

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

**Il progetto di telescopio a tasselli di Guido Horn  
d'Arturo: forefather of the new generation  
multi-mirror telescopes**

Tesi di laurea

Presentata da:  
Valeria Picazzi

Relatore:  
Chiar.mo Prof. Fabrizio Bònoli







# Indice

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Abstract.....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>Introduzione.....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>1. Guido Horn d’Arturo: brevi note biografiche....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>2. 1932: la nascita del progetto.....</b>  | <b>9</b>  |
| 2.1 Il progetto.....  | 12        |
| 2.2 Il brevetto.....  | 15        |
| 2.3 “Confezione dei tasselli”.....  | 22        |
| 2.4 I lavori sullo specchio a tasselli si fermano.....  | 37        |
| <b>3. Applicazioni teoriche e pratiche dello specchio<br/>a tasselli .....</b>                    | <b>41</b> |
| 3.1 Preparazione dello strumento per l’osservazione<br>delle immagini stellari.....               | 42        |
| 3.2 “Caustica dello specchio a tasselli”.....   | 44        |
| 3.3 “Le immagini stellari extrassiali generate dagli<br>specchi paraboloidici ed a tasselli”..... | 46        |
| 3.4 “Il cielo fotografato con lo specchio a tasselli”.....  | 52        |
| <b>4. Il nuovo specchio a tasselli .....</b>  | <b>55</b> |
| 4.1 L’evoluzione del primo progetto.....  | 55        |
| 4.2 Le modifiche nella Torre della Specola.....   | 64        |
| 4.3 Ampliamento dello specchio e nuovo aggiustamento<br>ottico dal centro di curvatura.....       | 70        |
| 4.4 Prime diffusioni internazionali dell’idea di Horn.....  | 76        |
| 4.5 “Avvenire dello specchio a tasselli”.....   | 79        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>5. Applicazioni del telescopio con il nuovo specchio<br/>a tasselli.....</b>       | <b>89</b>  |
| 5.1 “Inseguimento stellare” .....   | 89         |
| 5.2 Risultati ottenuti con i primi 19 tasselli - Telescopio<br>di 1m di apertura..... | 91         |
| 5.3 Osservazioni fatte con 37 tasselli - Telescopio<br>di 1,40 m di apertura.....     | 93         |
| 5.4 Osservazioni fatte con 61 tasselli - Telescopio<br>di 1,80 m di apertura.....     | 95         |
| 5.5 Le stelle variabili scoperte da Horn e Lacchini<br>oggi .....                     | 105        |
| 5.6 Applicazioni varie .....  | 107        |
| 5.6.1 Diffrazione dello specchio a tasselli.....                                      | 107        |
| 5.6.2 I tasselli come interferometro interstellare.....                               | 110        |
| <b>6. Fu realmente un progetto originale?.....</b>                                    | <b>115</b> |
| 6.1 Un possibile spunto dell’idea di Horn.. ..  | 115        |
| 6.2 .. e chi prese spunto dall’idea di Horn.....                                      | 119        |
| <b>7. “I telescopi dell’avvenire”.....</b>  | <b>127</b> |
| <b>Appendice .....</b>  | <b>137</b> |
| <b>Bibliografia .....</b>   | <b>141</b> |
| <b>Sitografia.....</b>  | <b>143</b> |

# Abstract

In this thesis we want to acknowledge one of the topics developed in his vast work by Guido Horn d'Arturo, the Director of the Bologna University Astronomical Observatory for large part of the 20<sup>th</sup> century. The topic addressed is of great international relevance in astronomy, even if it is unknown to most researchers. This thesis wants to be an in-depth analysis of the work started in 1999 for the inauguration of the new location of the Department of Astronomy and, mostly, the dedication of the Library to Guido Horn d'Arturo. A booklet printed in that occasion collects the most important papers on the instrument that the astronomer first conceived and realised: a telescope with a tessellated mirror.

Thanks to the donation of Horn's private correspondence to the Department Historical Archives, done by the Horn's descendant (Maria Delia, Mario and Patrizia Horn), it has been possible to reconstruct the history, the evolution of the project, the efforts and the experiments that have led to the realization of the tessellated telescope, an attempt to obtain a patent included. Integrating the many Horn's papers on the Bolognese instrument with his correspondence, with the documents of the Historical Archives of the Astronomy Department and with the remaining instruments (still visible at the "Museo della Specola"), we want to highlight what led Horn to first devise a telescope whose primary mirror recalls a mosaic of more mirrors: in Italian *tasselli*.

This project occupied a great part of his life and accompanied him from 1932 until 1967, the year of his death. The astronomer's activities came to a standstill owing to historical events. Being Horn a Jew, he was obliged to leave his high position at Bologna University because of racial laws. He could resume his office at University and continue to work hard on his telescope only at the end of World War II. He continued to work on his project developing it more and more, so reaching a kind of technology whose main idea is still in use in some of the new-generation large multi-mirror telescopes. The important studies that can now be done with these instruments are related to the same principle of Horn's tessellated mirror: the possibility to construct astronomical telescopes of large diameter by combining a set of suitably aligned small mirrors, able to focus the light from the stars to a single focal plane, so avoiding the technical and

economic difficulties involved in the optical workmanship of large surfaces.

In 1978, Luigi Jacchia - a Horn's pupil and friend, then at the Smithsonian Astrophysical Observatory - was the first to call attention to the link between the project of Horn's tessellated mirror and the then under construction Multiple Mirror Telescope in his paper "*Forefathers of the MMT*".

In conclusion, with this thesis we would like to enhance and spread the ingenious work done by this astronomer who succeeded in overcoming the large number of scientific, technical, economic, and environmental difficulties of his time.

# Introduzione

In questo lavoro di tesi si è ricostruita la storia del progetto di telescopio a tasselli di Guido Horn d'Arturo, utilizzando sia le pubblicazioni ufficiali, sia le lettere dell'epistolario privato del Fondo Horn d'Arturo, presenti nell'Archivio del dipartimento di Fisica e Astronomia di Bologna. L'astronomo cominciò ad ideare tale strumento nel 1932.

L'idea fu chiara fin da subito in Horn; egli era pienamente convinto che la soluzione ideale per valicare le difficoltà nella costruzione dei grandi specchi dell'epoca potesse essere solo ed esclusivamente il proprio telescopio, uno strumento che avrebbe rivoluzionato i grandi telescopi di oggi.

La struttura in questione era decisamente nuova per quei tempi. Il telescopio avrebbe dovuto avere come specchio primario non più uno specchio monolitico, o come chiamato da Horn monojalico, ma una superficie riflettente formata da più specchi. L'idea fu quindi quella di prendere uno specchio intero, con curvatura sferica, ed immaginarlo spezzettato. Escluso un piccolo cerchio centrale, si immaginò il resto della superficie come fatta da diversi anelli, ognuno dei quali suddivisi in tanti specchietti di forma trapezoidale e con area di un decimetro quadrato. Un altro aspetto che abbiamo ricostruito dai documenti è la domanda che nel 1932 Horn fece al Ministero delle Corporazioni a Roma per l'ottenimento di un brevetto per lo strumento da egli stesso ideato. Per una serie di eventi egli non riuscì ad ottenere il pregiato attestato di privativa industriale.

L'opera, idealmente semplice, fu conclusa circa quindici anni dopo con non poche difficoltà. Inizialmente le ditte di ottica più importanti come Zeiss di Jena e Filotecnica di Milano si rifiutarono di attuare il progetto per intero, ma poi accettarono entrambe di contribuire ad uno sviluppo parziale. L'arresto del progetto venne poi dato dal momento storico di quegli anni: Horn era ebreo e per questo motivo venne allontanato dalla sua posizione all'interno dell'Università di Bologna a causa dell'entrata in vigore delle leggi razziali. Poté riprendere i lavori solo a guerra conclusa. Completato autonomamente il primo telescopio a tasselli, Horn decise di modificare il progetto iniziale ideando uno specchio costituito, ora, da tasselli esagonali.

Contemporaneamente la geniale idea cominciò ad espandersi lentamente nel mondo astronomico internazionale.

Gli anni successivi furono colmi di evoluzioni sia allo strumento, sia alla Torre della Specola che lo ospita; modifiche essenziali per le quali oggi Horn deve essere ricordato.

Con il telescopio a tasselli, sviluppato negli anni '50, l'astronomo riuscì ad approfondire i propri studi ottici ed astronomici, arrivando anche alla scoperta di alcune stelle variabili. L'importanza del lavoro di Horn deve essere quindi legata non solo a tutto il lavoro fatto per quasi trent'anni ma anche ai risultati ottenuti, non ancora mai pienamente riconosciuti.

Ricordiamo infine che la struttura dello specchio ad esagoni è la stessa ancora oggi applicata in alcuni dei telescopi più importanti. La differenza sostanziale, oltre all'ovvia evoluzione delle tecnologie, sono le dimensioni degli esagoni. Il nome di Horn è purtroppo però troppo spesso dimenticato, per questo motivo, con tale lavoro, si vuole ridare merito all'astronomo italiano, non sempre sufficientemente considerato. Il lavoro fatto da Horn acquisisce ancora più importanza se consideriamo il corollario di condizioni critiche contro le quali egli lavorò: l'Italia era profondamente segnata nel dopo guerra, i fondi universitari presenti erano quasi nulli, l'ambiente culturale era ostile alla novità dell'astronomo, ma nonostante ciò Horn riuscì a completare il proprio progetto, facendo qualcosa di grande, qualcosa che tutti oggi dovremmo ricordare.

# Capitolo 1

## Guido Horn d'Arturo: brevi note biografiche

Guido Horn d'Arturo nacque a Trieste il 13 febbraio del 1879 da una famiglia ebrea e di probabili origini olandesi.<sup>1</sup> Il padre di Horn, Arturo, morì quando egli aveva solo due anni, così che fu educato dal nonno materno, insieme agli altri tre fratelli. Horn è ricordato, anche se non a sufficienza, per il suo lavoro come astronomo e per la sua carriera universitaria, ricoprì per più di vent'anni (anche se, come vedremo, con una lunga pausa forzata) la posizione di direttore dell'Osservatorio astronomico di Bologna. Fu una figura di elevato spessore non solo per i motivi appena elencati, ma anche per le sue capacità tecnico-applicative, la sua voglia di vedere oltre, la sua fame di cultura e divulgazione di essa.

