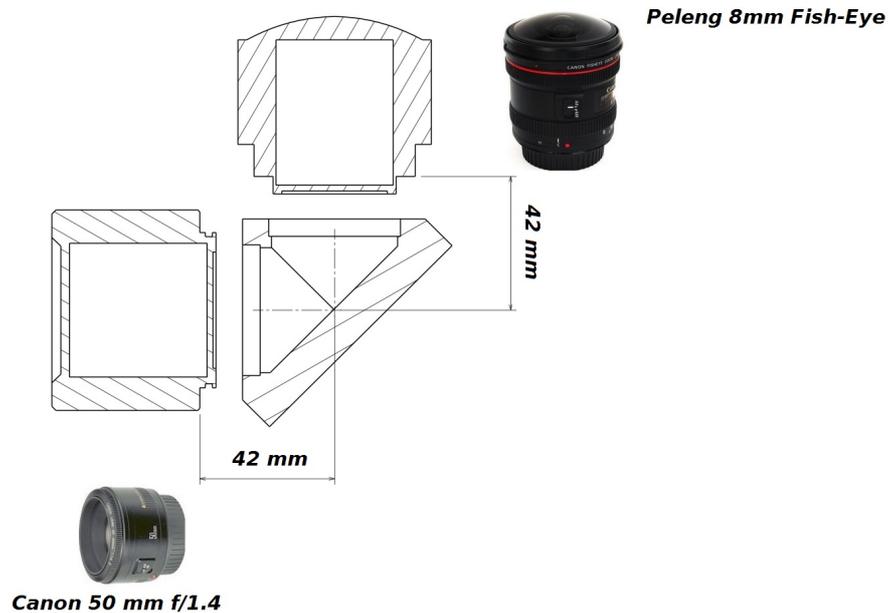


Fig. 3.12: Schema di montaggio per la realizzazione del blocco ottico.

Per garantire il corretto assemblaggio è necessario utilizzare alcuni anelli di collegamento (che derivano dal mondo astro-fotografico) al fine di rispettare al meglio le distanze previste fra gli obiettivi. Prestando cura nell'assemblaggio alla fine si ottiene un buon risultato e l'applicazione risulta pronta per i test di proiezione.

E' da sottolineare che al fine di garantire il miglior risultato in cupola, è necessario prevedere anche un sistema di regolazione dei vari gradi di libertà che può avere il sistema. Sicuramente è necessario prevedere un sistema di fissaggio

del blocco ottico, in modo che l'asse ottico del fish-eye risulti esattamente perpendicolare al piano di appoggio (vedi figura seguente).

SCHEMA DI MONTAGGIO BLOCCO OTTICO FISH-EYE

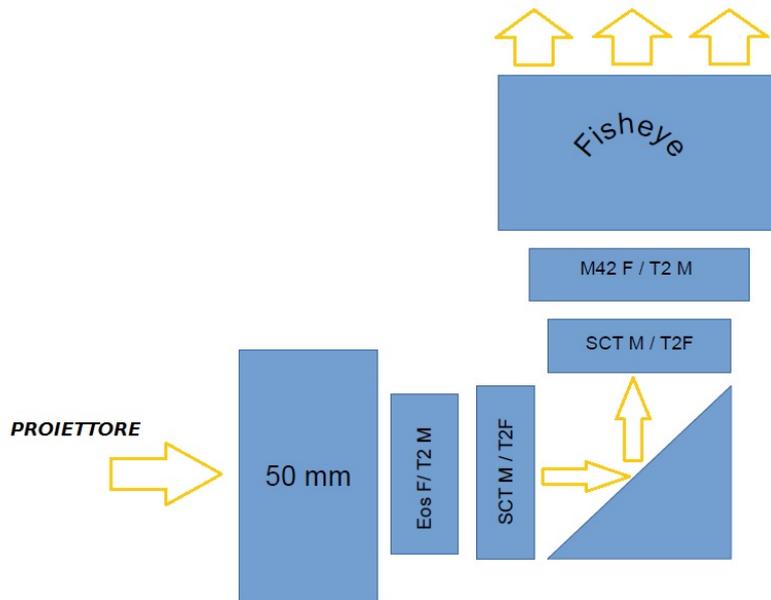


Fig. 3.13: Elementi utilizzati per l'assemblaggio del blocco ottico.

Inoltre è necessario prevedere una regolazione dell'assetto del proiettore: dalle prove effettuate risulta evidente che anche un minimo spostamento dell'allineamento proiettore-blocco ottico produce una distorsione dell'immagine. In sede di collaudo è necessario posizionare il sistema nel centro della cupola, in modo da formare un'immagine il più possibile uniforme; durante il funzionamento il prototipo ha mostrato buoni risultati, anche se per le ragioni anticipate in precedenza la scelta è ricaduta sul sistema a specchio sferico, che verrà descritto nel prossimo paragrafo. L'immagine seguente mostra il prototipo che ho realizzato e che è stato utilizzato per i test.



Fig 3.14: Immagini del prototipo realizzato per le prove. Particolare attenzione è stata dedicata all'accoppiamento proiettore-obiettivo.

3.4.2 Il prototipo a specchio sferico

Per la realizzazione del prototipo a specchio sferico sono state utilizzate le indicazioni suggerite da Poul Bouke, direttore associato alla University of Western Australia (Perth, Australia) e prima alla Swinburne University of Technology di Melbourne. Il progetto prevede di utilizzare il medesimo proiettore scelto per il prototipo fish-eye ed uno specchio sferico convesso con rivestimento frontale.

E' bene notare che per tale tipo di assemblato è fondamentale rispettare gli stessi requisiti visti in precedenza, ma con alcune differenze sostanziali. Innanzitutto i requisiti di risoluzione divengono più severi, ed il formato full-HD diventa un "must" per ottenere risultati accettabili. Tuttavia la caratteristica più importante è la distanza minima entro la quale il proiettore riesce a mettere a fuoco correttamente un'immagine (evitando fenomeni di correzione trapezoidale troppo importanti).

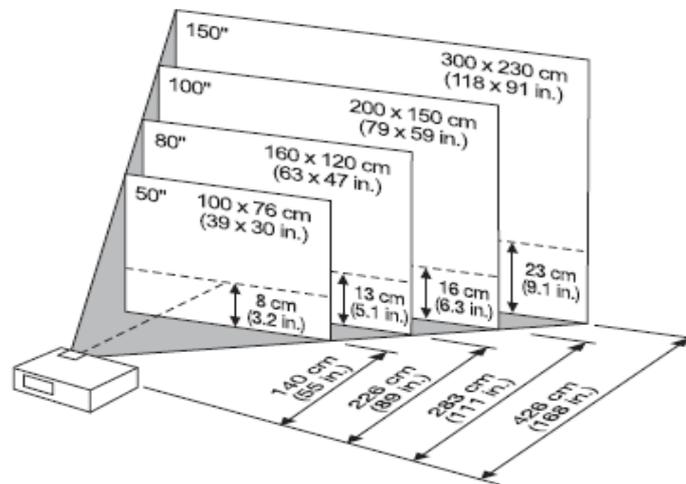


Fig 3.15: Esempio delle differenti dimensioni dell'immagine che si ottengono a differenti distanze dal proiettore.

La distanza minima deve rientrare nel metro di lunghezza; tale requisito non è soddisfatto da molti proiettori, ma il modello Acer P-1500 riesce perfettamente a mettere a fuoco un'immagine a circa 70-80cm di distanza risultando quindi idoneo a questo tipo di applicazione.

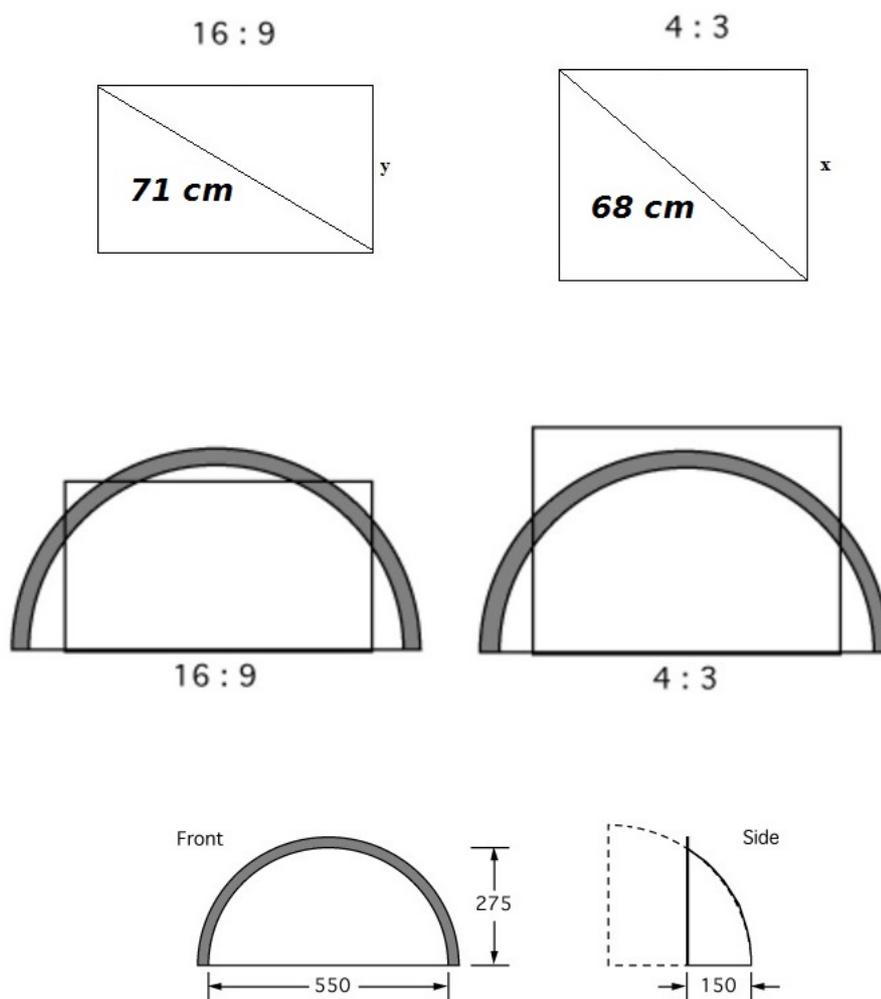


Fig 3.16: Dimensioni dello specchio sferico utilizzato in confronto alle immagini ottenute con diversi formati video (16:9 e 4:3).

Le dimensioni dell'immagine prodotta dal proiettore dovranno essere tali da rientrare il più possibile nell'area dello specchio (tipicamente le dimensioni variano da 45cm di lunghezza fino a 80cm): dal punto di vista pratico infatti si preferisce utilizzare il formato 16:9 (non adatto per il prototipo fish-eye, in quanto in tal caso è necessario selezionare il formato 4:3) che rientra più facilmente nelle dimensioni dello specchio.

La scelta dello specchio deve invece rispettare, oltre le dimensioni appena citate, anche una qualità in termini di riflessione sufficiente per ottenere una buona resa dell'immagine. Nel caso in esame si è scelto uno specchio da 55cm di diametro che rientra perfettamente nei requisiti sopra esposti.

Una volta individuato il tipo di proiettore e lo specchio, semplicemente si procede cercando di trovare un punto di allineamento che consenta di proiettare correttamente l'immagine. Da una breve analisi si deduce che il fascio del proiettore non risulta perfettamente orizzontale: questo off-set è impostato di default, in quanto questi dispositivi sono originariamente ideati per una proiezione a distanza. Mantenendo tali impostazioni è necessario inclinare leggermente il proiettore di un angolo sufficiente a formare un'immagine a tutto campo. Prima di utilizzare il prototipo è opportuno intervenire nel software di riproduzione per impostare correttamente il segnale in uscita: come già accennato in precedenza per funzionare questo sistema necessita di una correzione a monte dell'immagine. Il software utilizzato per la proiezione è VLC, implementato con una funzione aggiuntiva che permette la correzione in tempo reale (“on the fly”) del segnale video in uscita: in questo modo è possibile riprodurre correttamente un filmato in formato fish-eye, deformando ogni singolo frame in modo da renderlo compatibile con la visualizzazione tramite lo specchio sferico. Allo stesso modo è possibile trattare le immagini, anche se in questo caso si utilizzano software diversi e la visualizzazione non rientra a tutto campo ma rimane limitata ad un “riquadro”. L'immagine seguente mostra il prototipo che ho realizzato e testato durante le prove.



Fig 3.17: Immagine del prototipo a specchio sferico realizzato per le prove.

3.4.3 Valutazioni conclusive

Le valutazioni conclusive si basano sui test effettuati personalmente su entrambi i prototipi al fine di individuare la soluzione migliore per il Planetario di Piacenza. Nel corso delle prove sono state valutate molte variabili, sia in termini di qualità finale della proiezione (e quindi della qualità “percepita” dal pubblico) che di praticità dell'utilizzo, nonché la facilità di trasporto e la maneggevolezza complessiva.

Il collaudo è stato effettuato presso uno stabile adibito a palestra comunale, area ideale sia per lo spazio che per la pavimentazione presente.

La cupola si è rivelata idonea per ospitare il numero di occupanti previsto dal fornitore, nonché per il rispetto degli standard previsti in termini di sicurezza (in caso di emergenza è possibile alzare leggermente la cupola, o addirittura ribaltarla, per consentire l'immediato sgonfiaggio e l'uscita degli occupanti).



Fig 3.18: Immagine della cupola da 5 metri utilizzata per i test e per le prime proiezioni.

A confronto è possibile osservare come l'utilizzo dei due sistemi di proiezione comporti una differente disposizione dei posti interni: il prototipo a fish-eye deve essere infatti posizionato al centro, ed i posti concentrici intorno ad esso, mentre lo specchio sferico si posiziona ai bordi della cupola.