Trieste, in quegli anni, si trovava ancora sotto il dominio asburgico e fu così naturale, per il giovane Horn, andare a compiere gli studi in un'altra città austriaca: Graz. Qui Horn si laureò in Matematica, Fisica e Astronomia e nel 1902 concluse i suoi studi conseguendo il dottorato presso l'Università di Vienna, con una tesi sullo studio dell'orbita della cometa 1889 IV, oggetti che non smise mai di studiare neanche negli anni successivi. Negli anni viennesi approfondì i suoi studi anche nel campo della meteorologia e proprio questi lo portarono ad ottenere un posto di assistente all'Osservatorio marittimo della città natale. Qui vi rimase fino al 1907, anno in cui scelse la via italiana e venne chiamato come primo assistente all'Osservatorio di Catania. In questa città, Horn continuò gli studi sulle comete, anche grazie alla strumentazione presente. Nel 1909 si trasferì all'Osservatorio di Torino dove iniziò ad avvicinarsi all'attività di divulgazione.

---

<sup>1</sup> Per la biografia di Horn si vedano i seguenti lavori:

-F. Bònoli, *Horn d'Arturo, Guido*, in Dizionario Biografico degli Italiani, vol. 61, Istituto della Enciclopedia Italiana Treccani, 2003, pp. 729-730.

-A. Rossi, *Guido Horn d'Arturo, astronomo e uomo di cultura*, Bologna, 1994, p. 49).

-M. Zuccoli, *Guido Horn d'Arturo: un astronomo e la sua biblioteca*, Annali di storia delle università italiane, 4/2000 pp. 163-172.

Dopo una brevissima parentesi all'Osservatorio di Roma nel 1911, Horn venne chiamato all'Osservatorio di Bologna, nel 1912, come assistente da Michele Rajna (1854-1920, allievo di Giovanni V. Schiaparelli) e nel 1913 prese la libera docenza in Astronomia.

Rimase a Bologna fino al 29 maggio del 1915, giorno in cui si arruolò come volontario al fronte. L'astronomo triestino, con una cultura fortemente asburgica, si schierò in guerra per la sua Italia, la nazione per la quale lavorava, lo stato di cui si sentiva parte. Per evitare però di essere considerato un traditore dallo stato austriaco, rischiando la pena di morte, ad Horn fu concesso un cambio di cognome. La scelta non fu difficile, egli scelse di chiamarsi Guido d'Arturo, un cognome quindi che portasse sempre con sé un segno del padre, ma anche un chiaro riferimento alla sua più grande passione, l'Astronomia. Arturo è infatti anche il nome di una delle stelle più brillanti del cielo boreale, appartenente alla costellazione di Boote. Alla fine della prima guerra mondiale Horn divenne ufficialmente un cittadino italiano e chiese al Commissariato civile l'aggiunta del cognome d'Arturo al suo originale Guido Horn.

Il 25 dicembre del 1918, a conflitto concluso, Horn tornò a Bologna e riprese il suo posto da assistente. Nel 1920 fu chiamato a Roma come astronomo aggiunto e vi rimase fino al 1921, anno in cui Rajna morì e Horn fu richiamato nuovamente a Bologna per ricoprire il suo posto, da direttore e da docente di Astronomia. Gli anni '20, per Horn, furono pieni di stimolazioni intellettuali, conobbe Albert Einstein nel 1921, nel 1922 pubblicò uno studio su *Il fenomeno della "goccia nera" e l'astigmatismo* e nel 1924 quello sulle *Ombre volanti*, entrambi rivelatosi corretti. Organizzò anche una spedizione in Somalia, nel 1926, per l'osservazione dell'eclissi totale di Sole. In questi stessi anni fece la conoscenza dell'amico e compagno di numerose osservazioni Gian Battista Lacchini.<sup>2</sup>

Gli anni '30 furono invece gli anni delle concretizzazioni, delle nascite dei progetti. Nel gennaio del 1931 venne inaugurata la rivista di divulgazione *Coelum*, giornale di astronomia nel quale si può dire che Horn mise tutta l'anima, come ricordò Jacchia alla sua morte: «*Coelum* diventò parte della sua esistenza: «Per me [...] l'umanità si divide in due categorie: gli abbonati a *Coelum* e gli altri». Questo amore continuò senza affievolirsi fino ai suoi ultimi giorni, per trentasei anni».<sup>3</sup> Nel 1932 iniziò a progettare il telescopio con specchio a tasselli, strumento di cui vedremo in modo approfondito tutta la costruzione nei prossimi capitoli e che occupò gran parte della sua vita. Nel giugno del 1936 organizzò una nuova spedizione per l'osservazione dell'eclissi totale di

---

<sup>2</sup> Archivio Storico del Dipartimento di Fisica e Astronomia di Bologna (da qui in avanti abbreviato con ASAB), Fondo Horn (da qui in avanti abbreviato con FH), 1, lettera 102, 11/04/1927.

<sup>3</sup> L. Jacchia, *Ricordi di Guido Horn d'Arturo*, "Coelum", 1967.

Sole, questa volta nel Peloponneso e a novembre dello stesso anno inaugurò la stazione osservativa di Loiano con un telescopio Zeiss da 60 centimetri, il secondo più grande d'Italia dopo quello di un metro di Merate, compiendo così il sogno del suo predecessore Rajna di una sede per le osservazioni lontana dalla città.<sup>4</sup> Il 1938 fu invece l'anno dell'inizio di una sofferenza che durerà sette lunghi anni, dovette abbandonare tutto ciò che era riuscito a fare per l'Astronomia a Bologna. Le leggi sulla razza entrarono in vigore, non risparmiando nessuno, e anche Horn, ebreo, fu cacciato dalla sua posizione da Direttore nell'Università di Bologna. Dovette abbandonare anche l'abitazione perché all'interno della Specola e ad uso del nuovo direttore dell'Osservatorio: Francesco Zagar. La delusione e l'amarezza furono forti ma non vietarono ad Horn di trovare dei sotterfugi per poter accedere comunque all'Osservatorio e non abbandonare lo specchio a tasselli lì posizionato. Nel 1939 gli fu però vietato qualsiasi avvicinamento da parte del rettore Alessandro Ghigi. Inizialmente Horn rimase comunque a Bologna, in un appartamento in via Santo Stefano n. 67, ma poi si trasferì in luoghi più isolati come Faenza prima e Pesaro poi, ma sempre sostenuto e nascosto da amici. Leonida Rosino, uno dei suoi migliori allievi, alla morte, lo ricordò comunque come un uomo pieno di fiducia, quasi fatalistica: «Fu tale fiducia a reggerlo nell'inverno del 1943-44, quando ricercato dalla polizia nazista, all'età di sessantacinque anni, dovette darsi alla macchia nella campagna faentina».<sup>5</sup>

Nel maggio del 1945 egli poté ritornare a Bologna, al suo lavoro, al suo appartamento e al suo telescopio a tasselli. Tutto il lavoro fatto negli anni '30 lo ritrovò martoriato dalla guerra, ma l'astronomo ci mise più impegno, più costanza, più fiducia e più forza di prima per rimettere tutto quanto in sesto. Cominciò dalla stazione osservativa di Loiano, in modo tale da renderla usufruibile da parte di tutti i suoi collaboratori, passò poi alla rivista *Coelum* ed infine riprese in mano il progetto di telescopio a tasselli.<sup>6</sup> Da lì in avanti lo strumento occupò sempre più l'interesse dell'astronomo portandolo a modificare il progetto iniziale e a sviluppare numerosi altri progetti che non riuscì però a mettere in pratica.

Nell'arco di tutta la sua vita a Bologna, Horn, diede anche un costante impegno alla biblioteca dell'Osservatorio, arricchendola con numerosi testi sia moderni che antichi. Non tralasciò neanche le riviste e le pubblicazioni di altri Osservatori, che egli scambiava con le proprie. Questo "commercio" era per Horn fondamentale per un istituto che volesse stare al passo con tutte le novità nel campo scientifico, per avere un continuo aggiornamento e, allo stesso tempo, divulgare i propri studi.

---

<sup>4</sup> G. Mannino, *Guido Horn d'Arturo*, "Coelum", 1967, vol. XXXV, pp.65-67.

<sup>5</sup> L. Rosino, *Ricordi di Guido Horn d'Arturo*, "Coelum", 1967.

<sup>6</sup> Ibidem.

Nonostante questi frequenti scambi, il progetto dello specchio a tasselli rimase piuttosto sconosciuto o poco considerato. Marina Zuccoli nell'articolo *Guido Horn d'Arturo: un astronomo e la sua biblioteca* del 2000 descrisse la gestione della biblioteca da parte dell'astronomo triestino come: «[...] oculata e lungimirante, basata più sulla solidità dei rapporti tra Osservatori che sull'impegno finanziario negli acquisti, un capitolo a parte è costituito dalla vera e propria campagna di acquisizioni in antiquariato, mai abbandonata agli estri dal bibliomane ma sempre motivata da salde ragioni, bibliografiche e scientifiche al contempo».<sup>7</sup> Per tutto questo arricchimento culturale alla biblioteca gli venne intitolata quella del Dipartimento di Astronomia nel 1999. Grande attenzione dedicò anche all'Archivio storico e al suo riordino. Negli anni '50 Horn continuò i lavori con lo specchio a tasselli, ottenendo notevoli risultati e la progettazione di nuovi e simili strumenti lo accompagnò fino alla morte, avvenuta il primo aprile del 1967 all'età di 88 anni.



Figura 1.1: Guido Horn d'Arturo (cortesia Vittoria Lacchini).

Figura 1.2: Firma di Guido Horn d'Arturo.<sup>8</sup>

---

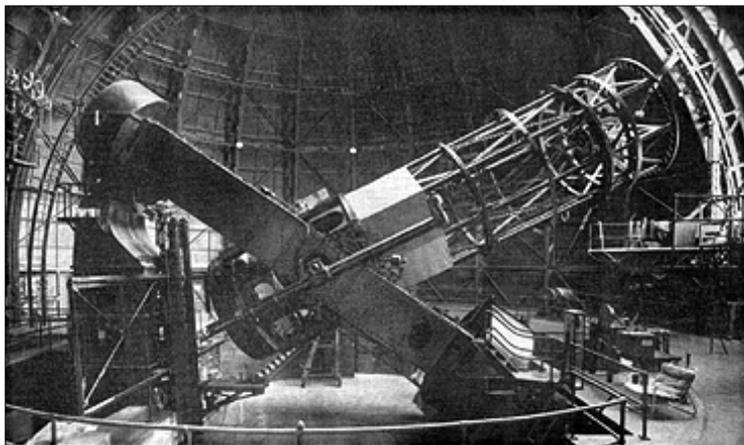
<sup>7</sup> M. Zuccoli, *Guido Horn d'Arturo: un astronomo e la sua biblioteca*, *Annali di storia delle università italiane*, 4/2000.

<sup>8</sup> Laddove non altrimenti indicato, tutte le immagini derivano dalla Biblioteca dell'Archivio del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

## Capitolo 2

### 1932: La nascita del progetto

Nei primi anni del 1930 Horn cominciò a porsi dei dubbi riguardanti la realizzazione dei grandi telescopi, iniziò a chiedersi quale sarebbe stato il limite alla costruzione di tali strumenti. Il maggiore telescopio in funzione, in quegli anni, era il telescopio Hooker, Fig. 2.1, dell'Osservatorio del Monte Wilson in California, il quale aveva un diametro di 2,54 metri. L'astronomo sentì la necessità di dover apportare modifiche ai progetti per la costruzione di tale strumentazione perché, prima o poi, si sarebbero raggiunti ostacoli insormontabili per il compimento di questi oggetti. Questo bisogno nasceva dal fatto che i "moderni" telescopi, come quello del Monte Wilson e quello che era invece in costruzione in quegli anni al Monte Palomar, Fig. 2.2, un telescopio riflettore con un diametro di 5 metri, erano formati da un unico specchio, il quale era sia difficile da costruire, sia difficile da movimentare con l'accuratezza richiesta per lo scopo per il quale veniva costruito.



*Figura 2.1: Telescopio Hooker, Monte Wilson.*



Figura 2.2: Telescopio Hale, Monte Palomar.

Nel 1932 Horn era consapevole della grande fonte di materiale che il nuovo telescopio americano avrebbe dato alla scienza e all'uomo: «La sua potenza permetterà virtualmente di spingere lo sguardo fino alla distanza di 300 milioni di anni luce...»<sup>9</sup> ma ci tenne poi a sottolineare: «E dico, virtualmente, perché più d'un ostacolo si oppone allo sfruttamento totale dell'area riflettente, e primo fra tutti la deformazione che subisce lo specchio col variare della temperatura durante le lunghe pose fotografiche [...] » continuando quindi: «Se poi all'inconveniente della deformazione dello specchio si aggiunga la difficoltà di far muovere, con l'andamento regolare di un orologio, uno specchio di parecchie tonnellate, applicato all'estremità di un tubo pur esso pesantissimo, si concederà che l'industria dei telescopi del tipo attuale, è poco lontana, se già non l'ha raggiunto, dal suo cimento massimo».<sup>10</sup> Bisognava quindi provare nuove strade, nuove tecniche per la creazione di nuovi strumenti, che portassero alla formazione di una nuova tipologia di telescopi, più potenti, ma senza i problemi descritti.

L'importanza di questi strumenti innovativi, che aiutassero a porre lo sguardo sempre oltre, era per Horn fondamentale, essenziale per il ricercatore, altrimenti costretto «ad immaginare là dove non può vedere [...]».<sup>11</sup> Secondo Horn ciò era già successo in passato e bisognava evitare che accadesse di nuovo: «la storia insegna che ogni qualvolta la metafisica è intervenuta nella scienza essa ha fuorviato l'investigatore, piuttosto che aiutato nella sua fatica».<sup>12</sup>

Analizzati i problemi che un unico specchio, sempre più grande, potesse avere, Horn iniziò a pensare alle soluzioni. La prima idea fu legata al movimento degli specchi per "l'inseguimento" degli oggetti astronomici. Egli capì che superfici sempre più grandi e

---

<sup>9</sup> G. Horn d'Arturo, *Strumenti e progressi dell'Astronomia*, "Coelum", 1932.

<sup>10</sup> Ibidem.

<sup>11</sup> Ibidem.

<sup>12</sup> Ibidem.

di conseguenza sempre più pesanti (il telescopio del monte Wilson, tutt'oggi in funzione, pesa decine di tonnellate) non si sarebbero più potute regolare agevolmente, ma che il futuro avrebbe portato ad un nuovo tipo di approccio: specchi fissi, grandi, immobili sul piano orizzontale.<sup>13</sup>

Ovviamente, anche questa nuova tipologia di attrezzatura non sarebbe stata certo priva di altri difetti, l'immobilità dello specchio avrebbe limitato l'osservazione alla piccola porzione di cielo che si trovava allo zenit in quel momento e in caso di posa fotografica questa non poteva essere lunga ma quasi "istantanea", non potendo inseguire l'oggetto con lo strumento come nei telescopi ordinari. Horn era anche fiducioso del fatto che, con il passare del tempo, le lastre fotografiche sarebbero diventate sempre più sensibili alla radiazione luminosa, in modo da ottenere buoni risultati pur facendo brevi esposizioni.

L'astronomo però non si accontentò di questa soluzione "statica" e limitata e pensò al modo di sfruttare questa caratteristica: il cielo che passa sopra i grandi specchi immobili è sì limitato, ma limitato per quel determinato strumento posto a quella determinata latitudine. La soluzione ideale sarebbe stata quella di posizionare più telescopi in luoghi distanti, in modo tale da studiare con ogni strumento porzioni di cielo relative alla propria posizione. Zone di cielo diverse ma che poi unite avrebbero portato ad una visione completa dello spazio sovrastante.

---

<sup>13</sup> G. Horn d'Arturo, *Telescopi dell'avvenire*, "Coelum", 1932.

## 2.1 Il progetto

Nei primi mesi del 1932 Horn iniziò a progettare uno strumento che potesse ovviare i problemi dati da quelli finora in uso, un telescopio moderno (estremamente moderno..) diverso da qualsiasi altro in funzione fino a quel momento: “Il telescopio con specchio a tasselli”. Questo telescopio non presentava certo poche novità ma, prima fra tutte, la superficie dello specchio; questa non era più liscia e formata da un unico blocco ma regolarmente frammentata in più parti, dove ogni pezzetto prendeva il nome di tassello. L'altra innovazione era data invece da una caratteristica già nominata da Horn, una soluzione già toccata in articoli precedenti: l'immobilità dello specchio.

Horn parlò pubblicamente della sua idea, per la prima volta, sulla rivista *Coelum* (rivista da lui fondata l'anno precedente) introducendola con tali parole: «Oggi vogliamo parlare di un altro sistema che si sta sperimentando all'osservatorio di Bologna e consiste nel sostituire alla superficie integra dello specchio un insieme di tasselli componenti la superficie stessa a guisa di mosaico». <sup>14</sup> Il nuovo telescopio avrebbe dovuto essere posizionato nell'antica Torre della Specola (Fig. 2.3), ancora unica stazione osservativa bolognese (quella di Loiano sarà inaugurata nel 1936); nella grande sala della torretta all'ultimo piano, appena sotto la parte della terrazza dove, nel settecento, si utilizzavano i lunghi telescopi di Giuseppe Campani. In questo modo, lo specchio, posizionato in modo orizzontale su una lastra di marmo a circa 50 cm di altezza dal pavimento (*SS*), era costantemente rivolto verso un'apertura circolare nel soffitto, con un diametro di 1,20 metri (*aa*, Fig. 2.3). L'altezza della stanza era di 10 metri ed anche la distanza focale doveva avere circa la medesima lunghezza, tale da “far cadere” il fuoco appena sopra il piano della terrazza (*FF*). I tasselli, da progetto (Fig. 2.4), avrebbero dovuto essere 80, di forma trapezoidale e con un raggio di curvatura sferica, che doveva essere uguale per tutti e corrispondere a metri 20. Ciascun tassello doveva poi essere fissato alla lastra di marmo per mezzo di tre supporti a vite, muniti di slitte, consentendogli così di essere regolato sia lateralmente che verticalmente. Questa messa a punto serviva per far coincidere l'immagine di ciascun tassello nel fuoco comune in modo tale da ottenere un'unica immagine che fosse la somma di tutte quelle riflesse dagli specchi. L'aggiustamento degli 80 tasselli doveva avvenire tramite un collimatore, una sorgente artificiale, che andasse a far incidere il proprio fascio di raggi paralleli su un paio di specchi, per iniziare, cercando poi di far coincidere le due immagini andando a modificare la posizione e

---

<sup>14</sup> G. Horn d'Arturo, *Telescopi dell'avvenire e specchi a tasselli*, “Coelum”, 1932.

inclinazione grazie alle viti di supporto. Tale procedura doveva essere fatta per tutti quanti i tasselli, considerandone sempre due alla volta.

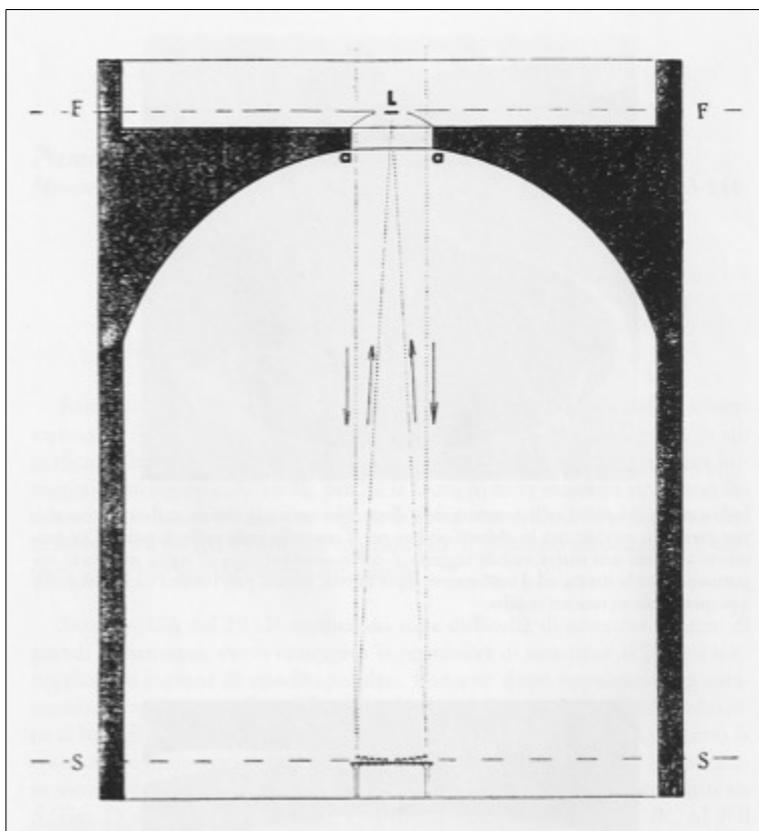
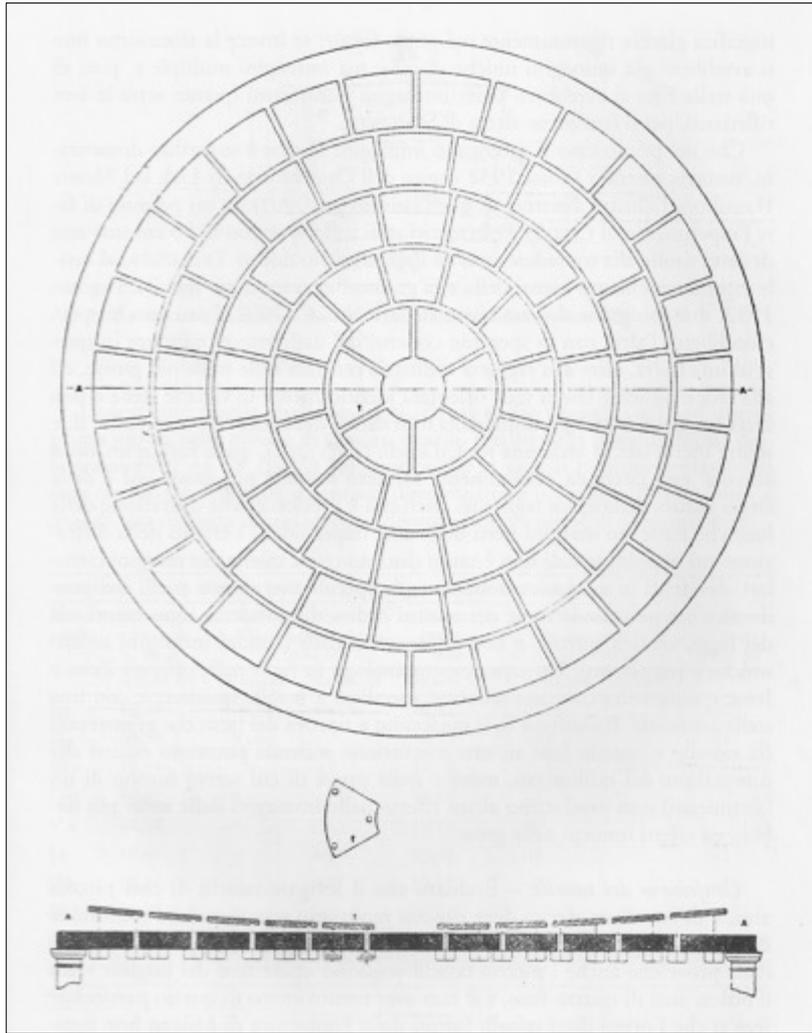