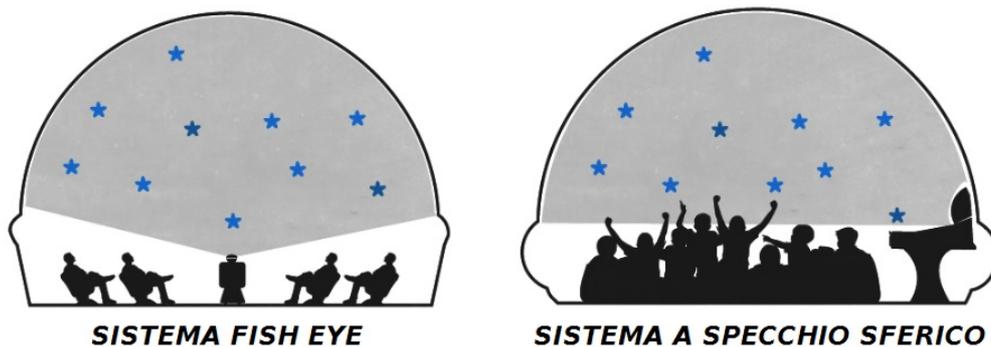


Fig 3.19: Differente disposizione dei posti nella cupola a seconda del sistema di proiezione.

L'utilizzo del prototipo fish-eye comporta i seguenti vantaggi:

- possibilità di posizionare il blocco ottico al centro della cupola ottenendo una copertura ottimale della volta;
- buone prestazioni in termini di qualità dell'immagine;
- ridotte dimensioni del blocco ottico e facilità nel trasporto;
- economicità nella realizzazione;

per contro si sono registrati i seguenti aspetti negativi:

- difficoltà nell'allineamento del proiettore e quindi nella calibrazione del blocco ottico;
- lieve aberrazione cromatica dell'immagine intorno all'orizzonte;

L'utilizzo invece del prototipo a specchio sferico permette di lasciare libera la parte centrale della cupola (dove in teoria la posizione è privilegiata) permettendo una distribuzione dei posti più ottimale. Tuttavia la copertura della volta celeste non è completa, risulta una piccola porzione di cupola (posta dietro allo specchio) che non viene coperta dall'immagine.

Ricapitolando, utilizzando lo specchio sferico si hanno i seguenti vantaggi:

- praticità di utilizzo e di assemblaggio;
- facilità di regolazione;
- distribuzione ottimale dei posti all'interno della cupola;

Per contro questo sistema presenta alcuni aspetti negativi:

- difficoltà nel correggere le distorsioni dovute alla riflessione sulla superficie dello specchio;
- perdita di qualità dell'immagine nelle zone prossime allo specchio;
- necessità di accorgimenti nel trasporto dello specchio sferico che deve essere protetto da urti e graffi.

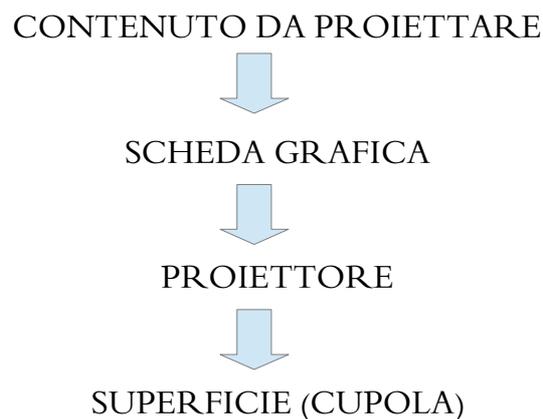
A seguito di queste considerazioni è stato scelto il sistema a specchio sferico: nella scelta ha pesato il fatto che non è stato possibile realizzare un sistema di proiezione tramite obiettivo fish-eye che fosse al tempo stesso solido e facilmente trasportabile. Tale prototipo si presta comunque ad essere installato per soluzioni "fisse" che non necessitano di frequenti smontaggi o in alternativa richiederebbe un investimento maggiore per realizzare una struttura più idonea.

4 La soluzione adottata per il Planetario di Piacenza

A conclusione dei test effettuati è stato scelto il prototipo a specchio sferico che successivamente è stato implementato nella cupola gonfiabile di 5 metri di diametro. Il planetario sarà quindi a disposizione del museo negli spazi esterni compatibili con le dimensioni della struttura e sarà utilizzato per eventi o mostre itineranti nel territorio piacentino.

4.1 Considerazioni e scelte tecniche

Dal punto di vista tecnico è importante focalizzare alcuni aspetti legati alla qualità finale in termini di immagine proiettata all'interno della cupola. Al fine di raggiungere il più alto standard possibile è opportuno valutare che, durante il funzionamento del sistema, si crea una sorta di catena di elementi ognuno dei quali impatta in maniera diversa sulle prestazioni del planetario.



Ciascun passaggio ha di fatto un'influenza ben precisa sulla qualità globale: è necessario infatti capire quale elemento agisce come un “collo di bottiglia”, al fine di agire sul componente che più influenza l'immagine finale. A tal proposito appare evidente che è inutile investire per strumentazione digitale di alta prestazione (come ad esempio un proiettore a risoluzione 4K) se non si dispone di un computer con una scheda grafica di ottima qualità oppure se non si dispone di una cupola con un rivestimento interno speciale in grado di far risaltare l'immagine finale. Seguendo questa logica, osservando come appare la superficie interna della cupola (con diverse irregolarità dovute al tessuto in PVC) si è reso necessario investire in un proiettore con risoluzione medio-alta (formato full-HD da 1920x1080px) compatibile con una scheda grafica di modeste prestazioni.

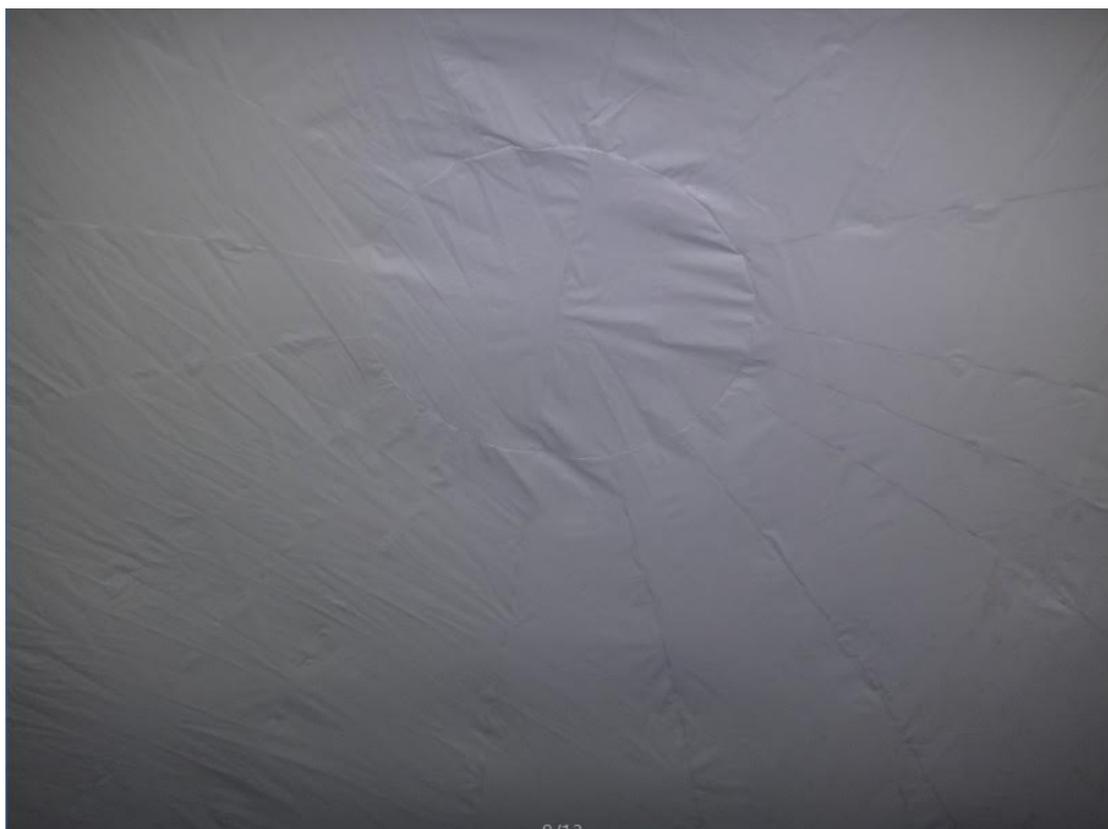


Fig 4.1: Interno della cupola: sono evidenti lievi irregolarità dovute al materiale.

4.1.1 Configurazione di Stellarium360

Per poter funzionare correttamente Stellarium necessita di alcuni input da parte dell'operatore: queste informazioni servono al programma per visualizzare correttamente i contenuti tramite al proiezione a specchio sferico. Mentre per i contenuti video è necessaria una correzione a parte, per utilizzare Stellarium è necessario intervenire nel file “.config” dove sono specificate le impostazioni da utilizzare per il sistema. Nulla vieta di lasciare le impostazioni di default, con il rischio però di non effettuare una giusta correzione dell'immagine finale.

A tal fine si consideri una situazione semplificata come in figura, dove lo specchio è idealmente posto coincidente con la parete esterna della cupola ed il proiettore è situato in fronte ad esso, ad una certa distanza che ovviamente dipenderà dalle ottiche utilizzate.

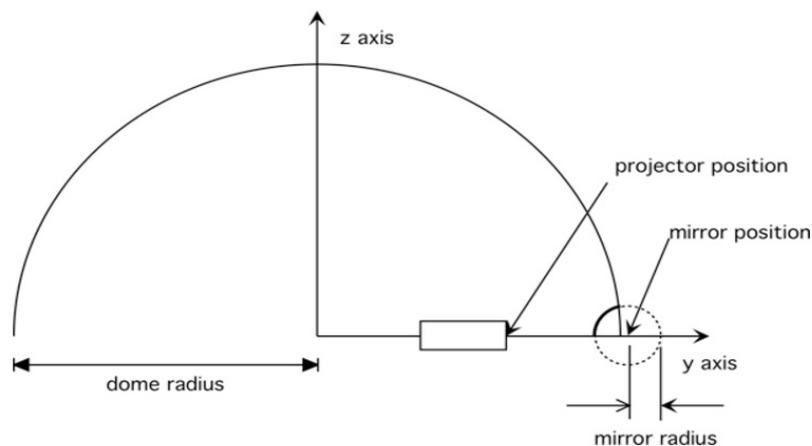


Fig 4.2: schema che rappresenta la collocazione del sistema di proiezione all'interno della cupola: i parametri di interesse ai fini della calibrazione del software sono indicate con le frecce.

A tal proposito nel codice di Stellarium bisogna intervenire specificando innanzitutto alcuni parametri fondamentali quali il raggio della cupola e la distanza proiettore-specchio (cfr. appendice 2).

4.2 Valutazione delle prestazioni

Le prime prove a porte aperte sono state effettuate in occasione di un evento a Piacenza, presso piazza Ulubra, in concomitanza della “Festa del Cioccolato 2016”. In quest'occasione è stata allestita una postazione temporanea per installare il planetario itinerante e per testare le prestazioni del sistema, nonché la qualità percepita dal pubblico. Per la proiezione ho implementato il sistema a specchio sferico optando per la riproduzione di un filmato 3-D riguardante gli oggetti del Sistema Solare e la Via Lattea. Durante la manifestazione ho inoltre testato il software e l'algoritmo di correzione dei frame video per la corretta visualizzazione sulla superficie della cupola. Le immagini seguenti riprendono i risultati ottenuti dal sistema di proiezione.



Fig 4.3: Vista esterna del Planetario di Piacenza durante una manifestazione.

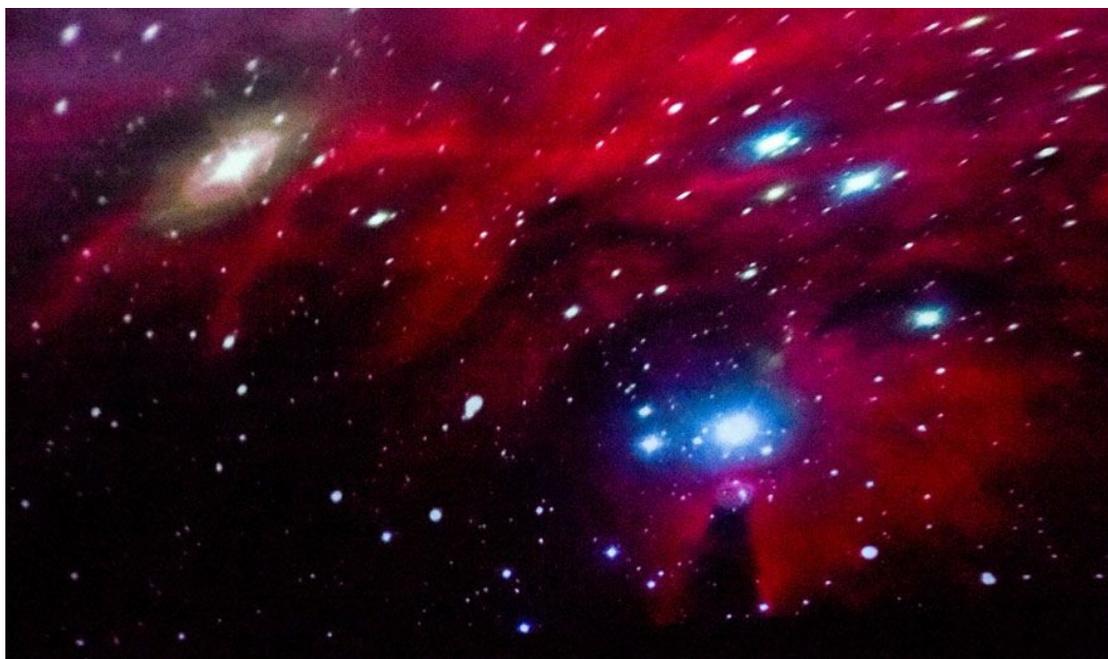


Fig 4.4: Immagine di una nebulosa durante la proiezione

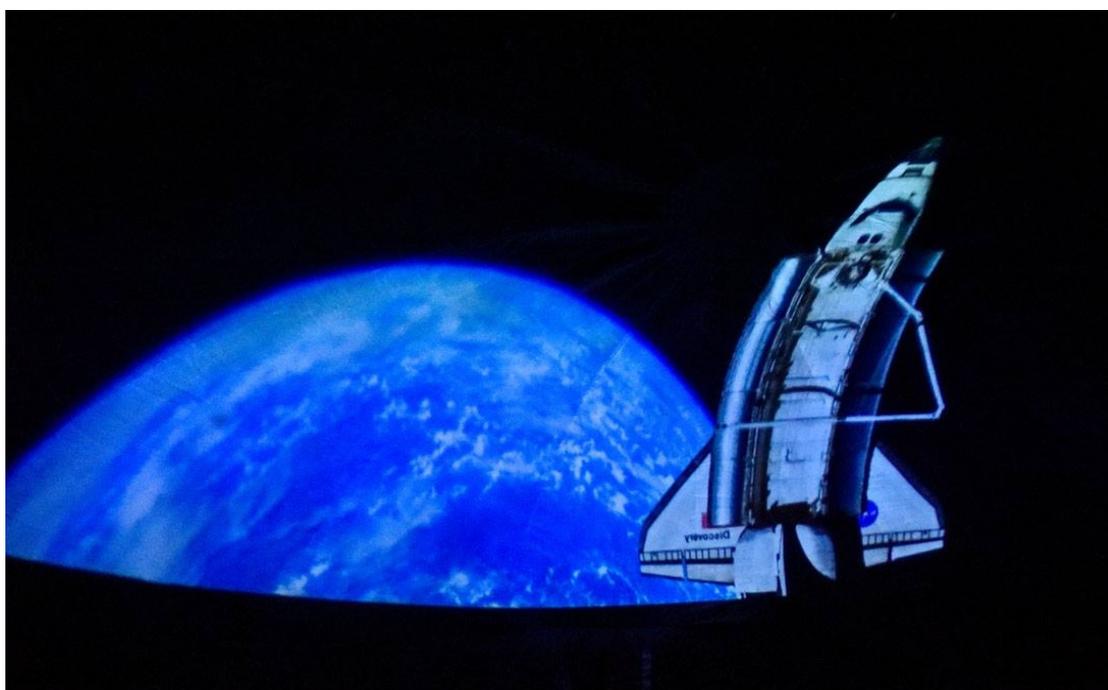


Fig 4.5: Immagine ripresa durante la proiezione.