Figura 2.3: Posizione dello specchio a tasselli nella Specola. Il piano SS è quello di appoggio per lo specchio; FF è il piano focale, all'apertura circolare nel soffitto.

Horn era entusiasta di quello che stava progettando, voleva far conoscere al mondo la sua invenzione e pensò di parlare dell'inconsueta ispirazione con un astronomo americano, specializzato in costruzione di telescopi: George Willis Ritchey. Complice dell'idea il viaggio che avrebbe dovuto fare negli Stati Uniti nell'estate del 1932 in occasione della IV Assemblea Generale dell'International Astronomical Union, tenutasi a Cambridge (MA) dal 2 al 9 settembre. Nel mese di giugno Horn chiese un incontro al collega per mostrargli la grande invenzione. Non abbiamo scritti a tal proposito ma Horn tornò dal viaggio in America molto soddisfatto; la presentazione del suo progetto fu molto stimata,<sup>15</sup> come egli stesso ammise al Cavaliere Carlo Gobessi, dipendente della sede italiana delle più famose ottiche Zeiss tedesche, al rientro in Italia. L'idea era stata apprezzata in America e Zeiss, secondo Horn, non avrebbe potuto lasciarsi scappare la possibilità di essere tra i primi a costruire questa innovazione.

<sup>15</sup> ASAB, FH 1, busta 7, lettera 242, 09/10/1932.



*Figura 2.4: Progetto dello specchio formato da 80 tasselli.*

## 2.2 Il brevetto

Il progetto, che Horn aveva in mente, era chiaro, preciso, dettagliato. Horn era sicuro di ciò che stava realizzando al punto tale, che, nello stesso mese dell'articolo riguardante la "presentazione" dello specchio a tasselli sulla rivista *Coelum*, decise di inviare una domanda a Roma con la richiesta di "privativa industriale" per il suo nuovo strumento. Nei vari documenti presenti in archivio, ma riordinati e inventariati solo negli ultimi mesi, è possibile leggere la descrizione dettagliata del telescopio a tasselli, dattiloscritta da Horn, che fu allegata alla richiesta di brevetto insieme ai disegni del progetto. Horn cercò di seguire alla lettera le istruzioni del Ministero delle Corporazioni, anch'esse ritrovate insieme alle copie della domanda, ma vedremo che questo non fu sufficiente. Certamente l'astronomo sapeva bene quello che stava facendo, la richiesta di brevetti, la privatizzazione delle proprie idee, era una strada già nota. Fin dai primi decenni del '900 è possibile trovare in archivio lettere di Horn inerenti a brevetti di varia natura: nel 1912 si parla di invenzioni per macchine da scrivere,<sup>16</sup> mentre nel 1919 di uno strumento utile alla sincronizzazione dei pendoli.<sup>17</sup> Probabilmente per quest'ultimo oggetto il brevetto era stato concesso già in precedenza visto che Horn chiede informazioni sulle modalità e sulle spese per il rinnovo di quest'ultimo.<sup>18</sup> Anche nell'anno 1922 è possibile trovare riferimenti ad altri brevetti ottenuti, ancora una volta legati alla macchina da scrivere: "il pedale e il ginocchiale".<sup>19</sup> Non ci dilunghiamo oltre, essendo argomento lontano dallo scopo di questa tesi anche se sempre legato alla persona geniale di Horn.

Ritorniamo alla richiesta di brevetto per il telescopio a tasselli.

Egli inviò la domanda il 21 giugno 1932 (di cui abbiamo copia su carta da bollo), dopo aver pagato una tassa di £ 340 a favore del Procuratore del Registro, datata il giorno prima. Tutti i documenti in nostro possesso sono quindi:<sup>20</sup>

- copia su carta da bollo della richiesta di brevetto inviata, dove è descritto lo Specchio a tasselli per uso astronomico;
- ricevuta del vaglia postale di £ 340 (Fig. 2.5);
- istruzioni per la compilazione della domanda di richiesta di privativa industriale (Fig. 2.6);

---

<sup>16</sup> ASAB, FH 1, busta 1, lettera 17, 10/05/1912.

<sup>17</sup> Ivi, lettera 478, 30/01/1919.

<sup>18</sup> Ivi, lettera 479, 30/01/1919.

<sup>19</sup> Ivi, busta 2, lettera 401, 11/09/1922.

<sup>20</sup> ASAB, FH 5.1.

- lettera di accompagnamento alla domanda di brevetto, indirizzata a Sua Eccellenza il prefetto della Provincia di Bologna.

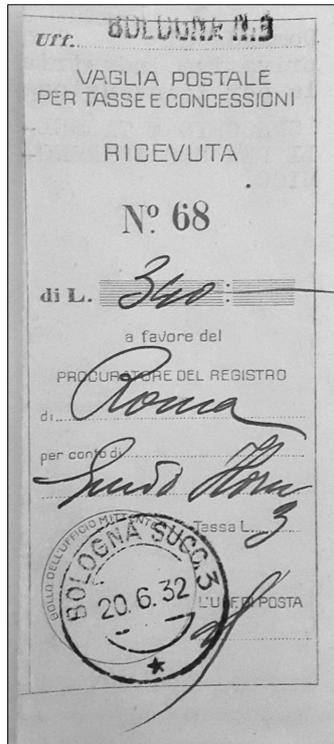


Figura 2.5: Ricevuta del vaglia postale.



Figura 2.6: Intestazione del libretto di istruzioni per la domanda di privativa industriale.

Nella descrizione dell'invenzione Horn spiegò minuziosamente le caratteristiche dei tasselli, del relativo aggiustamento di essi e della strumentazione utilizzata. Il telescopio veniva introdotto descrivendo inizialmente la superficie speculare e specificando che essa non è monolitica, non è integra, ma formata da più

specchi, dove il numero di questi non è fisso, ma può variare. L'astronomo riportò poi l'esempio che aveva già in mente, cioè un telescopio formato da 80 tasselli di cui allegò il disegno (Fig. 2.4) alla domanda. Come nel progetto, già descritto, lo specchio veniva rappresentato visto in pianta e visto in sezione. Tra le due rappresentazioni era però anche raffigurato un tassello posto sottosopra per identificare i tre fori presenti sotto lo specchietto. Queste tre "fossette" dovevano essere presenti in tutti i tasselli e servivano per fissarli alla lastra di marmo, tramite dei supporti a vite regolabili dalla parte inferiore della struttura di sostegno in marmo. Ogni supporto a vite era quindi formato da slitte in grado di far muovere, spostare il tassello nelle tre direzioni ortogonali. In allegato alla domanda era presente anche la figura per la descrizione dei supporti a vite (Fig. 2.7). Osservando l'immagine originale, a sinistra è rappresentato il supporto visto lateralmente che attraversa il marmo (disegno 1 e 2, Fig. 2.7) e il supporto visto inferiormente (disegno 3, Fig. 2.7) dove si notano anche le viti *vv*. Con *l*, *m* ed *n* si identificano le slitte che compongono il supporto e che danno la possibilità al tassello di essere orientato secondo la direzione voluta. Negli altri tre riquadri, della stessa figura, sono rappresentate le tre slitte *l*, *m* ed *n* nelle tre proiezioni.

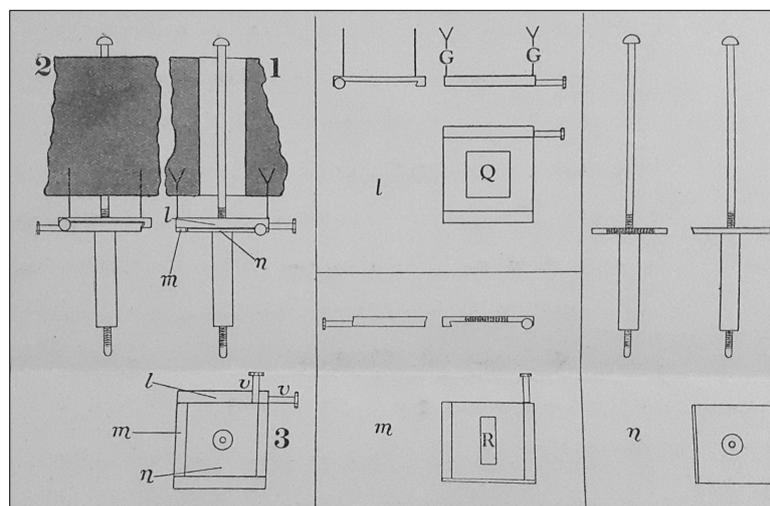


Figura 2.7: Dettaglio dei supporti a vite.

Osservando il riquadro dove è raffigurata la slitta *l* si vedono 2 graffette *GG* che fissano il supporto al marmo, ed il vano *Q* entro il quale il supporto ha la possibilità di movimento. Lo stesso vale per la slitta *m* dove il supporto ha invece possibilità di muoversi nella cavità *R*. Il movimento delle due slitte è possibile tramite le due viti *vv*. Infine, nella slitta *n* è posta la madrevite che sorregge

il tassello. In Fig. 2.8 è fotografato un tassello come è oggi, sono ben visibili i tre fori per i supporti a vite.