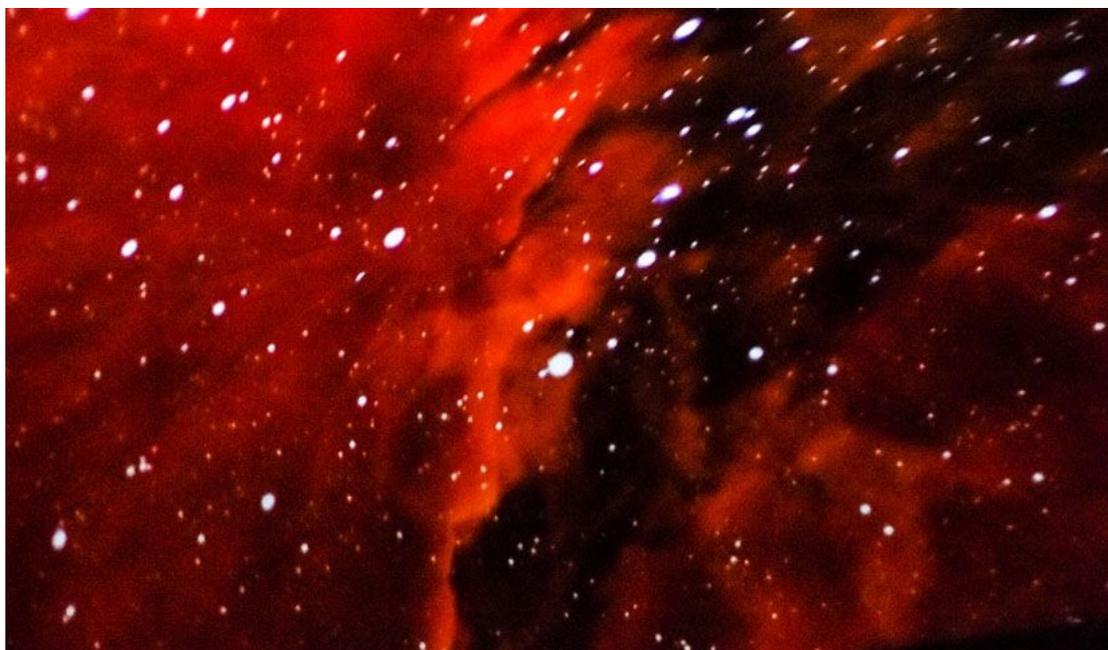


Fig 4.6: La nebulosa "Laguna" durante la proiezione.



Fig 4.7: La nebulosa "M1" durante la proiezione.

Il risultato complessivo è stato ottimo e la qualità percepita dal pubblico durante lo spettacolo è stata più che soddisfacente. Dal punto di vista della resa in termini di risoluzione è da notare come la disposizione dei posti all'interno della cupola sia vincolata in maniera da rivolgere lo sguardo verso un punto opposto allo specchio.

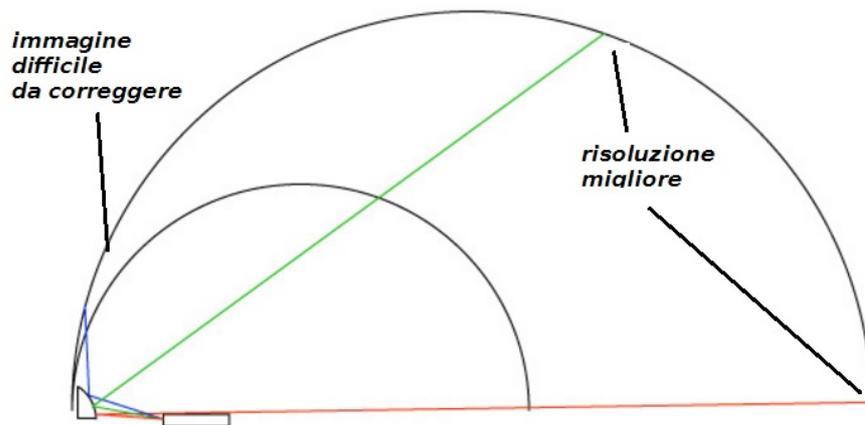


Fig 4.8: Formazione di un'immagine durante la riflessione sferica: l'area prossima allo specchio risulta di qualità inferiore, in termini di risoluzione, in quanto difficilmente correggibile dal software.

In questo modo lo spettatore ha una visione completa della volta e non percepisce la discontinuità creata dallo specchio. Inoltre, per ragioni già citate in precedenza, la zona in prossimità dello specchio non risulta facilmente correggibile dal punto di vista dell'algoritmo di correzione, quindi la qualità dell'immagine ne risulta leggermente compromessa. A titolo di esempio nella figura 4.10 è riportata la visuale in cupola di un oggetto in prossimità dello specchio: come si evince la zona esterna presenta una lieve deformazione che compromette leggermente la qualità finale.

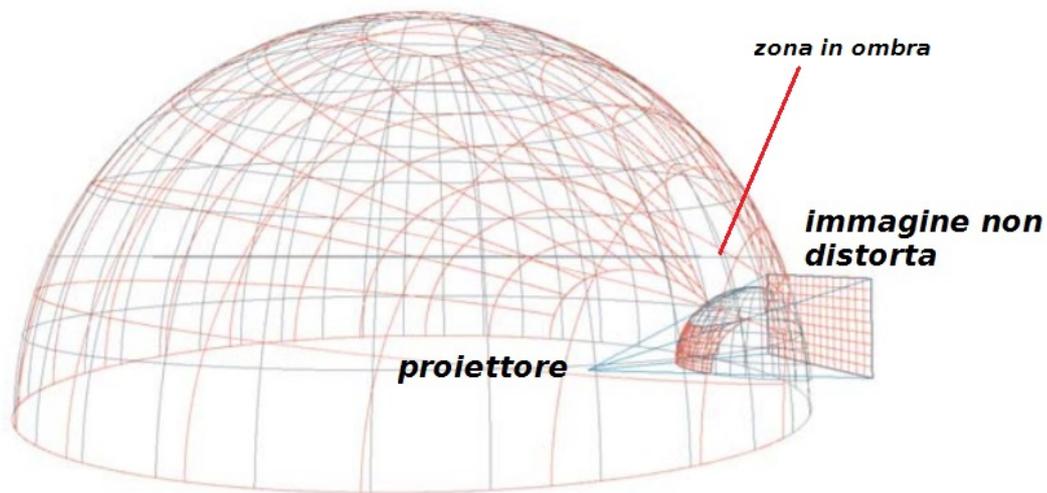


Fig 4.9: Zona in ombra che si forma in prossimità dello specchio, a causa della riflessione.

La correzione difficilmente può essere implementata dal lato software, ma è migliorabile regolando con precisione l'assetto relativo fra specchio e proiettore (inclinando leggermente il proiettore si ottiene un miglioramento a discapito una perdita di qualche grado di copertura dell'immagine all'orizzonte, in quanto quest'ultima risulta spostata verso lo specchio).

E' da notare però che tale problema non si pone nel momento in cui gli spettatori sono rivolti verso la parte opposta dello specchio, tuttavia si possono utilizzare alcuni accorgimenti per ridurre al minimo (ma non eliminare) tale difetto. Il problema inoltre risulta meno percepibile proiettando contenuti appositamente realizzati per questo tipo di proiezione, in cui cioè il contenuto dell'immagine è orientato verso la parte opposta dello specchio.

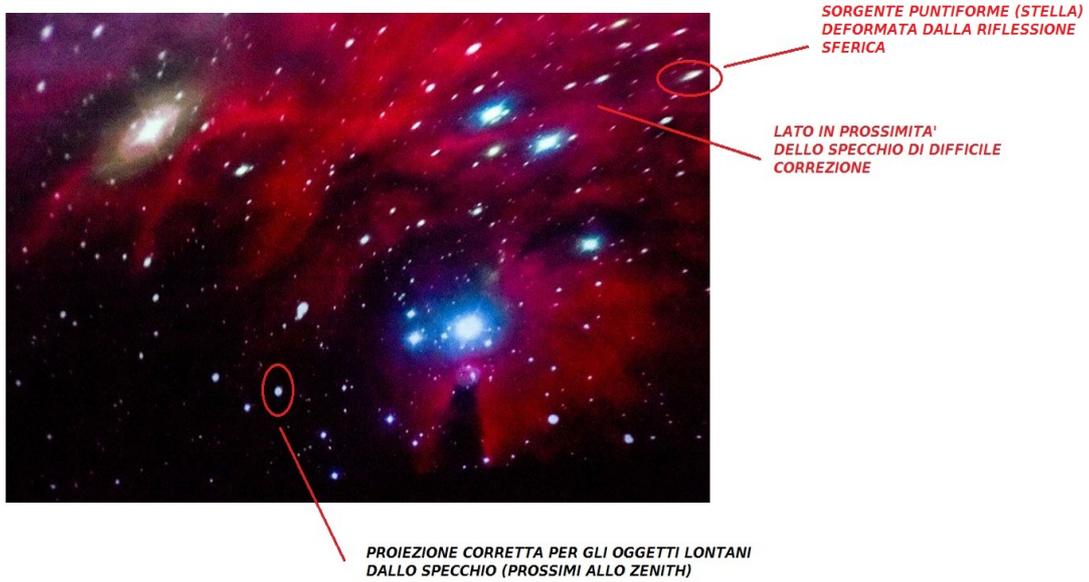


Fig 4.10: Elementi di un'immagine distorti a causa della riflessione sferica: i dettagli puntiformi (stelle) risultano maggiormente affetti da questa distorsione, dal lato vicino allo specchio.

5 Programmazione didattica del Planetario di Piacenza

Un altro importante traguardo, una volta realizzato e testato il prototipo, è stata la programmazione didattica del planetario in termini di offerta formativa alle scuole, in quanto target principale del progetto, compito che ho preso in carico successivamente alla realizzazione del sistema di proiezione. Il Museo di Storia Naturale di Piacenza svolge infatti numerosi laboratori didattici per le scolaresche di ogni grado e l'attività futura del planetario ha come obiettivo di inserirsi nella programmazione delle attività rivolte alle scuole. Il vantaggio del planetario didattico itinerante è che può essere installato direttamente nelle sedi scolastiche, senza quindi comportare i disagi ed i costi legati allo spostamento delle classi. Per fare questo è necessario un progetto dedicato alla determinazione degli obiettivi e dei contenuti didattici distinti in base al target scolastico di riferimento. Nei successivi paragrafi sono discussi i metodi che ho seguito e gli strumenti che ho adottato per la programmazione didattica del Planetario di Piacenza nonché le considerazioni personali che sono emerse da questo progetto.

5.1 La didattica dell'astronomia tramite il Planetario

Gli ultimi eventi astronomici, le recenti missioni spaziali e la divulgazione sia istituzionale che amatoriale, hanno sicuramente contribuito allo sviluppo di un crescente interesse da parte del pubblico verso le scienze astronomiche in generale. Il planetario è il luogo ideale dove gli studenti delle scuole possono “toccare da vicino” gli argomenti attraverso una modalità didattica innovativa e coinvolgente. Nonostante le innumerevoli riforme scolastiche, attraverso le quali si è cercato di apportare un rinnovamento nell'insegnamento delle materie scientifiche, si registra ancora oggi una certa resistenza al cambiamento, poiché

generalmente la tipica lezione frontale e l'uso del libro di testo come unico strumento didattico restano ancora la prassi più diffusa. Tuttavia, soprattutto da parte dei docenti, c'è notevole interesse a sostenere e seguire laboratori didattici al fine di integrare o comunque affiancare la programmazione didattica svolta in aula. L'uso del planetario, inteso come esperienza didattica, permette un coinvolgimento diretto degli alunni sia dal punto di vista percettivo (tramite l'utilizzo di effetti speciali 3-D) che cognitivo e dunque rappresenta un valido strumento per la didattica delle scienze in generale.

5.1.1 Scopo del progetto

Il progetto ha come obiettivo la didattica dell'astronomia a tutti i livelli, tramite una modalità innovativa e stimolante, cioè la tecnologia digitale. Particolare attenzione è rivolta al Sistema Solare ed ai pianeti che lo compongono, presentando le caratteristiche principali dei vari corpi celesti. Il progetto prevede inoltre una differente trattazione a seconda del pubblico di riferimento, con particolare attenzione agli studenti delle scuole di ogni ordine.

5.1.2 Metodologie didattiche

Il programma può subire variazioni su richiesta della scuola e sarà comunque commisurato e adattato in base al target scolastico; i moduli verranno presentati in modalità diverse a seconda della fascia scolastica, come segue:

- SCUOLA PRIMARIA: livello base;
- SCUOLE SECONDARIA DI PRIMO GRADO: livello intermedio;
- SCUOLE SECONDARIA DI SECONDO GRADO: livello avanzato (approfondimenti su richiesta);

Particolare attenzione, nel caso delle scuole primarie, sarà riservata all'approccio didattico con gli studenti, in modo da facilitare la comprensione dei concetti

principali; la trattazione in questo caso sarà presentata privilegiando l'aspetto “spettacolare” della proiezione senza soffermarsi sui dettagli nozionistici.

5.2 Programmi didattici e contenuti

Il programma sintetico sviluppato si può riassumere in vari moduli didattici che verranno affrontati durante la visita, in modalità differente a seconda del target scolastico (elementari, medie inferiori, medie superiori). La necessità di una distinzione è inevitabile nel momento in cui si vuole adattare la proiezione ai programmi svolti in classe e naturalmente all'età del pubblico coinvolto.

Grazie al software di simulazione 3-D è possibile proiettare vere e proprie simulazioni con effetto "immersivo" alla scoperta dei vari pianeti del Sistema Solare e dei principali oggetti celesti; è inoltre possibile creare e proiettare approfondimenti particolari o trattare moduli distinti. L'estrema flessibilità in termini di contenuti è garantita dal copioso materiale che si può reperire in formato fish-eye (“free” o a pagamento). E' possibile quindi adattare la proiezione selezionando o approfondendo un determinato argomento a seconda delle esigenze, compatibilmente con il programma svolto dagli insegnanti.

5.2.1 Modulo 1: storia dell'astronomia

In questa parte viene illustrato come cambia la visione del cosmo da parte dell'uomo, attraverso la rivoluzione copernicana e gli studi di Galileo Galilei, accennando brevemente all'evoluzione della concezione del cosmo nella storia. Utilizzando alcune funzioni avanzate di Stellarium tra cui l'utilizzo di script è possibile impostare il cielo in maniera virtuale, guidando lo spettatore in diverse epoche storiche passate mostrando come appariva il cielo in un determinato periodo storico.

| Modulo 1: STORIA DELL'ASTRONOMIA | |
|--|--|
| CONTENUTI DIDATTICI | OBIETTIVI |
| <ul style="list-style-type: none"> • <i>Rappresentazione della visione del cosmo nei vari modelli storici;</i> • <i>Visualizzazione della volta celeste nelle varie epoche storiche;</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Capire come cambia la visione dell'universo nel corso della storia;</i> |



Fig 5.1: Immagini riprese dallo spettacolo 3-D utilizzato per il modulo "Storia dell'astronomia".

5.2.2 Modulo 2: Geografia astronomica ed orientamento nel cielo

Questo modulo è dedicato alla rappresentazione della volta celeste, individuando le principali costellazioni del nostro emisfero, con particolare attenzione alle tecniche di orientamento per individuare i punti cardinali (individuazione del polo Nord tramite la Stella Polare).

| Modulo 2: GEOGRAFIA ASTRONOMICA | |
|--|--|
| CONTENUTI DIDATTICI | OBIETTIVI |
| <ul style="list-style-type: none"> • <i>Costellazioni e miti legati alle figure mitologiche del cielo;</i> • <i>Individuazione dei punti cardinali tramite le costellazioni;</i> • <i>Visualizzazione dei principali movimenti della Terra;</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Imparare a orientarsi tramite le costellazioni;</i> • <i>Comprendere e visualizzare i movimenti apparenti della volta celeste;</i> |



Fig 5.2: Immagini riprese dallo spettacolo 3-D utilizzato per il modulo "geografia astronomica".

5.2.3 Modulo 3: Sistema Solare

In questa parte vengono presentati i principali corpi celesti del Sistema Solare, iniziando dal Sole ed approfondendo i vari pianeti. Utilizzando filmati e contenuti 3-D è possibile simulare viaggi ravvicinati per studiare le caratteristiche principali dei componenti del Sistema Solare.

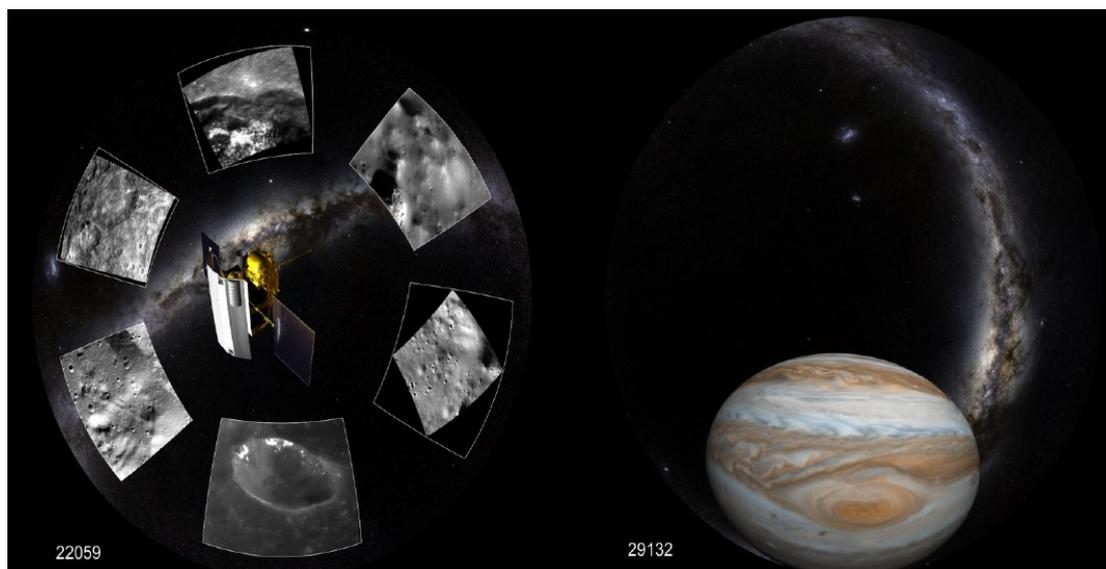


Fig 5.3: Immagini riprese dallo spettacolo 3-D utilizzato per il modulo "Sistema Solare".

| Modulo 3: SISTEMA SOLARE | |
|--|---|
| CONTENUTI DIDATTICI | OBIETTIVI |
| <ul style="list-style-type: none"> • <i>Presentazione dei vari corpi celesti che costituiscono il Sistema Solare;</i> • <i>Il Sole e la sua influenza sulla Terra (cenni al vento solare, le stagioni, il clima);</i> • <i>Approfondimento sui vari pianeti e loro caratteristiche;</i> • <i>Corpi minori: asteroidi, comete, pianetini;</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Distinguere i vari pianeti che costituiscono il nostro sistema solare;</i> • <i>Comprendere come funziona il Sole e come la sua attività influenza in nostro pianeta;</i> • <i>Cenni ai corpi celesti minori del Sistema Solare;</i> |

5.2.4 Modulo 4: Stelle e galassie

Questo modulo è dedicato alla scoperta delle caratteristiche principali delle stelle, con una breve descrizione del ciclo stellare, dalla nascita alla morte. Verranno inoltre forniti brevi cenni alla forma della Via Lattea e alle altre galassie.

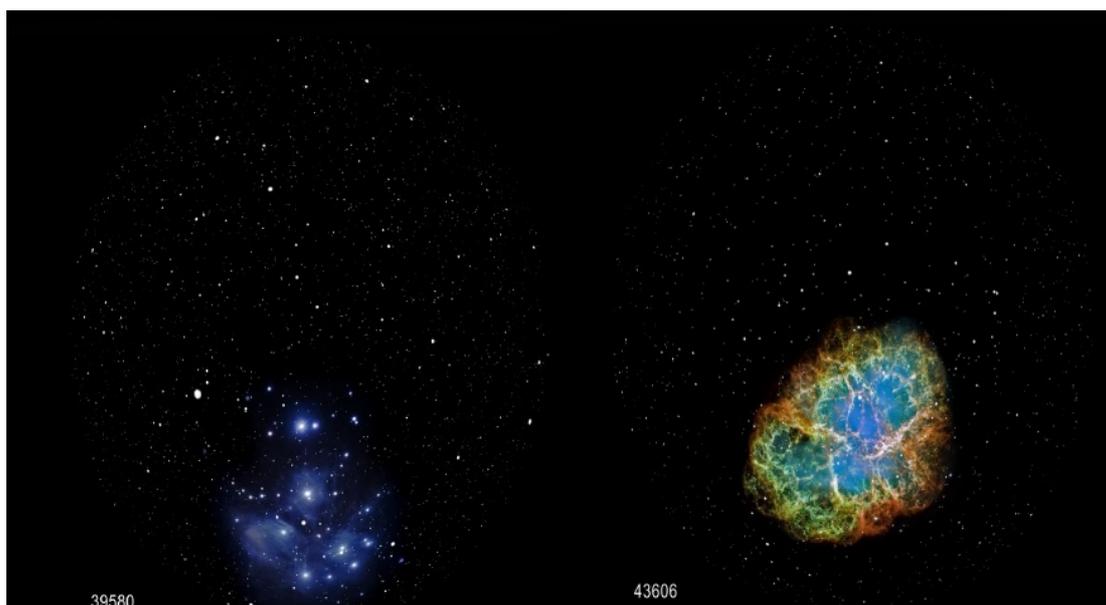


Fig 5.4: Immagini riprese dallo spettacolo 3-D utilizzato per il modulo "stelle e galassie".

| Modulo 4: STELLE E GALASSIE | |
|--|---|
| CONTENUTI DIDATTICI | OBIETTIVI |
| <ul style="list-style-type: none">• Cosa sono le stelle: vita e morte delle stelle;• Caratteristiche degli ammassi aperti e degli ammassi globulari;• Forma e caratteristiche della Via Lattea;• Le altre galassie; | <ul style="list-style-type: none">• Comprendere la differenza fra "stella" e "pianeta"; familiarizzare con le nozioni di base sul ciclo di vita delle stelle;• Comprendere cos'è una "galassia"; |

5.2.5 Programma didattico indirizzato alle scuole

Una volta definiti i moduli didattici è possibile pianificare l'attività in base al target scolastico, sottolineando maggiormente gli aspetti più idonei al tipo di classe coinvolta. Un primo criterio di suddivisione degli argomenti segue logiche consolidate in materia di insegnamento dell'astronomia nelle scuole; tutti gli argomenti saranno presentati con l'ausilio di tecniche audio-visive full-dome (modalità 3-D). In base alle esperienze passate e ai risultati ottenuti è possibile strutturare una suddivisione come indicato nella tabella sottostante.

| | SCUOLA PRIMARIA | SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO | SCUOLA SECONDARIA DI SECONDO GRADO |
|-----------------|---|--|--|
| MODULO 1 | N.T. | <i>Cenni alla visione geocentrica ed eliocentrica del cosmo.</i> | <i>Visione geocentrica ed eliocentrica. I contributi di Galileo ed i primi utilizzi del telescopio nell'astronomia.</i> |
| MODULO 2 | <i>Moto diurno ed annuo del sole; movimenti apparenti della volta celeste. Introduzione alla rappresentazione delle costellazioni del nostro emisfero. Miti e Costellazioni. Navigare con le stelle: caccia alla stella polare.</i> | <i>Moto diurno ed annuo del sole. Moto della sfera celeste a diverse latitudini. Costellazioni principali del nostro emisfero. Tecniche di base di orientamento nel cielo.</i> | <i>Moto diurno ed annuo del sole. Moto della sfera celeste a diverse latitudini. Cenni ai moti di precessione. Costellazioni principali del nostro emisfero. Tecniche di base di orientamento nel cielo.</i> |
| MODULO 3 | <i>I pianeti del Sistema Solare: caratteristiche principali. Comete ed asteroidi. La Luna e le fasi lunari.</i> | <i>I pianeti del Sistema Solare: caratteristiche principali e moti apparenti nel cielo. Comete ed asteroidi. La Luna e le fasi lunari.</i> | <i>Approfondimento a piacere sui vari pianeti del Sistema Solare; confronto con la Terra in termini di massa e dimensioni. Teorie sulla formazione del Sistema Solare (cenni).</i> |
| MODULO 4 | N.T. | <i>Caratteristiche principali delle stelle e della Via Lattea. Cenni alle altre galassie.</i> | <i>Caratteristiche principali delle stelle e della Via Lattea. Forma e caratteristiche della nostra galassia. Classificazione morfologica delle galassie (cenni).</i> |

5.3 Utilizzo delle funzioni avanzate di Stellarium

Allo scopo di arricchire e rendere più interessante la lezione all'interno del planetario sono state utilizzate alcune macro, sia prendendo spunto da quelle presenti nel sistema sia programmando direttamente tramite la funzione “script” di Stellarium. Questa funzione consente appunto di creare delle istruzioni che possono essere eseguite in automatico, tramite un semplice richiamo da parte dell'operatore (come una combinazione di tasti dalla tastiera).

A tale scopo Stellarium comprende già alcune funzioni avanzate che consentono semplici operazioni, fra cui:

- tour delle varie costellazioni visibili, impostando luogo, data e ora;
- visualizzazione di un'eclissi solare;
- visualizzazione della Terra da altri pianeti del sistema solare;
- visualizzazione del cielo su altri pianeti del Sistema Solare;

Nell'ambito della didattica tramite il planetario di Piacenza sono state modificate e personalizzate alcune macro al fine di rendere più interattiva e funzionale la proiezione. A tale scopo sono state personalizzate ed elaborate alcuni script per la visualizzazione delle costellazioni zodiacali e per la ricostruzione del cielo in diverse epoche storiche. La prima macro rientra nel modulo didattico “geografia astronomica ed orientamento nel cielo” mentre la seconda rientra nel modulo “storia dell'astronomia”. Le macro sviluppate sono riportate in appendice.

5.4 Considerazioni conclusive e prospettive future per il Planetario di Piacenza

A conclusione dei test e delle prove è stato dichiarato operativo il Planetario didattico di Piacenza. Grazie alla realizzazione dei due prototipi per la proiezione è stato possibile sperimentare direttamente sul campo le prestazioni del sistema e di conseguenza scegliere al meglio la soluzione tecnica da adottare.