*Figura 2.8: Dettaglio di un tassello originale dove è possibile vedere i tre fori per i supporti a vite (Museo della Specola).*

La descrizione del telescopio continuava con la spiegazione dell'aggiustamento dei tasselli, la possibile posizione strategica all'interno di stanze con soffitti alti e forati. Nella conclusione Horn ne elencò i pregi:

1. levigazione del vetro facilitata dalla piccolezza dei tasselli;
2. dilatazione termica attenuata;
3. aberrazione sferica corretta con l'opportuno spostamento dei tasselli parallelamente all'asse;
4. curvatura sferica, più facile da ottenere rispetto a quella paraboloidica.

Come da istruzioni, dopo la descrizione dell'invenzione, bisognava scriverne le rivendicazioni: «un riassunto [...] nel quale dovranno chiaramente e specificatamente indicarsi le parti essenziali e nuove dell'invenzione»,<sup>21</sup> che Horn scrisse come segue:

*«La novità dell'invenzione consiste nell'impiegare per gli usi astronomici, e col rigore voluto dalle immagini stellari, superficie speculari costituite di tanti pezzi, in luogo della superficie integra finora usata, e nell'aggiustamento dei singoli pezzi, o tasselli, mediante appositi piuoli a vite, spostabili secondo tre direzioni ortogonali».*<sup>22</sup>

La risposta a questa domanda avvenne solo il 28 novembre dell'anno seguente, 1933, e non fu certo quella che l'astronomo immaginava e si aspettava: il Ministero delle Corporazioni chiese a Horn di fare alcune modifiche alla domanda, ai fini di renderla

---

<sup>21</sup> ASAB, FH 5.1.3.

<sup>22</sup> Ibidem.

corretta e accettata e di rinviare di nuovo il tutto entro 90 giorni dalla data sopra segnata (Fig. 2.9).



Figura 2.9 Risposta del Ministero delle Corporazioni alla domanda di brevetto di Horn.

I punti non corretti, che necessitavano modifiche, erano due: in primis andava riformulata la parte delle rivendicazioni e poi doveva essere rivista anche la stampa dei disegni. Le rivendicazioni andavano completamente «annullate e sostituite con altre che costituiscano un sunto chiaro e preciso delle caratteristiche costruttive e di funzionamento del trovato».<sup>23</sup> Per aiutare Horn nella stesura di tale parte il Ministero delle Corporazioni aggiunse alla risposta la stampa di una domanda di brevetto, di tutt'altro genere, che presentava delle Rivendicazioni formulate in modo corretto, il nuovo scritto avrebbe dovuto essere «redatto nella forma di cui all'unito esempio».<sup>24</sup> Tale modifica andava effettuata «sui documenti di originario deposito mediante postille firmate per approvazione, aggiungendo, per mancanza di spazio, nuovi fogli di carta bollata di £ 3»<sup>25</sup> L'ultima modifica da apportare riguardava invece la parte grafica. I disegni dovevano essere ristampati, perché, come già scritto nelle istruzioni, dovevano essere «compilati a sole linee di inchiostro nero indelebile».<sup>26</sup>

L'ultimo giorno utile per spedire il tutto era quindi il 26 febbraio 1934. L'unica risposta di Horn al Ministero delle Corporazioni, che conosciamo, è datata 17 febbraio 1934,<sup>27</sup> ma essa non contiene la domanda modificata per l'ottenimento del brevetto, ma in oggetto vi è una richiesta di ritiro di questa, specificando poi: «Chiedo se sia lecito ritirare la domanda avanzata il 21 giugno 1932, recuperando in tutto od in parte le tasse pagate».<sup>28</sup>

<sup>23</sup> Ivi, 5.1.4, 28/11/1933.

<sup>24</sup> Ibidem.

<sup>25</sup> Ibidem.

<sup>26</sup> Ibidem.

<sup>27</sup> ASAB, FH 1, busta 8, lettera 92, 17/02/1934.

<sup>28</sup> Ibidem.

Sicuramente questa risposta è apparentemente senza una spiegazione, ma qualcosa in più si può dedurre da un'altra lettera che Horn mandò a Roma, datata primo marzo 1934<sup>29</sup> e destinata, probabilmente, ad uno dei due fratelli, Mario o Ferruccio. Horn chiedeva al ricevente se avesse conoscenze presso la Direzione generale dell'Industria, spiegandone poi il perché della domanda: «[...] dovevo rispondere ad una loro richiesta di modificazione della mia domanda di privativa per lo specchio a tasselli [...] dentro 90 giorni a partire dal 28 novembre 1933 e me la sono pensata tardi, ho scritto oggi una domanda di ritiro domanda [...] ma vi ho messo la data del 17 febbraio; si capisce che arriverà a Roma il due o tre di marzo ma potrebbero chiudere un occhio».<sup>30</sup> Horn avrebbe voluto che alla ricezione della sua lettera, nell'ufficio del Ministero, si tenesse presente la data di scrittura della lettera, falsamente anticipata, e che non ci si soffermasse troppo sulla data di arrivo, pur di tenere presente il ritiro della domanda stessa e magari anche un ritorno della somma pagata in tasse. Il conoscente in questione avrebbe dovuto quindi cercare solo di convincere l'impiegato di competenza a tenere fede alla sola data stampata, 17 febbraio, perché all'interno dei 90 giorni e non quella di arrivo, ben oltre la data di scadenza.

Purtroppo la domanda di Horn relativa al brevetto per il telescopio a tasselli si conclude in questo modo amaro, non sappiamo perché lui abbia realizzato così tardi la possibile modifica alla domanda e non sappiamo perché non ci abbia riprovato negli anni successivi.

L'unica ipotesi che ci azzardiamo a fare è un confronto tra quello che Horn aveva progettato e quello che era riuscito a mettere in pratica. Dalla richiesta di brevetto, giugno 1932, alla risposta del Ministero delle Corporazioni, novembre 1933, poco era cambiato nella realizzazione pratica del progetto. Nessuna delle ditte di ottica si era cimentata nella realizzazione del suo telescopio e gli unici tasselli che era riuscito ad ottenere erano quelli dell'artigiano Ciabilli, tasselli ritoccati più volte, non corrispondenti alle proprie aspettative e mai utilizzati. Può essere che Horn in quel momento avesse perso momentaneamente fiducia nel proprio progetto? Che fosse sconcertato dall'incapacità generale di lavorazione degli specchi? Non lo sappiamo.

Sicuramente anche la realizzazione della Stazione osservativa di Loiano, con il telescopio Zeiss da 60 centimetri, occuparono molto l'astronomo in quel periodo.

La possibilità di un brevetto per questo strumento fu poi stroncata definitivamente con il ritiro obbligato dall'università nel 1938, a causa delle leggi razziali, che lo portò a fermare tutti i suoi lavori per sette lunghi anni.

---

<sup>29</sup> Ivi, lettera 111, 01/03/1934.

<sup>30</sup> Ibidem.

Probabilmente questo mancato ottenimento della privativa industriale fece sì che la geniale idea non gli venisse sufficientemente riconosciuta negli anni a venire.

## 2.3 “Confezione dei tasselli”

Horn aveva ideato un qualcosa di mai visto, tutto era nitido nella sua mente, ma bisognava ora mettere in pratica gli studi effettuati, cercare di realizzare le varie componenti del telescopio.

Le parti da assemblare erano tante ma non tutte di difficile produzione.

Le opere murarie erano minime, il foro zenitale per le osservazioni notturne era preesistente al centro della volta della grande sala, la struttura portante dello specchio era semplice e, come abbiamo già detto, fissa: una lastra di marmo sollevata da terra di mezzo metro circa. Anche tutti gli strumenti accessori come l'oculare, i canocchiali, lo châssis e la ferramenta in generale non hanno creato ostacoli alla messa in opera del progetto, cosa che invece è avvenuta a causa della realizzazione dei tasselli.

Horn vedeva in una superficie riflettente regolarmente “spezzettata” una soluzione per il futuro, legata alla creazione di telescopi sempre più grandi, ma, inevitabilmente, la precisione, l'accuratezza, il materiale richiesto per ottenere buoni risultati doveva essere ai massimi livelli.

La creazione di tali tasselli fu lunga, complessa e travagliata, non pochi furono gli studi su di essi, sia da parte di Horn che dalle case produttrici, il cui plurale è dovuto, perché nonostante Horn nelle sue pubblicazioni parli soprattutto dei tasselli confezionati dalla ditta Filotecnica, dalla corrispondenza privata si deduce che almeno quattro sono le ditte con le quali Horn ha avuto contatti per la produzione degli specchi:

- Filotecnica, Milano
- Meccanoptica, Milano, in rappresentanza per l'Italia della ditta Zeiss di Jena
- Officine Galileo, Firenze
- Angiolo Ciabilli, Premiato Laboratorio di Ottica Scientifica e Commerciale, Firenze

La prima azienda che Horn decise di contattare fu la famosa ditta milanese Filotecnica, allora diretta dall'ing. Angelo Salmoiraghi. Egli presentò il suo progetto all'ingegnere nel marzo del 1932 ma il mese successivo la risposta ricevuta per la realizzazione del telescopio fu negativa: i dubbi per l'esecuzione del progetto erano molti e la ditta decise di non sperimentare la costruzione dello specchio a tasselli.

Dopo questo primo contatto con l'ing. Salmoiraghi,<sup>31</sup> non andato a buon fine, Horn decise di proporre il proprio progetto alle

---

<sup>31</sup> ASAB, FH 1, busta 7, lettera 123, 09/04/1932.