Dal punto di vista tecnico il sistema di proiezione scelto ha raggiunto gli obiettivi prefissati, permettendo di sfruttare al meglio la proiezione sferica all'interno della cupola gonfiabile, grazie anche all'utilizzo dell'applicazione video VLC modificata per i filmati 3-D.

5.4.1 Il futuro del Planetario

Per le prospettive future gli sforzi si indirizzeranno soprattutto alla promozione dell'iniziativa alle scuole della provincia, allo scopo di presentare il planetario e di iniziare l'attività di divulgazione. L'idea iniziale è quella di integrare il planetario nell'offerta formativa del museo, per le scuole interessate alla visita verrà offerta la possibilità di usufruire del planetario direttamente presso l'istituto richiedente. Dal punto di vista dell'offerta didattica si mantiene la distinzione già menzionata per differenziare le proiezioni in base alle scuole di riferimento; non è da escludere l'estensione anche alle scuole materne, con evidente necessità di adattare i contenuti al pubblico più giovane. Tale proposta è giustificata da quanto avvenuto in occasione degli eventi passati, in cui furono numerose le richieste di partecipazione, a sottolineare un quindi un concreto interesse all'iniziativa. Nel corso degli ultimi mesi sono state effettuate alcune proiezioni a scuole materne, con grande partecipazione da parte dei bambini; in tal caso ovviamente l'accento è posto sull'intrattenimento piuttosto che su una funzione strettamente didattica.

5.4.2 Prospettive didattiche

Sul fronte della didattica gli sforzi sono indirizzati al reperimento di una varietà sempre maggiore di contenuti 3-D al fine di arricchire l'offerta per le scuole: in tal senso il planetario è inteso come uno strumento didattico estremamente flessibile, in grado di prestarsi alla presentazione di argomenti scientifici in generale, che possono anche esulare dal campo strettamente astronomico. In tale direzione si stanno affacciando sul mercato prodotti quali spettacoli 3-D su temi molto variegati, che di fatto costituiscono “pacchetti” completi ovvero dei moduli didattici a sé stanti. Non è da escludere quindi che prospettive future riguardino anche temi di grande attualità e importanza, come ad esempio i cambiamenti climatici (riscaldamento globale ed inquinamento antropico). A tal proposito ho personalmente ricevuto numerose richieste da parte di alcuni insegnanti di scuole elementari interessate a partecipare a spettacoli relativi non solo ad argomenti legati all'astronomia (ovvero parte del programma sviluppato a scuola legato ai pianeti del Sistema Solare) ma anche tematiche legate al clima, all'inquinamento e all'ambiente in generale. A tal proposito ho valutato la possibilità di rendere il planetario molto flessibile dal punto di vista tematico, cercando di sviluppare anche proiezioni con contenuti molto diversi; la difficoltà maggiore, in tal senso, rimane la reperibilità dei contenuti da proiettare che difficilmente si trovano gratuitamente in rete (esistono tuttavia diversi pacchetti di filmati a pagamento, ma i costi risultano comunque abbastanza elevati).

6 Realizzazione di un sistema di proiezione per il Planetario di Modena

Questo capitolo descrive l'esperienza che ho maturato presso il Planetario di Modena nel corso dell'anno 2016, la quale trae origine dai risultati ottenuti tramite il lavoro svolto presso il Planetario di Piacenza.

In una prima fase mi è stato possibile prendere coscienza dell'attività presente del Planetario, come si articola in termini di offerta formativa e come si ricongiunge con gli obiettivi di massima in termini di sostenibilità economica.

Le prime considerazioni sono emerse grazie alla disponibilità e competenza dell'attuale direttore, il professor Enrico Artioli, che recentemente è subentrato alla guida dell'associazione che gestisce il plesso: da un primo personale confronto è infatti emerso il desiderio comune di promuovere il Planetario ad un pubblico sempre più ampio, offrendo sempre maggiori contenuti ed intrattenimenti. Un esempio di questo desiderio consiste nelle aperture serali estive, evento che ha riscosso un crescente interesse da parte del pubblico di ogni età.

Da queste considerazioni ho maturato l'idea di mettere in pratica quanto appreso durante la realizzazione del prototipo per il Planetario di Piacenza allo scopo di arricchire la didattica in cupola ed ampliare così l'offerta didattica del Planetario di Modena, che per vocazione si rivolge ad un pubblico sempre più ampio cercando costantemente di rinnovare i contenuti.

Nei prossimi paragrafi segue una breve descrizione storica e tecnica del Planetario per poi definire il contributo che ho personalmente realizzato nell'ambito del presente lavoro di tesi.

6.1 La storia del Planetario



Fig 6.1: Ingresso del Planetario Civico di Modena.

Il planetario di Modena fu fondato nel 1975 da due docenti di Fisica, Mario Umberto Lugli e Francesco Martino, che vedevano nel planetario non solo lo strumento più idoneo e spettacolare per l'insegnamento dell'astronomia, ma anche il luogo in cui potessero trovare stimolo ed alimento le didattiche di tutte quelle discipline che all'astronomia in qualche modo sono correlate. Fu il CeSDA che, primo in Italia, importò dal Giappone il piccolo planetario EX3, dimostrando così che simili piccoli planetari, indispensabili per l'insegnamento intuitivo della geografia astronomica, si possono installare in ogni scuola e possono essere utilizzati da tutti gli insegnanti. La proposta è stata accolta con entusiasmo da parte dei colleghi e con interesse da parte dell'Amministrazione Comunale,

che nel 1980 acquistò e nel 1990 inaugurò il grande planetario della Zeiss ZKP2. Riconoscendone la professionalità e la continuità d'impegno il Comune di Modena affidava al CeSDA la gestione, dietro specifica convenzione, del Civico Planetario dedicato alla memoria del compianto professor Francesco Martino. L'attività del CeSDA si è poi articolata attraverso corsi di aggiornamento per docenti e di approfondimento per studenti, conferenze, pubblicazioni, organizzazione di congressi e partecipazione a commissioni didattiche. Ha ideato inoltre i meetings degli astrofili italiani, raccogliendo in particolare quei docenti che avevano utilizzato strumentini didattici di loro ideazione e costruzione. Ha collaborato con Amministrazioni comunali, Associazioni culturali, Biblioteche civiche; ha organizzato due corsi di durata biennale per conduttori di planetari, ha prodotto strumenti didattici, materiale informatico e pubblicazioni.

Il Civico Planetario di Modena può raccogliere sotto la sua cupola 76 spettatori, è privo di barriere architettoniche e dispone di una capiente aula magna per conferenze e corsi, una biblioteca, una saletta didattica, un'aula contenente il piccolo GOTO EX3, pronto all'uso per chi volesse utilizzarlo autonomamente con la propria classe, un gabinetto fotografico, un pendolo di Foucault alto 10 metri ed una torre osservatorio.

6.2 L'attività didattica del Planetario di Modena

6.2.1 Lo strumento

Il Civico Planetario "F.Martino" è equipaggiato con un proiettore Zeiss ZKP2 i cui movimenti sono comandati tramite comandi elettrici e la proiezione sfrutta una focalizzazione tramite obiettivi. La cupola è uno schermo in alluminio che raccoglie la luce proiettata e riproduce la volta celeste in modo molto accurato.

I moti apparenti sono realizzati tramite movimenti del proiettore, mentre i movimenti dei Pianeti, del Sole e della Luna sono ottenuti tramite proiettori indipendenti.



Fig 6.2: Proiettore ottico presente all'interno della cupola di Modena: modello Zeiss ZKP2.

I movimenti simulati consistono in:

- Moto di rotazione (Moto Apparente Diurno)
- Moto di rivoluzione (Moto Apparente Annuo)
- Moto di precessione
- Moto dei Pianeti
- Moto della Luna

Altri proiettori indipendenti sono impiegati per rappresentare i seguenti cerchi:

- Meridiano
- Eclittica
- Equatore Celeste
- Cerchio Orario
- Cerchio Verticale

Infine altri due proiettori separati permettono di rappresentare i punti di riferimento:

- Zenit
- Polo Nord Celeste

Nel complesso il Planetario è in grado di simulare la volta celeste in condizioni di visibilità ideali da qualsiasi punto della Terra, in qualsiasi data.

6.2.2 L'offerta didattica del Planetario

L'attuale attività didattica del Planetario di Modena si basa essenzialmente su conferenze rivolte al pubblico (tipicamente organizzate il giovedì sera) ed alle scuole, oltre che incontri dedicati ai più piccoli e alle famiglie.

Le attività della domenica pomeriggio sono rivolte a famiglie con bambini, per essi, la fascia d'età consigliata è 5-11 anni. Non è consigliata l'attività per bambini di età inferiore ai 5 anni, a meno che non siano accompagnati. Le attività sono pensate per introdurre in modo semplice e divertente all'affascinante mondo dell'astronomia e alla scoperta degli oggetti del cielo in un percorso tematico dal "vicino al lontano" che susciti l'interesse dei piccoli e risvegli la curiosità dei grandi. Gli argomenti trattati sono vari: la Luna, il Sole, i pianeti, gli asteroidi, le comete, le costellazioni, le galassie, la navigazione con le stelle. L'attività ha una

durata di circa 2 ore e prevede due parti una divulgativa in cupola, comprensiva dell'osservazione del cielo stella.

Alle scuole è dedicata una programmazione a parte, a seconda delle richieste da parte degli istituti scolastici: in questo ambito la divulgazione segue un'attenta suddivisione in base al tipo di scolaresche coinvolte.

Occasionalmente, nella stagione estiva, vengono organizzate serate di apertura dedicate anche all'osservazione del cielo tramite i telescopi a disposizione: una prima parte consiste nella conferenza in cupola, a cui segue l'osservazione guidata del cielo (a seconda delle condizioni meteo).

6.2.3 Osservazioni sull'attività didattica attuale

Partecipando all'attività didattica del Planetario di Modena è stato possibile osservare sotto vari aspetti l'operato delle guide didattiche giudicando anche le reazioni da parte del pubblico. Le prestazioni del proiettore ottico sono indiscutibili dal punto di vista della resa finale: il risultato infatti è all'altezza dei migliori proiettori ottici, ma come tali ha come limite il suo stesso cavallo di battaglia, ovvero la ricostruzione del cielo stellato.

Dal punto di vista educativo il planetario offre certamente una grande varietà di argomenti, che possono spaziare da tematiche di più facile comprensione (come le costellazioni) ad aspetti di carattere più tecnico e avanzato (come i movimenti della sfera celeste ed i moti di precessione).

Le osservazioni emerse sull'attuale attività didattica riguardano i limiti nella trattazione degli argomenti di maggior rilievo da punto di vista didattico che non riguardano strettamente il cielo e la sua ricostruzione, fra cui i pianeti del sistema solare (a parte la loro visualizzazione in cielo). Al fine di rendere più ricca ed interessante la proiezione vengono infatti utilizzati 2 proiettori digitali utilizzati in contemporanea, tramite i quali sono proiettate immagini o video dei pianeti. Questa modalità ha lo scopo di ampliare gli argomenti trattati in cupola, ma data la difficoltà di integrare questi strumenti con il proiettore la resa finale risulta di

scarsa qualità poiché l'immagine o il contenuto video si riproduce solo su una piccola porzione di cupola, da ambo i lati.

6.3 Realizzazione di un sistema di proiezione per il Planetario di Modena

Una strategia di miglioramento della situazione attuale consisterebbe nell'affiancare all'attuale proiettore ottico un sistema di proiezione digitale allo scopo di ampliare notevolmente i contenuti didattici della proiezione e dunque rendere molto più ampia e flessibile la programmazione del planetario. Di seguito è dunque descritto il contributo che personalmente ho realizzato presso la sede modenese.

6.3.1 Valutazioni preliminari

Lo studio di un sistema di proiezione parte dal presupposto che naturalmente la parte centrale della cupola non è utilizzabile, in quanto già occupata dal proiettore ottico principale. Questo fatto esclude l'utilizzo del prototipo fish-eye elaborato per il Planetario di Piacenza, in quanto come già illustrato nel precedente capitolo (cfr. capitolo 3) necessita di essere collocato proprio nel centro della struttura per poter formare un'immagine a tutto campo.

Dati i vincoli strutturali è dunque da ipotizzare una possibile integrazione del proiettore ottico Zeiss con il prototipo a specchio sferico, che ben si presta a questo tipo di applicazione. Naturalmente una prima incognita riguarda, oltre che il posizionamento del sistema, il comportamento in termini di risoluzione quando l'immagine viene proiettata su un'area maggiore, come nel caso della cupola del Planetario di Modena, rispetto a quanto realizzato per il Planetario di Piacenza. In questo caso è da precisare che in termini di superficie si ha un'area complessiva quattro volte maggiore (e quindi in termini di luminosità sarà necessario un proiettore in grado di garantire un flusso luminoso sufficiente),

inoltre è anche importante valutare i possibili effetti in termini di risoluzione: è facile comunque dimostrare che in questo caso la resa complessiva dell'immagine non cambia, in quanto il numero di pixel proiettati rimane identico rispetto al caso di una cupola di diametro inferiore.

| PLANETARIO DI PIACENZA | PLANETARIO DI MODENA |
|-------------------------------|------------------------------------|
| Ø 5 m | Ø 10 m |
| Superficie liscia in PVC | Superficie in alluminio reticolare |
| Max 25 posti | Max 80 posti |
| Proiettore a specchio sferico | Proiettore ottico Zeiss ZKP2 |

Esaminando il caso in figura seguente è possibile confrontare cosa accade durante la proiezione di un'immagine su due superfici differenti: appare evidente che l'angolo sotteso dal pixel rispetto all'osservatore rimane invariato e dunque la risoluzione del sistema ottico non cambia, rimanendo fissata al valore di output del proiettore.

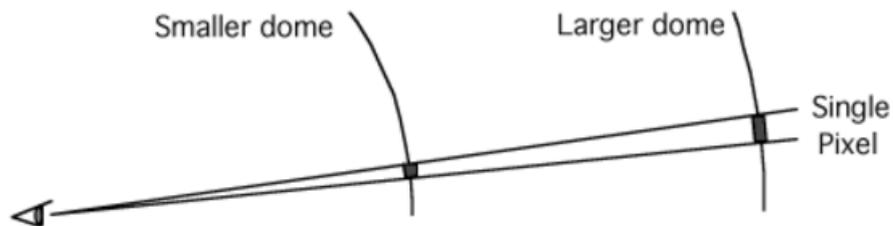


Fig. 6.3: Dimensioni apparenti di un pixel variando il diametro della cupola.