Officine Galileo di Firenze allora dirette dall'ingegnere Giulio Martinez.<sup>32</sup> Il mese stesso, aprile, iniziarono le prime sperimentazioni da parte di questa ditta e consistevano nella realizzazione di un prototipo, un qualcosa di simile a quello che l'astronomo immaginava, ma più fattibile per la ditta fiorentina. Lo specchio in questione doveva avere una curvatura parabolica, un modesto diametro di soli 30 centimetri<sup>33</sup> e probabilmente tasselli fissi, incollati con del mastice sul cemento. Nello stesso periodo Horn era in contatto con le Officine tedesche Zeiss, per il telescopio da 60 centimetri della stazione Osservativa di Loiano e pensò di proporre anche a loro la realizzazione della sua idea. Questo avvenne proprio nei primi giorni di maggio, quando egli fece un viaggio a Jena, sede della ditta Zeiss. Da una lettera di Horn destinata a Walter Villiger, allora direttore della sezione ottica, datata 14 maggio 1932, si parla di un colloquio appena avuto inerente «la possibilità di correggere l'aberrazione sferica, mediante lo spostamento, parallelo all'asse, dei tasselli speculari [...]»<sup>34</sup> ma non è l'unica informazione degna di nota della lettera. Oltre ad una breve precisazione riguardante la correzione dell'aberrazione sferica, Horn concluse la missiva facendo i più sentiti e sinceri complimenti alla ditta e a tutti i suoi collaboratori: «Io non chiuderò questa lettera senza ripetere la mia ammirazione per le officine di Jena, in cui ho veduto per la prima volta cose che sembrano trascendere le forze umane».<sup>35</sup> L'ammirazione era quindi elevata, come pure le aspettative. Dopo poco più di un mese Meccanoptica, sede italiana di Zeiss, informò Horn che la casa madre aveva deciso di non eseguire la costruzione di uno specchio sperimentale ed i motivi sembra che fossero legati alla corretta realizzazione dell'idea come da progetto. A Jena furono fatti degli esperimenti per la realizzazione del telescopio ma la spiegazione di questi non convinse Horn. Egli riferì il proprio dispiacere ed i propri dubbi a Carlo Gobessi, allora a capo della ditta Meccanoptica. In una lettera del 26 giugno 1932<sup>36</sup> egli chiese più informazioni sulle prove effettuate e di completare la relazione negativa con alcuni disegni che potessero essergli d'aiuto per capire il problema della costruzione. Questa spiegazione venne puntualmente fatta dalla Zeiss e spedita a Meccanoptica alla fine di luglio, ma Horn la ricevette solo tra settembre e ottobre essendo l'astronomo in America, al congresso

---

<sup>32</sup> ASAB, FH 1, busta 7, lettera 123, 09/04/1932.

<sup>33</sup> Ivi, lettera 129, 18/04/1932.

<sup>34</sup> Ivi, lettera 154, 14/05/1932.

<sup>35</sup> Ibidem.

<sup>36</sup> Ivi, lettera 182, 26/06/1932.

dell'Unione Astronomica Internazionale, nei mesi estivi di luglio, agosto e settembre. In questa nuova relazione, datata 21 luglio 1932, veniva descritto in modo dettagliato l'esperimento fatto su suggerimento dell'astronomo. Lo specchio preso in considerazione aveva un diametro di 650 millimetri ed un raggio di curvatura pari a 5722 millimetri. Sul telescopio venne posto un diaframma con un diametro di 700 millimetri come quello in Fig. 2.10, in modo tale da ottenere una superficie spezzettata.

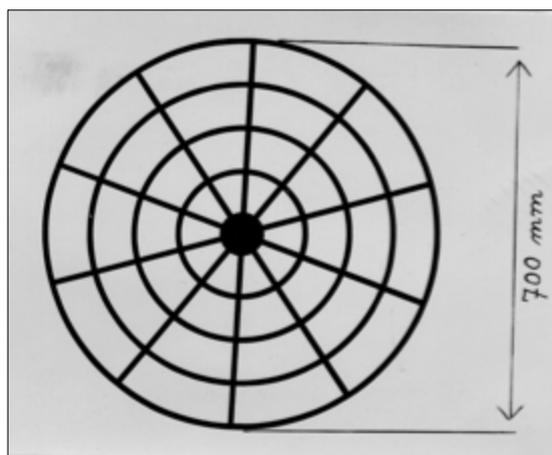


Figura 2.10: Schema del diaframma posto sullo specchio.

Ognuno dei 40 frammenti presentava così le stesse caratteristiche: raggio di curvatura e focale. Horn voleva capire se l'idea di concentrare l'immagine data da più specchi fosse concepibile e questo esperimento avrebbe potuto dargli delle risposte. Dalla Fig. 2.11, originale, si capisce come sono state disposte le varie strumentazioni: stella artificiale (Künstl. Stern), lastra fotografica (Photoplatte), diaframma (Blende) e lo specchio. Seguendo il percorso dei raggi luminosi si osserva che questi si uniscono nel fuoco, dove è posizionata la lastra sensibile.

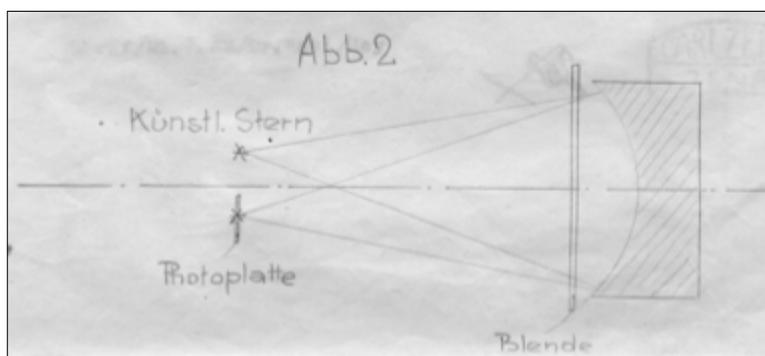


Figura 2.11 Disposizione delle strumentazioni.

L'esperimento continuò poi osservando l'immagine prodotta dallo specchio a diverse distanze dal punto di messa a fuoco e con tempi di posa differenti. I rispettivi valori tra distanze ed esposizioni sono riassunti in Tab. 2.1.

|                                |   |     |     |     |      |      |      |      |
|--------------------------------|---|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Distanza dal piano focale (mm) | 0 | ± 2 | ± 4 | ± 6 | ± 10 | ± 20 | ± 30 | ± 40 |
| Tempo di posa (sec)            | 3 | 4   | 5   | 6   | 10   | 15   | 20   | 25   |

Tabella 2.1

Molto interessanti furono le immagini ottenute da queste varie impostazioni visibili in Fig. 2.12.



Figura 2.12: Immagine ottenuta a distanze diverse dal fuoco e con tempi di esposizione diversi.

In Fig. 2.13 è invece rappresentata l'immagine a fuoco ma ottenuta con tempi di esposizione diversi (Tab. 2.2).



Figura 2.13: Immagini ottenute con i cinque tempi di esposizione diversi.

|                     |     |   |   |   |   |
|---------------------|-----|---|---|---|---|
| Tempo di posa (min) | 1/2 | 1 | 2 | 4 | 8 |
|---------------------|-----|---|---|---|---|

Tabella 2.2

La relazione si concluse con le seguenti parole: «La registrazione mostra chiaramente che la struttura dello specchio ha una notevole influenza sull'aspetto dell'immagine focale».<sup>37</sup>

I contatti con la Zeiss con oggetto lo specchio a tasselli si interruppero, momentaneamente, dopo la spiegazione di Villiger. Horn ricevette quindi un'altra bocciatura del suo progetto: le due ottiche europee più importanti, le uniche due che avrebbero avuto la possibilità di realizzare il nuovo telescopio non vollero rischiare.

<sup>37</sup> ASAB, FH 5.2.5, 06/10/1932.

Eppure, la nuova tipologia di strumenti in America aveva suscitato un certo interesse. Sempre a Gobessi scrisse: «[...] la mia idea ha trovato molto plauso in America e speriamo che questa volta Zeiss si decida ad acquistare il brevetto: non facendolo egli perderebbe un'occasione eccellente. Se si potesse presentare uno specchio di cinque metri di diametro (a tasselli) all'esposizione di Chicago dell'anno venturo! Un dilettante dell'Osservatorio di Harvard tenterà per conto suo la costruzione dello specchio».<sup>38</sup> In poche righe si può capire tutto l'entusiasmo, la voglia di realizzazione, la forte e ferma convinzione del progresso che stava avvenendo, si stavano spalancando nuove porte per il futuro dell'astrofisica e Horn ne era consapevole.

Tentate quindi le strade ambiziose con le due ditte, ad Horn non rimase altro che la possibilità di “mettersi nelle mani” di laboratori disposti a mettersi in gioco per la costruzione dei tasselli ma non dell'intero progetto. Compare a questo punto l'artigiano Angiolo Ciabilli, un ottico fiorentino esperto in strumenti ottici scientifici. Già in una lettera indirizzata a Salmoiraghi<sup>39</sup> Horn nominò un preventivo fatto da Ciabilli nell'aprile del 1932 per la sola lavorazione degli specchietti. L'artigiano fu l'unico che accettò di provare almeno a costruire i tasselli e concluse i primi dieci pezzi a settembre dello stesso anno.<sup>40</sup> Nonostante l'impegno iniziale dell'artigiano, qualcosa non funzionò: «[...] disgraziatamente l'operaio a cui li commisi diede ad essi la curvatura di metri nove, anziché quella richiesta di venti».<sup>41</sup> I primi 10 tasselli, pronti, non poterono essere utilizzati, le loro caratteristiche non corrispondevano alle richieste effettuate. Un raggio di curvatura diverso, inferiore, avrebbe modificato tutto il progetto; i tasselli con quelle caratteristiche non potevano essere sfruttati nella torre bolognese. Nonostante l'importante passo fatto, una piccola parte del progetto iniziava a prendere forma, Horn non poté sfruttare i tasselli, così com'erano, per il suo telescopio. La soluzione trovata fu quella di sistemare i tasselli già presenti, sfruttare gli unici pezzi già realizzati. La correzione fu richiesta sia allo stesso Ciabilli, sia all'ing. Salmoiraghi. A quest'ultimo Horn tenne a specificare la differenza rispetto al progetto di cui avevano parlato precedentemente: «Ora, non si tratta più di curvatura parabolica né di tasselli tenuti insieme col cemento ma di specchi regolabili

---

<sup>38</sup> ASAB, FH 1, busta 7, lettera 242, 09/10/1932.

<sup>39</sup> Ivi, lettera 133, 22/04/1932.

<sup>40</sup> Ivi, lettera 234, 28/09/1932.

<sup>41</sup> Ivi, lettera 452, 15/05/1933.

con viti [...]».<sup>42</sup> Dopo pochissimi giorni dall'invio delle lettere Horn si convinse a far modificare i tasselli da colui che li aveva costruiti ed i tasselli ritoccati ritornano a Bologna nel settembre del 1933, ma anche questa volta il lavoro non fu eseguito in modo corretto. Horn descrisse il ritocco addirittura peggiore del lavoro primitivo. Nonostante ora il raggio di curvatura fosse corretto, circa 20 metri, i problemi presenti erano altri. Dalle prime misurazioni, la differenza tra i raggi di curvatura massimi e minimi dei tasselli era eccessiva (Tab. 2.3). La differenza tra i raggi di curvatura massimo e minimo tra i due tasselli era pari a 58 centimetri mentre prima del ritocco era di soli 10 centimetri.<sup>43</sup>

|                     |             |
|---------------------|-------------|
| $R_{\min}$ tassello | 19,85 metri |
| $R_{\max}$ tassello | 20,43 metri |

Tabella 2.3

L'astronomo pensò allora di appoggiarsi ad una ditta esterna, più attrezzata, per un ennesimo ritocco sui tasselli, un'ottica specializzata avrebbe potuto controllare con più frequenza le caratteristiche delle superfici speculari. La persona alla quale si rivolse, questa volta, fu Gino Giotti, dirigente dei servizi ottici del Gruppo Officine Galileo di Firenze. La decisione avvenne nel dicembre del 1933. Le misure delle focali di alcuni dei tasselli corretti da Ciabilli è possibile riassumerle nella Tab. 2.4:

| Numero tassello | Posizione orizzontale AB | Posizione verticale CD |
|-----------------|--------------------------|------------------------|
| VIII            | 1024 cm                  | 1031 cm                |
| IX              | 1006 cm                  | 1009 cm                |
| X               | 1018 cm                  | 1018 cm                |

Tabella 2.4 (per le sezioni ved. Fig. 2.17)

Horn descrisse a Giotti il lavoro fatto dall'ottico fiorentino, in particolare gli fece notare la differenza dei valori delle focali dei tre tasselli e cercò di fargli capire che, a parte il problema dell'astigmatismo presente nei tasselli VIII e IX e non nel X, difetto che Ciabilli avrebbe potuto evitare facendo più attenzione; il problema delle focali non poteva essere imputabile

<sup>42</sup> Ibidem.