Naturalmente esiste un effetto di scala che può influire ad esempio sulla visualizzazione delle sorgenti puntiformi (ad esempio le stelle): una sorgente molto piccola infatti apparirà come un circolo luminoso, il cui diametro è

direttamente proporzionale alla distanza proiettore–cupola e dunque dal diametro del planetario. Tuttavia tale problema non influisce sulla scelta in questione in quanto per la visualizzazione del cielo conviene sicuramente utilizzare l'ineguagliabile resa del proiettore ottico della Zeiss, probabilmente superiore a qualsiasi strumento digitale oggi in commercio.

6.3.2 Implementazione del sistema di proiezione a specchio sferico

Dal punto di vista tecnico l'implementazione del prototipo a specchio sferico utilizzato per il Planetario di Piacenza è abbastanza semplice: una volta individuata la giusta posizione (in modo da ottimizzare la visuale in cupola) è necessario accoppiare correttamente il proiettore allo specchio. Il proiettore Acer P-1500 si rivela perfettamente adatto in quanto rispetta pienamente i requisiti esposti nel precedente paragrafo e si presta anche per una proiezione su una superficie maggiore, come nel caso della cupola di Modena. Del resto la luminosità effettiva di 3000 Lumen si è dimostrata più che sufficiente per il Planetario di Piacenza (\varnothing 5 metri): è da notare infatti che più che la luminosità è il contrasto a essere determinante nella proiezione, in quanto in condizioni di scarsa illuminazione l'occhio umano è molto sensibile anche a bassi livelli di luce. Inoltre nel corso dei test che ho effettuato il proiettore in uso si è rivelato un buon prodotto, senza presentare problemi di affidabilità o di accoppiamento con lo specchio sferico.

Anche la scelta dello specchio è confermata, in quanto non vi sono ragioni particolari per scegliere un formato di maggiori o minori dimensioni anche perchè in commercio esistono solo alcuni formati standard di specchi sferici (specialmente con rivestimento frontale). Inoltre, aumentando o diminuendo le dimensioni dello specchio cambia anche la distanza relativa specchio–proiettore, in quanto le dimensioni effettive dell'immagine proiettata devono rientrare nella superficie dello specchio stesso. Per queste ragioni ho scelto lo stesso prodotto

utilizzato per il Planetario di Piacenza, ovvero uno specchio di 55cm di diametro.

Fatte queste premesse il passo successivo è la realizzazione fisica del sistema di proiezione ed il suo posizionamento all'interno della cupola. Per quanto riguarda l'assemblaggio dei componenti ho riprodotto il prototipo del Planetario di Piacenza, mantenendo inalterati i parametri di utilizzo (distanza proiettore specchio e impostazioni di grafica): questa scelta consente di mantenere una certa compattezza del sistema e quindi una facile installazione. Inoltre mantenendo le impostazioni di grafica e software sostanzialmente inalterati non è necessario effettuare nuovi settaggi per ottenere la proiezione ottimale. Invece per quanto riguarda il posizionamento del sistema è necessario rispettare alcuni accorgimenti che derivano principalmente dal fatto che, come già accennato, il sistema deve essere posizionato ai bordi della cupola, ad una quota da terra che rispetti il giusto livello dell'orizzonte durante la proiezione. Come si vede in figura infatti non è sufficiente posizionare a terra lo specchio, perchè la proiezione effettivamente coinvolge la superficie della cupola che si trova sopraelevata di una certa quota rispetto al piano terra.



Fig 6.4: Immagini riprese all'interno del Planetario di Modena: si nota l'altezza dell'orizzonte rispetto agli spettatori (indicata con "h")

E' dunque necessario realizzare un supporto che consenta di posizionare correttamente il blocco di proiezione senza ovviamente intralciare lo spazio della sala. Detto questo per risolvere il problema è necessario affrontare due questioni:

- posizionare il sistema a lato cupola, ad una quota idonea per la proiezione
- realizzare un supporto in modo da sostenere il gruppo proiettore-specchio a “sbalzo”, rispettando i parametri di configurazione senza intralciare o mettere a rischio la sicurezza durante la proiezione

Dei due punti sopra esposti naturalmente il secondo è primo in quanto a importanza: come già accennato è infatti necessario mantenere il proiettore ad una certa distanza dallo specchio e ciò si traduce nell'esigenza di posizionare il gruppo di proiezione a sbalzo rispetto alla cupola.

Osservando la planimetria della sala cupola (cfr. appendice 5) si nota come la zona più favorevole all'installazione del supporto è l'area prossima all'entrata, in cui di fatto esiste già una base esistente in corrispondenza alla consolle dei comandi. Inoltre in questo modo si sfrutta anche un migliore orientamento dei posti all'interno della sala: è da notare infatti che mentre il proiettore ottico non impone vincoli in merito all'orientamento degli spettatori, il sistema di proiezione a specchio sferico obbliga il pubblico a voltare le spalle allo specchio stesso. Con la disposizione appena descritta gli unici posti da escludere per avere una buona visuale sono quelli posti in prossimità dell'entrata, che risultano molto pochi: in questo modo si ottimizza la capienza della sala oltre che le prestazioni del sistema di proiezione.

Individuato il punto esatto dove installare il supporto è necessario valutare lo sbalzo necessario al fine di sostenere correttamente il proiettore e lo specchio in tutta sicurezza. Sfruttando il supporto che sostiene la consolle è stato possibile utilizzare quest'ultimo come base su cui fissare il proiettore e lo specchio. Per effettuare i test sperimentali è stato predisposto un supporto provvisorio (in attesa

di effettuare un montaggio definitivo) che garantisce comunque una corretta disposizione della strumentazione.

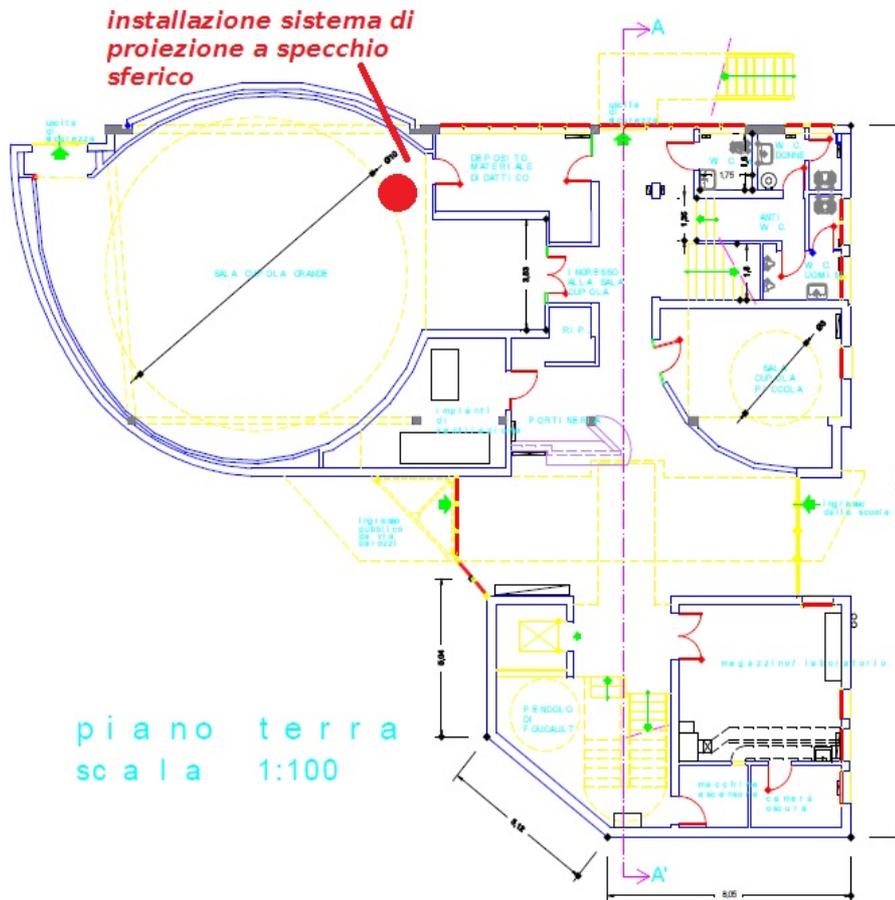


Fig 6.5: Pianta del piano terra dell'edificio ospitante il Planetario: in rosso è indicata la posizione stabilita per l'installazione del sistema di proiezione.

Come base di appoggio è stata utilizzata una tavola di legno di lunghezza 1,5m in grado di accogliere il proiettore ad una distanza di circa 80cm dallo specchio. Come mostrato in figura lo specchio è stato posto a livello dell'orizzonte della cupola e perfettamente aderente al bordo in modo da ottimizzare la copertura

della volta. Sono stati rispettati i parametri costruttivi utilizzati per il Planetario di Piacenza, fra cui l'altezza relativa del piano del proiettore rispetto al piano dello specchio (circa 12cm).



**massima copertura della superficie
dello specchio ($d = 80\text{cm}$)**

*Fig 6.6: Posizionamento del sistema di proiezione all'interno della cupola:
nell'ingrandimento è visibile lo specchio sferico.*

In questo modo è anche più facile garantire l'alimentazione elettrica al proiettore, essendo il tutto posizionato in prossimità della consolle e di numerose prese elettriche. L'assetto della strumentazione è così ottimale ed il sistema è pronto per la valutazione effettiva delle prestazioni.

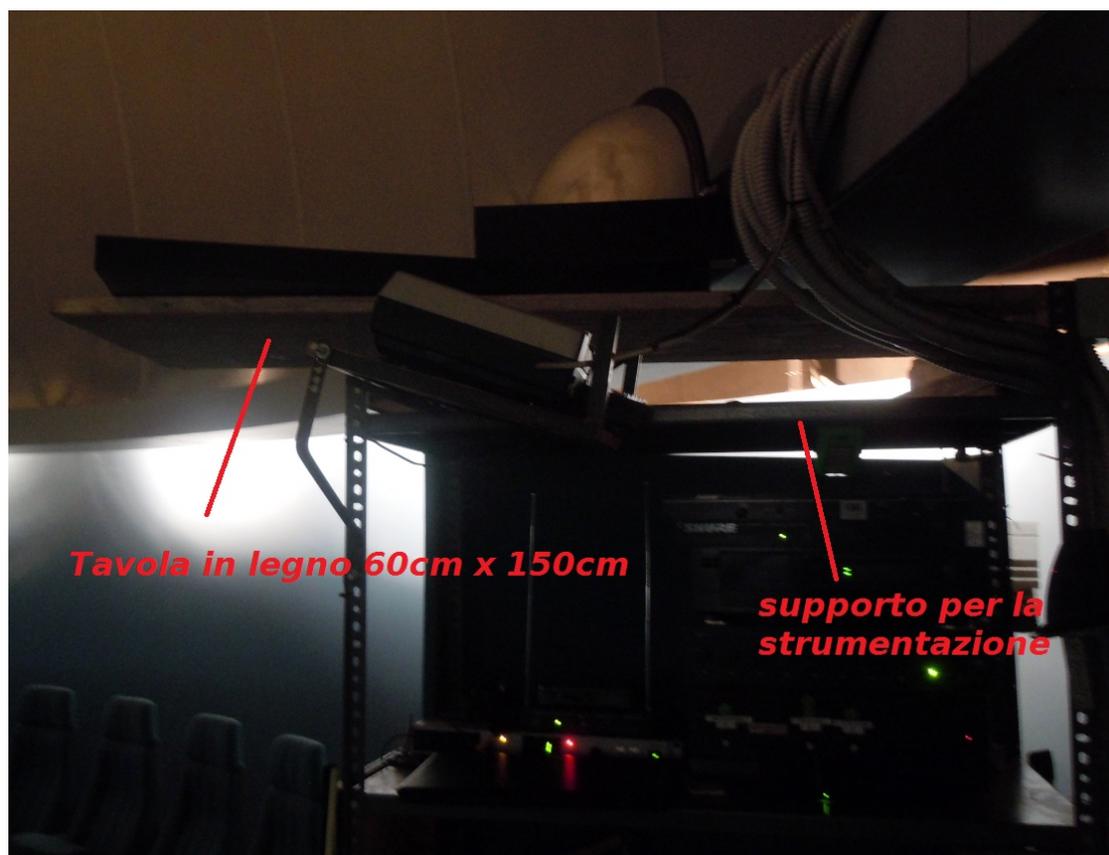


Fig 6.7: Supporto realizzato per sostenere il sistema di proiezione.

6.3.3 Test e valutazione del nuovo sistema di proiezione

Una volta posizionato il sistema di proiezione ho eseguito numerosi test per valutare le effettive prestazioni in termini di qualità percepita e di risoluzione effettiva. Le prove sono state inserite nella programmazione estiva (cfr. appendice 6) e si sono svolte in più serate dedicate alla proiezione in modalità full-dome. In

tali occasioni ho condotto la conferenza dedicando la prima parte al cielo stellato (tramite il proiettore ottico) mentre la seconda ad uno spettacolo “fulldome” tramite il sistema di proiezione a specchio sferico.

Una prima osservazione riguarda la superficie interna della cupola: essendo di materiale reticolare (non liscia) costituisce di per sé un limite alla risoluzione teorica massima raggiungibile dal sistema (figura 6.8).



Fig 6.8: immagine della superficie interna della cupola di Modena: sono evidenti le irregolarità dovute alle giunzioni del materiale.

Tale problema non si percepisce con oggetti puntiformi, come le stelle, in quanto non coprono un'area significativa sulla cupola ma per un'immagine a largo campo, come un filmato, potrebbe in parte influenzare la visione. Dai test effettuati si è constatato tuttavia che tale fattore non risulta affatto incisivo per la

risoluzione utilizzata (1920 x 1080px) e la visione non risulta disturbata. La questione diventerebbe rilevante qualora si utilizzassero risoluzioni molto elevate, ma questo esula dagli obiettivi del presente lavoro. Come si nota dalle immagini seguenti la qualità ottenuta è più che sufficiente a garantire uno spettacolo in 3-D adatto al pubblico di ogni età. Le immagini che seguono sono state riprese all'interno della cupola durante i test che ho realizzato nelle conferenze pubbliche dedicate al nuovo sistema di proiezione.

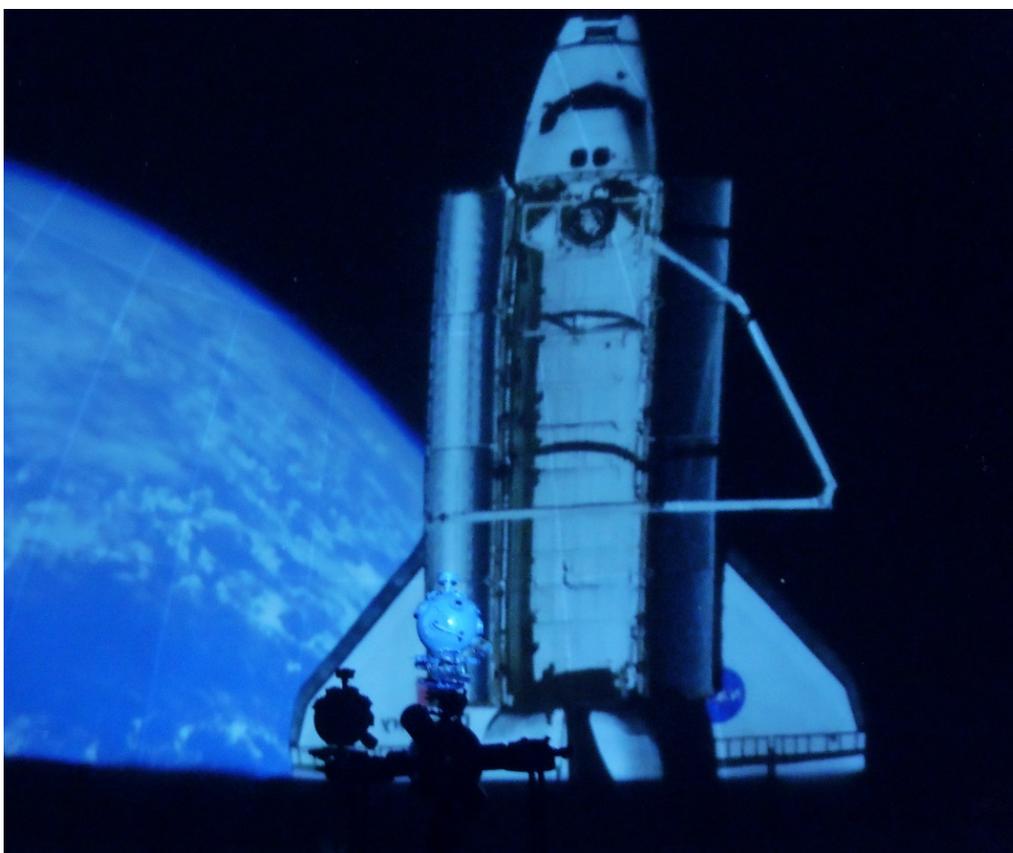


Fig 6.9: Immagine ripresa durante le prove effettuate: si nota l'ottimo livello di risoluzione ottenuta, nonostante le dimensioni della cupola.

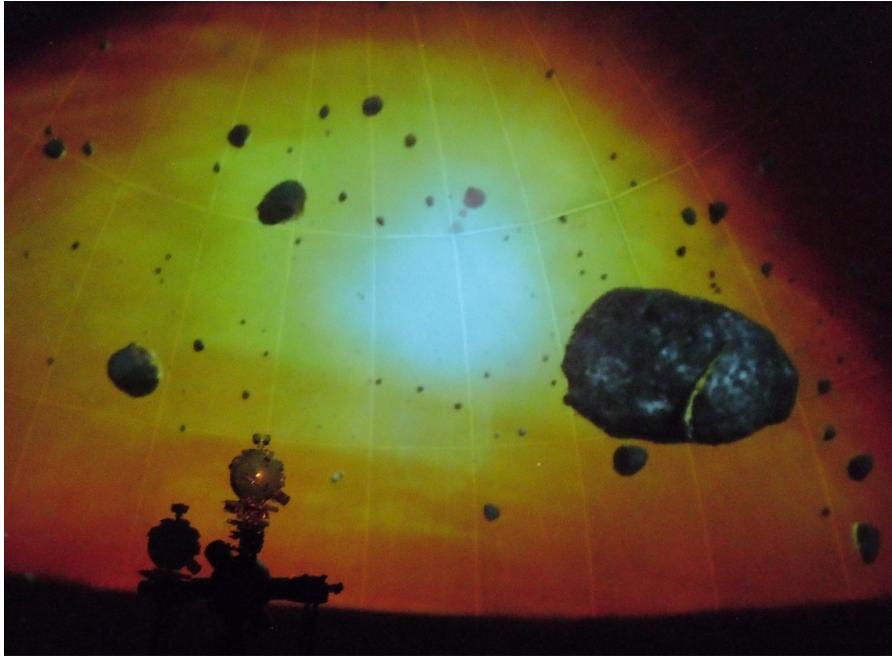


Fig 6.10: Immagine ripresa durante le prove effettuate: formazione del sistema solare.



Fig 6.11: Immagine ripresa durante le prove effettuate: "Globuli di Bok".

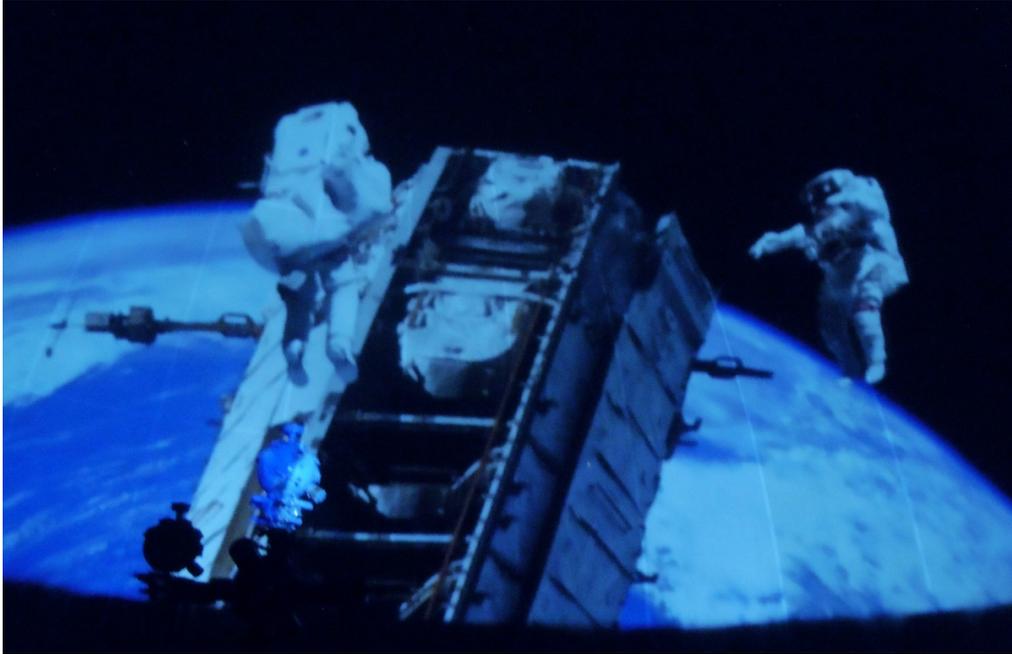


Fig 6.12: Immagine ripresa durante le prove effettuate: astronauti in orbita.

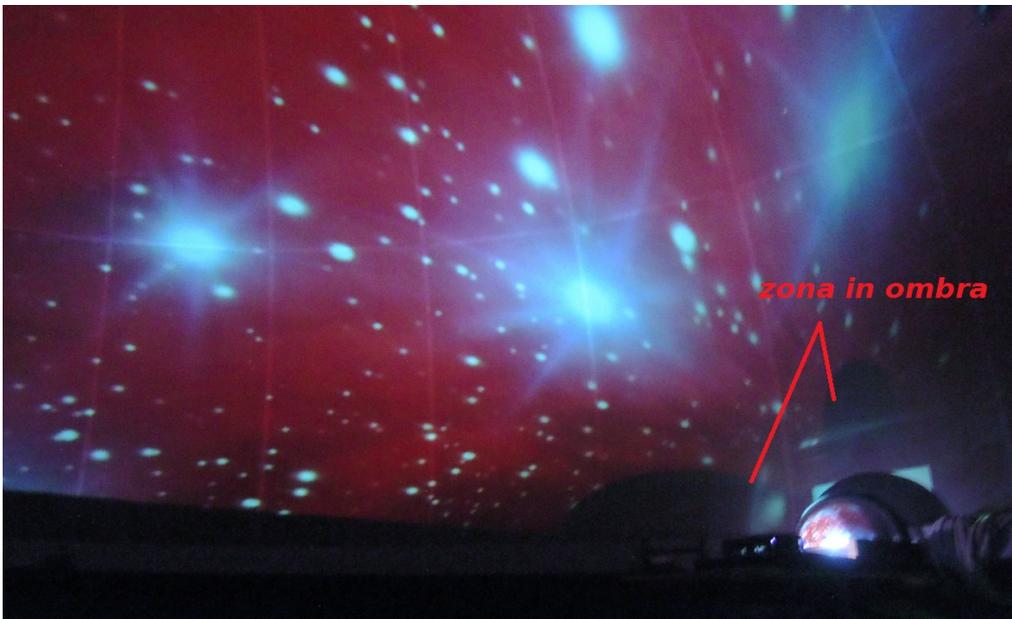


Fig 6.13: Immagine ripresa durante le prove effettuate: in evidenza la zona prossima allo specchio.

6.3.4 Considerazioni conclusive e prospettive future

Effettuando i test del sistema di proiezione che ho realizzato ho avuto modo di verificare la compatibilità del sistema a specchio sferico con il proiettore ottico esistente e testare le prestazioni all'interno di una cupola di dimensioni molto maggiori rispetto al Planetario di Piacenza.

Dal punto di vista della risoluzione la qualità ottenuta è stata ottima, considerando la strumentazione a disposizione e gli investimenti effettuati; un possibile miglioramento potrebbe compiersi utilizzando una migliore scheda grafica in grado di reggere anche filmati di risoluzione superiore oppure implementando il sistema con un proiettore digitale più performante.

La qualità percepita dal pubblico durante le conferenze è stata più che soddisfacente e lo spettacolo 3-D si è perfettamente integrato con l'utilizzo del proiettore ottico Zeiss, dimostrando come i due sistemi posso perfettamente coesistere (come del resto avviene in planetari molto più avanzati).

In conclusione il prototipo che ho realizzato e le prove che ho condotto hanno confermato l'intento iniziale di arricchire l'offerta formativa del Planetario Civico di Modena, aprendo nuove ed interessanti potenzialità, limitando al massimo i costi rimanendo all'interno del budget previsto. In futuro sicuramente ci potrà essere la possibilità di implementare definitivamente il prototipo all'interno della cupola, migliorando anche la qualità dei filmati e la varietà dei contenuti.

7 Conclusioni

Nella divulgazione astronomica la tendenza attuale è di fare sempre più affidamento alle tecnologie digitali come mezzo per riprodurre la volta celeste all'interno di un planetario. Questo tentativo, affinato nel corso della storia, vuole rappresentare uno strumento per trasmettere in modo semplice e stimolante le basi dell'astronomia anche laddove o allorquando non è possibile fare osservazione diretta del cielo. L'idea iniziale, alimentata dalle esperienze personali passate nel campo della divulgazione astronomica, è stata quella di coinvolgere il pubblico e le scuole del piacentino realizzando un planetario per la città di Piacenza. L'interesse e la partecipazione raggiunta sono indice del fatto che l'astronomia è una scienza tanto affascinante quanto poco divulgata, soprattutto in ambito scolastico.

Lo sforzo principale che ho affrontato nel presente lavoro è stato dunque quello di creare un progetto di un planetario (partendo da uno studio di fattibilità in termini di spazi e risorse economiche) presso il Museo di Storia Naturale di Piacenza, identificando il tipo di struttura compatibile con gli spazi a disposizione ed in seguito realizzando ed implementando un sistema di proiezione da me realizzato.

La parte più importante del presente lavoro ha riguardato la realizzazione e l'implementazione di due prototipi (ovvero un sistema di proiezione con obiettivo fish-eye ed un sistema a specchio sferico) al fine di individuare la tecnologia più idonea da utilizzare compatibilmente con i requisiti del progetto. Entrambi i prototipi sono stati progettati, realizzati e direttamente testati sul campo, ottenendo ottimi risultati in termini di grafica e risoluzione effettiva, come documentato dalle immagini riprese all'interno della cupola. Successivamente ho elaborato un piano didattico che potesse differenziare i contenuti in base al target scolastico, proponendo una suddivisione tematica in

moduli didattici adatti alle diverse fasce scolastiche. A seguito dei test effettuati la struttura è diventata ad oggi operativa con la prospettiva futura di rendere il planetario disponibile alle scuole ed al pubblico del territorio piacentino.

In seguito alla realizzazione del Planetario di Piacenza ho avuto la possibilità di mettere a frutto i risultati ottenuti progettando e realizzando un prototipo di un sistema di proiezione per il Planetario civico di Modena che potesse affiancare il proiettore ottico esistente. Effettuando una serie di test in cupola ho avuto modo di appurare la piena compatibilità con il sistema a specchio sferico, essendo quest'ultimo una soluzione ideale per arricchire l'offerta formativa del Planetario di Modena. Le prestazioni del sistema sono state infine da me testate direttamente in conferenze pubbliche, in occasione della programmazione estiva, dimostrando come l'utilizzo combinato del proiettore opto-meccanico Zeiss ed il nuovo prototipo a specchio sferico possa gettare le basi per un'offerta didattica molto più ampia e coinvolgente.