<sup>43</sup> Ivi, lettera 641, 02/11/1933.

all'artigiano; esse riuscirebbero sicuramente più precise se i tasselli potessero essere continuamente controllati con strumentazioni avanzate di cui il Ciabilli non era fornito ma le Officine Galileo sì. Non restava che darne la notizia all'artigiano: «Ora sono venuto alla determinazione di far dare l'ultimo ritocco ai tasselli della Galileo che può controllare la distanza focale ogniqualvolta lo voglia».<sup>44</sup> In realtà anche all'inizio del 1934 sono presenti contatti con Ciabilli, per ulteriori ritocchi a tasselli precedentemente non modificati (Tab. 2.5).

| Numero del tassello | Curvatura Sezione AB (cm) | Curvatura Sezione CD (cm) |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|
| II                  | 2044                      | 2006                      |
| III                 | 2041                      | 2011                      |
| V                   | 2046                      | 2016                      |
| VI                  | 2052                      | 2018                      |

*Tabella 2.5*

L'idea dell'utilizzo di questi tasselli per il suo telescopio fu probabilmente abbandonata, gli specchi presentavano troppi difetti.

Commenti sui tasselli effettuati da Ciabilli e sul suo modo di lavorare, in particolare, si trovano in una lettera spedita a Pietro Aloisi di Brescia, Horn non solo specificò ad Aloisi che un artigiano fiorentino non lavorò in modo preciso su dieci tasselli che gli erano stati commissionati, ma anche che ovunque fosse difficile trovare persone capaci di lavorare gli specchi, in particolare modo in Italia.

Sempre nel 1934, ad aprile, Horn decise di ricontattare la rappresentanza italiana di Zeiss, Meccanoptica, per farsi ora costruire i soli 10 tasselli anziché tutto il progetto.<sup>45</sup> L'impedimento, questa volta, non fu però legato alla creazione dei tasselli stessi o ad altri problemi inerenti le case produttrici ma a cause esterne legate al periodo storico che si stava vivendo in quegli anni. Dopo poco tempo dalla richiesta, Horn stesso fece un passo indietro spiegando alla ditta le sue ragioni: «Quanto ai dieci tasselli debbo ancora riflettere: come forse saprete, una recente disposizione vieta l'ordinazione all'estero di strumenti scientifici, senza previa autorizzazione del Ministero delle Corporazioni [...]»<sup>46</sup> specificando un paio di giorni dopo anche le

<sup>44</sup> Ivi, lettera 690, 27/12/1933.

<sup>45</sup> ASAB, FH 1, busta 8, lettera 174, 03/04/1934.

<sup>46</sup> Ivi, lettera 234, 05/06/1934.

parole esatte della disposizione: «...per la necessaria tutela ed il maggiore incremento della produzione nazionale...»<sup>47</sup>: era l'inizio della cosiddetta "autarchia".

Arrivati a questo punto l'unica idea fattibile, concreta, solida e soprattutto veloce era quella di farsi rifare completamente i dieci tasselli dalla ditta Filotecnica di Salmoiraghi, totalmente italiana, quindi compatibile con il nuovo decreto.

Il primo riavvicinamento con questa ditta è datato gennaio 1934,<sup>48</sup> ma solo a maggio Horn riuscì a incontrare l'Ing. Bellini della Filotecnica a Firenze (probabilmente per altri motivi, non appositamente per parlare dello specchio a tasselli).<sup>49</sup> Ebbero così modo di parlare nuovamente del progetto e dell'eventuale costruzione dei soli tasselli per il suo telescopio. Dopo pochissimi giorni Horn ricevette il preventivo<sup>50</sup> dalla ditta per la lavorazione dei 10 tasselli; con la descrizione di come questi sarebbero stati fatti: spessore di 18-20 millimetri, lavorati solo su una faccia che dovrà avere raggio di curvatura pari a 20 metri e una focale di 10 con un errore non superiore a  $\frac{1}{4}$  tra la parte centrale del tassello e quella vicino al bordo, superficie curva argentata ed una forma quadrata, con 10 centimetri di lato. Inoltre il costo di ciascun tassello sarebbe di 370 lire (poco più di 400 euro<sup>51</sup>) mentre i tempi di consegna del materiale sarebbero stati 70 giorni dal momento dell'ordine. Il giorno dopo Horn si affrettò a dare conferma<sup>52</sup> del lavoro, andava bene quasi tutto (il prezzo, la focale, tempi di consegna ecc..) eccetto la forma dei tasselli. Horn non scrisse esplicitamente dell'imprecisione del preventivo ricevuto ma sottolineò che la sagoma di questi doveva essere uguale ai disegni allegati, in grandezza naturale, alla stessa lettera (non presenti in archivio). Inoltre gli chiese di andare a rivedere l'articolo su *Coelum* del 1932 dove egli aveva rappresentato lo specchio nella sua totalità e l'invio del primo tassello, appena pronto, necessario per allestire la montatura. Il primo tassello marchiato Salmoiraghi arrivò a Bologna dopo poco più di un mese. Dai primi test effettuati Horn notò un raggio di curvatura uguale per le due sezioni del tassello, cosa molto apprezzata, ma andando avanti nella prova scoprì che vicino ai bordi, in particolare nell'angolo

---

<sup>47</sup> Ivi, lettera 235, 07/06/1934.

<sup>48</sup> Ivi, lettera 22, 12/01/1934.

<sup>49</sup> Ivi, lettera 225, 20/05/1934.

<sup>50</sup> ASAB, Serie storica Specola (da qui in avanti abbreviato con Ss), B 54, 3.17, 01/06/1934.

<sup>51</sup> In questa tesi è stata fatta una conversione da lire ad euro considerando i coefficienti di rivalutazione storica monetaria dati dalla Camera di Commercio di Cremona.

<sup>52</sup> ASAB, Ss, B 52.2 lettera 9, 02/06/1934.

destro dell'unico tassello, i raggi luminosi non erano riflessi in modo corretto: «riflettono meno rigorosamente l'ortogonalità delle rette [...]»<sup>53</sup>

Da novembre dello stesso anno e fino alla consegna (e oltre) dei nuovi tasselli vi fu un'intensa corrispondenza tra Horn ed alcuni dipendenti della Filotecnica, lettere nelle quali l'astronomo fu fonte di preziosi ed essenziali consigli sia per la costruzione dei tasselli e sia per il controllo dell'uniformità e dell'allineamento delle superfici speculari. Horn ormai sapeva quali difetti avrebbero potuto avere gli specchi e grazie alle prove già effettuate con quelli di Ciabilli era in grado di prevedere le possibili imperfezioni e i possibili problemi ai quali sarebbero potuti andare incontro. Per questo motivo il primo appunto (dal materiale in archivio) che l'astronomo fece a Salvatore Giaquinta, ingegnere della Filotecnica, era relativo all'aggiustamento dei tasselli. Nella prima immagine della Fig. 2.14, Horn descrisse semplicemente le posizioni della strumentazione utilizzata per l'allineamento degli specchietti, indicando con  $C$  il collimatore munito di due fili incrociati giacenti sul piano focale  $CC'$ ,  $O$  l'osservatore e con  $M$  l'immagine riflessa sulla superficie del mercurio (l'orizzonte artificiale). Nella seconda immagine aggiunse  $F$  cioè il fuoco dello specchio a tasselli,  $AA'$  l'asse centrato nel foro dello specchio a tasselli dove era posizionata il cannocchiale "spezzato"  $mm'$  ed infine con  $vv$  intendeva le viti con le quali i tasselli erano fissati alla lastra di marmo (Fig. 2.14). Horn passò poi alla descrizione di tutto il procedimento da fare.

---

<sup>53</sup> Ivi, lettera 14, 10/01/1934.

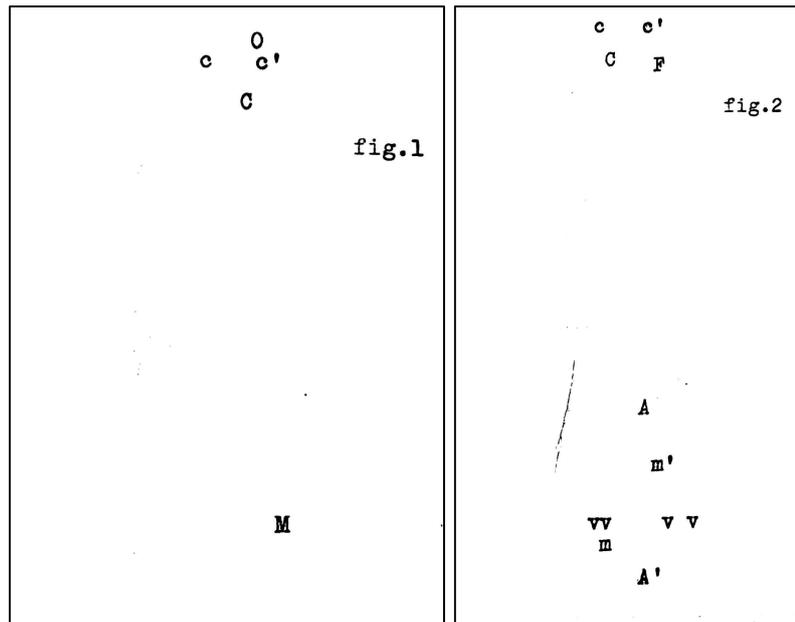


Figura 2.14: Disegni originali di Horn tratti dall'epistolario privato.