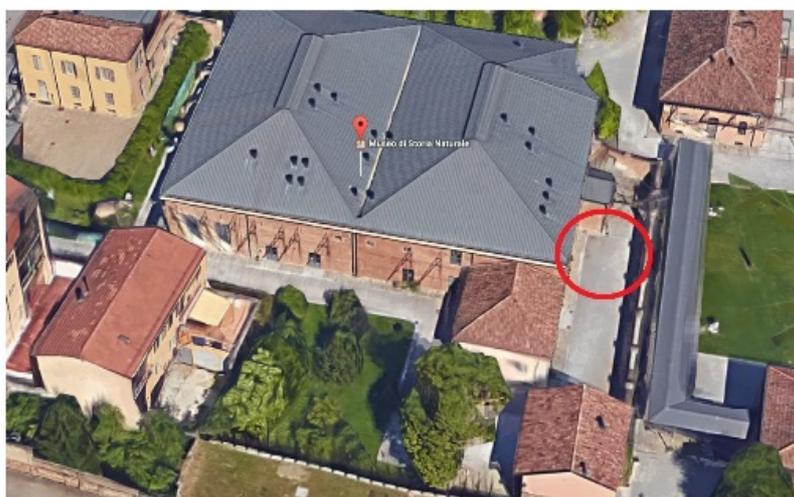
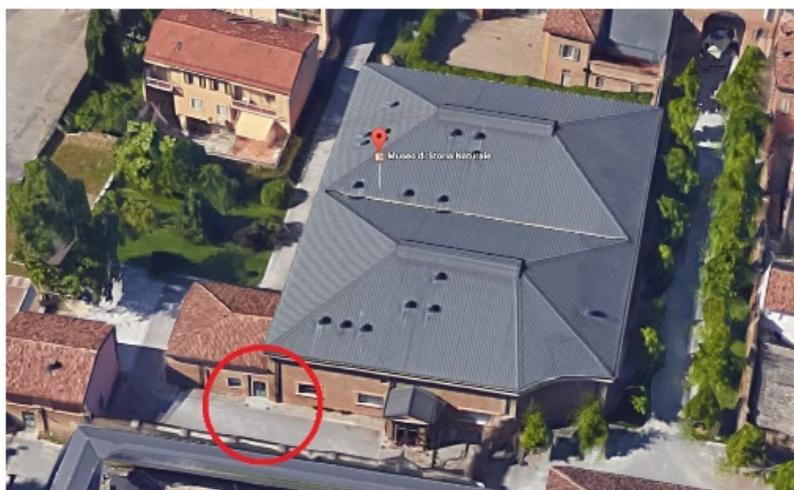
8 Bibliografia

- [1] Giangiacomo Gandolfi, "La fabbrica delle stelle", *Astronomia* n. 240 pp. 28-32 (2003)
- [2] "Disegnare il tempo e l'armonia. Il disegno di architettura e osservatorio nell'universo", atti del convegno, seminario arcivescovile Maggiore, Alinea editrice, Firenze (2009)
- [3] Helmet, Werner, "From the Aratus Globe to the Zeiss Planetarium", Gustav Fischer, Stuttgart (1957)
- [4] Carl Zeiss, "Letter to Shelter Publications from Dr. W. Degenhard", Oberkochen (June 19, 1973)
- [5] Ruth Owen, "New Planetarium Opens At Greenwich Royal Observatory", *Culture24* (2009)
- [6] *www.zeiss.com* (2016)
- [7] George Sergeant Snyder, "Le mappe della volta celeste", SugarCo, Milano (1984)
- [8] "Portable Planetarium Handbook", International Planetarium Society Inc., <http://www.ips-planetarium.org/>, Susan Reynolds Button editore (2002).
- [9] Roseneld, P. et al. "The University of Washington Mobile Planetarium: A Do-it-yourself Guide", *CAPjournal* 15, 35-39 (2014).
- [10] <http://www.lss-planetariums.info/>; LSS Group, Y. Lhoumeau & L.Ruiz (2016).
- [11] <http://www.paulbourke.net/>; P. Bourke (2016).

- [12] Eugene Hecht, “Optics”, Addison–Wesley, 4th edition (2001)
- [13] <http://nightshadesoftware.org>; Nightshade (2016)
- [14] <http://www.stellarium.org>; Stellarium (2016)
- [15] Francou Carlo, “Museo di Storia Naturale di Piacenza”, Piacenza (2001)
- [16] James J. Kumler, Martin Bauer, “Fisheye lens designs and their relative performance”, Proceedings SPIE, (2000)
- [17] Lugli Mario Umberto, “Il planetario comunale di Modena”, Modena (1990)

APPENDICE 1

Location del Planetario nel Museo di Storia Naturale di Piacenza



APPENDICE 2

File dati di impostazione di Stellarium

"impostazioni generali di Stellarium"

version=0.9.0

```
[video]
fullscreen=false
screen_w=1400
screen_h=1080
bbp_mode=32
horizontal_offset=0
vertical_offset=0
minimum_fps=10
maximum_fps=60
distorter=fisheye_to_spheric_mirror
non_power_of_two_textures=true
```

"lato proiezione"

```
type=fisheye
viewport=disk
flag_use_gl_point_sprite=false
```

```
[specchio sferico]
projector_gamma=0.3
projector_position_x=0
projector_position_y=3.5
projector_position_z=0
mirror_position_x=0
mirror_position_y=5
mirror_position_z=0
```

//informazioni sul sistema di proiezione//

```
mirror_radius=0.35
dome_radius=5
```

```
image_distance_div_height=2.7
projector_delta=10.6
projector_alpha=0
projector_phi=0
flip_horz=false
flip_vert=false
distorter_max_fov=180
texture_triangle_base_length=8
flag_use_ext_framebuffer_object=false
```

```
sky_locale=system
app_locale=system
time_zone=system_default
time_display_format=system_default
date_display_format=system_default
```

"impostazioni di visualizzazione"

```
star_scale=1.1
star_mag_scale=1.4
star_twinkle_amount=0.3
max_mag_star_name=1.5
flag_star_twinkle=true
flag_point_star=false
```



```
//Identificazione delle costellazioni da visualizzare e  
memorizzazione in un vettore//
```

```
var constellations = new Array("Gemini", "Cancer", "Leo",  
"Virgo", "Libra", "Scorpius", "Ophiuchus", "Sagittarius",  
"Capricornus", "Aquarius", "Pisces", "Aries", "Taurus");  
core.setDate("2006:03:14T21:21:32");  
StelMovementMgr.zoomTo(210,5);  
core.wait(5);  
ConstellationMgr.setFlagIsolateSelected(true);  
ConstellationMgr.setFlagArt(true);  
ConstellationMgr.setFlagLabels(true);  
ConstellationMgr.setArtIntensity(0.6);  
for(i=0;i<constellations.length;i++)
```

```
//ciclo per lo scorrimento delle costellazioni//
```

```
{core.selectObjectByName(constellations[i],false);core.wa  
it(0.6);}  
core.wait(1);  
ConstellationMgr.setFlagBoundaries(true);  
core.wait(1);  
GridLinesMgr.setFlagEclipticLine(true);
```

APPENDICE 4

Macro per la visualizzazione del cielo

```
//Macro per la visualizzazione della volta celeste in  
diverse epoche storiche//
```

```
//visualizzazione del cielo alla nascita di Cristo/
```

```
core.setDate("12:25:0000 T12:00:00");  
core.clear("natural");  
core.wait(1);  
ConstellationMgr.setFlagBoundaries(false);  
core.wait(1);  
GridLinesMgr.setFlagEclipticLine(false);
```

```
//visualizzazione del cielo nell'anno 8000 D.C./
```

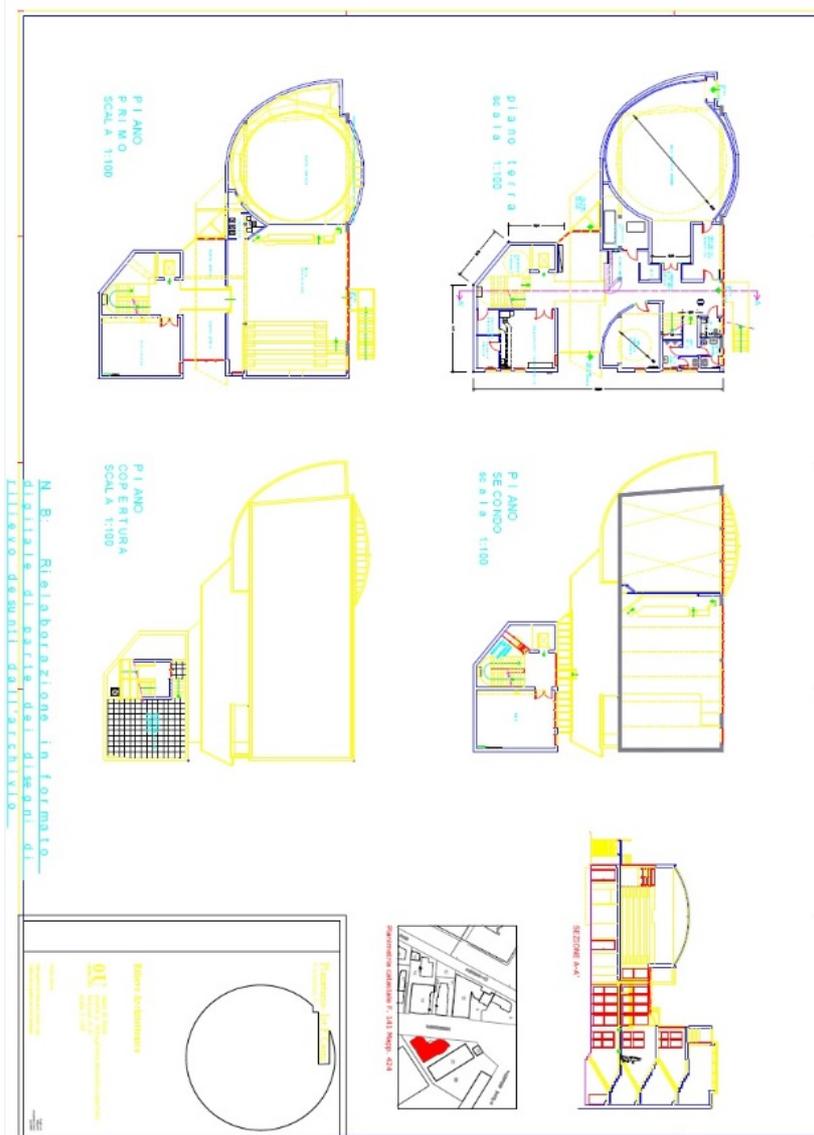
```
core.setDate("1:01:8000T12:00:00");  
core.clear("natural");  
core.wait(1);  
ConstellationMgr.setFlagBoundaries(false);  
core.wait(1);  
GridLinesMgr.setFlagEclipticLine(false);
```

```
//visualizzazione del cielo nell'anno 3000 A.C./
```

```
core.setDate("1:01:-3000T12:00:00");  
core.clear("natural");  
core.wait(1);  
ConstellationMgr.setFlagBoundaries(false);  
core.wait(1);  
GridLinesMgr.setFlagEclipticLine(false);
```

APPENDICE 5

Planimetrie Planetario Modena



APPENDICE 6

Programmazione Planetario di Modena Estate 2016 (test sistema di proiezione 3D)

Civico PLANETARIO
"F. Martino" - V.le Jacopo Barozzi 31 - Modena

Serate estive

luglio - 2016

venerdì 01/07/16
Cygnus X-1 - Alla scoperta di un buco nero
prof.ssa Laura Del Pennino

mercoledì 06/07/16
Tanabàta - La festa delle stelle
dott. Pierluigi Giacobazzi

venerdì 08/07/16
Giove - La stella mancata
dott.ssa Francesca Gherpelli

mercoledì 13/07/16
Miss Leavitt - La donna che misurò l'Universo
dott. Michele Cifalino

venerdì 15/07/16
Cieli d'estate - Stelle e costellazioni del periodo
prof.ssa Ester Cantini

mercoledì 20/07/16
Disegniamo la Luna - Laboratorio di osservazione e disegno lunare
dott. Pierluigi Giacobazzi

venerdì 22/07/16
Esplorazione del cosmo
dott. Michele Cifalino

Professione emittente

Osservare e conoscere il cielo
Le "Serate estive" si articolano in due parti: nella prima saranno trattati temi di astronomia generale, nella seconda si parteciperà ad una visita guidata della struttura e, compatibilmente con le condizioni atmosferiche, si effettuerà l'osservazione del cielo al telescopio.

Ingresso intero: 6,00 €, ridotto (ragazzi fino a 14 anni): 4,00 €
E' richiesta la prenotazione on-line sul sito:
www.planetariomodena.it - sezione prenotazioni on-line
A serata iniziata non sarà consentito l'accesso.

Col patrocinio del Comune di Modena

Centro Spesimentale per la Didattica dell'Astronomia

Ringraziamenti

A conclusione di questo lavoro sono numerose le persone che vorrei ringraziare, per primo il prof. Fabrizio Bonoli, per la grande disponibilità dimostrata nei miei confronti e per l'interesse verso il lavoro svolto.

In secondo luogo un grazie all'Agenzia di Comunicazione Omnia Eventi di Piacenza, a Marco e Filippo, senza il cui contributo non sarebbe nato il progetto del Planetario di Piacenza. Un sentito ringraziamento anche al prof. Enrico Artioli, direttore del Planetario di Modena, grazie al quale ho avuto l'onore ed il piacere di poter collaborare all'attività didattica del Planetario oltre che la possibilità di effettuare l'attività di test della strumentazione.

Un grazie speciale va soprattutto alla mia famiglia, ed in particolare ai miei genitori, Giovanna e Giulio, senza il cui immutato sostegno e appoggio questo percorso non avrebbe avuto inizio.

Un ringraziamento anche al prof. Rosario Ferraro, che mi accolse nel lontano 2009 come matricola “atipica”, con grande disponibilità e competenza. Da allora ho avuto modo di conoscere docenti sempre disponibili e competenti, che hanno (quasi) sempre compreso il mio stato di studente lavoratore.

Posso certamente affermare che questo corso è stata per me un'esperienza atipica e speciale, come seconda laurea innanzitutto, ma anche in ragione del fatto che per la maggior parte del tempo ho dovuto affiancare studio e lavoro, abbinata non sempre felice. Con soddisfazione posso dire che il mio cammino di studente volge al termine, lasciando spazio però a nuovi orizzonti.