Per l'aggiustamento dei tasselli consigliava di mettere prima in asse  $O$  e  $M$  e togliere poi il mercurio, sotto il quale si trovava il tassello. Fatto ciò bisognava rendere luminosi i fili incrociati del collimatore in modo tale che i raggi partiti da esso fossero riflessi dal tassello, nel fuoco dello specchio a tasselli. Anche in  $F$  doveva essere presente un'altra croce di fili illuminati e coincidente con l'immagine riflessa. Per far sì che ciò avvenisse bisognava andare a spostare, aggiustare, il tassello agendo sulle viti al di sotto dello specchio. Secondo Horn con questa modalità potevano agire in modo indipendente due operatori, uno al collimatore e l'altro all'oculare  $m$ . Questa operazione era utile per verificare la correttezza dei tasselli una volta lavorati. È possibile seguire tutto il percorso compiuto dai raggi dell'immagine riflessa dal tassello in Fig. 2.15, disegno originale fatto da Horn, sempre allegato alla lettera per l'ing. Giaquinta.

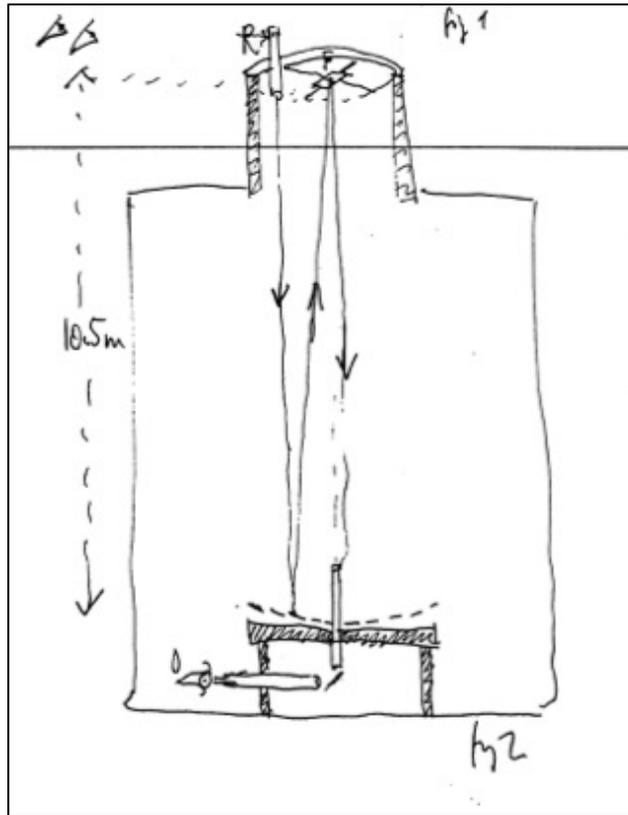


Figura 2.15: Disegno di Horn del percorso effettuato dai raggi luminosi.

Sempre nello stesso schizzo, si riconoscono i due cannocchiali utilizzati per il telescopio a tasselli; questi strumenti furono accorpati dalla ditta Filotecnica anche se parti utilizzate per questi oggetti appartenevano già all'Università di Bologna.<sup>54</sup> In Fig. 2.16 è rappresentato nel dettaglio il cannocchiale che Horn chiamava inferiore, cioè quello che si trovava più vicino allo specchio. La parte verticale era posta al centro del cerchio formato dai tasselli, mentre quella orizzontale si trovava al di sotto della lastra di marmo, sorretto da un sostegno e girevole intorno all'asse centrale della parte verticale.

<sup>54</sup> Ivi, lettera 454, 04/01/1935.

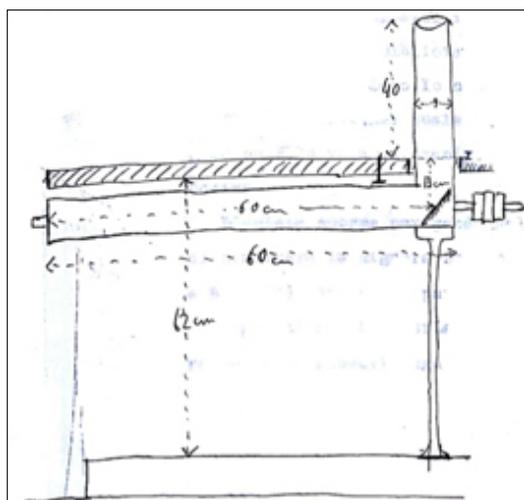


Figura 2.16: Dettaglio del canocchiale inferiore.

Finalmente nella primavera del 1935 tutti e dieci tasselli ed i canocchiali arrivarono nelle mani di Horn ed il 3 maggio egli scrisse alla ditta le sue impressioni. «I due canocchiali non lasciano nulla a desiderare [...], entrambi servono benissimo al loro scopo. Non posso dire altrettanto dei tasselli i quali sono bensì quasi esenti da astigmatismo (per quanto mi risulta da un esame preliminare) ossia le curvature sono effettivamente sferiche, ma i loro raggi differiscono di quantità eccedenti la tolleranza, com'ella vedrà in tabella».<sup>55</sup> In Fig. 2.17 sono rappresentate le sezioni di un tassello e nelle tabelle 2.6 e 2.7 vengono riportate tutte le misure effettuate sugli specchi e confrontate con i dieci tasselli fatti «dall'occhialaio fiorentino».<sup>56</sup>

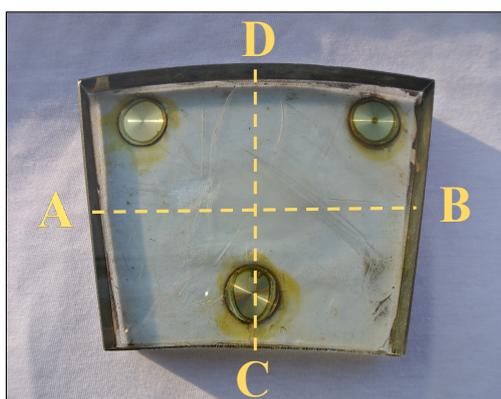


Figura 2.17: Sezioni del tassello AB e CD.

<sup>55</sup> Ivi, lettera 629, 03/05/1935.

<sup>56</sup> Ivi, lettera 14, 10/01/1934.

| CIABILLI        |                             |   |                             |                          |
|-----------------|-----------------------------|---|-----------------------------|--------------------------|
| N. del tassello | Distanza focale AB in metri | Differenza rispetto alla distanza massima di m. 10.35 in cm | Distanza focale CD in metri | Astigmatismo AB-CD in cm |
| I a             | 10,32                       | 3   | 10,32                       | 0                        |
| II a            | 10,24                       | 11  | 10,19                       | 5                        |
| III a           | 10,22                       | 13  | 10,16                       | 6                        |
| IV a            | 10,35                       | 0   | 10,33                       | 2                        |
| V a             | 10,29                       | 6   | 10,23                       | 6                        |
| I b             | 10,22                       | 13  | 10,20                       | 2                        |
| II b            | 10,29                       | 6   | 10,20                       | 9                        |
| III b           | 10,15                       | 20  | 10,04                       | 11                       |
| IV b            | 10,32                       | 3   | 10,26                       | 6                        |
| V b             | 10,21                       | ----- 14 -----  | 10,17                       | ----- 4 -----            |
| Somma           |                             | 89  |                             | 51                       |

Tabella 2.6

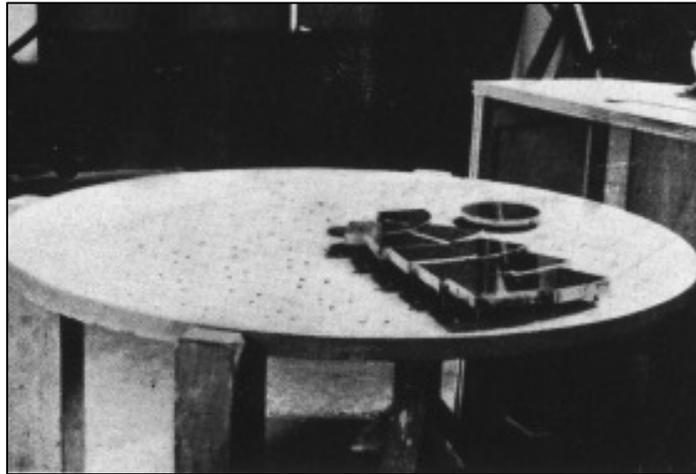
| LA FILOTECNICA  |                             |   |                             |                          |
|-----------------|-----------------------------|---|-----------------------------|--------------------------|
| N. del tassello | Distanza focale AB in metri | Differenza rispetto alla distanza massima di m. 10.50 in cm | Distanza focale CD in metri | Astigmatismo AB-CD in cm |
| I a             | 10,40                       | 10  | 10,42                       | 2                        |
| II a            | 10,50                       | 0   | 10,51                       | 1                        |
| III a           | 10,38                       | 12  | 10,38                       | 0                        |
| IV a            | 10,45                       | 5   | 10,43                       | 2                        |
| V a             | 10,50                       | 0   | 10,49                       | 1                        |
| I b             | 10,40                       | 10  | 10,42                       | 2                        |
| II b            | 10,40                       | 10  | 10,41                       | 1                        |
| III b           | 10,36                       | 14  | 10,36                       | 0                        |
| IV b            | 10,29                       | 21  | 10,25                       | 4                        |
| V b             | 10,45                       | ----- 5 -----   | 10,45                       | ----- 0 -----            |
| Somma           |                             | 87  |                             | 13                       |

Tabella 2.7

Horn fece notare che il problema dell'astigmatismo era molto inferiore a quello avuto con i tasselli del Ciabilli e questo fu senz'altro un punto a favore della ditta milanese, ma lo scarto sulla distanza focale massima era invece esagerato, in media di 9 centimetri per tassello. I tasselli erano ancora inutilizzabili a parte il IIa e il Va che, avendo caratteristiche simili tra loro, Horn sfruttò per le prove iniziali: tutti gli altri andavano modificati. Anche questi tasselli cominciarono a viaggiare, questa volta tra Milano e Bologna, pur di ottenere la perfezione. Nei mesi successivi Horn insisté molto sulla differenza tra i raggi di curvatura dei tasselli, non accettabile per il suo scopo, non accettabile se costruiti da una ditta specializzata in lenti. Horn non condivideva le spiegazioni date dall'ing. Bellini: «...i raggi di curvatura sono uguali nei limiti del fenomeno interferenziale.» È valida soltanto se, sovrapponendo i tasselli al provino si trova che dentro le aree pressoché uguali di ciascun tassello è identico il

numero delle frange». <sup>57</sup> Secondo l'astronomo i tasselli dovevano presentare lo stesso numero di frange per ottenere raggi di curvatura uguali e non invece raggi di curvatura compresi tra i 21 ed i 20,58 metri. L'ing. Bellini cercò di giustificare il proprio lavoro facendo notare all'astronomo che inizialmente non si era parlato di frange d'interferenza dei tasselli; ma Horn rispose spiegandogli che se i raggi di curvatura fossero stati più uniformi non ci sarebbero stati problemi di focale e di conseguenza il bisogno di controllare anche le frange. <sup>58</sup> Le modifiche richieste avvennero in particolare per il tassello IVb che presentava un raggio di curvatura minimo ed il IIa che aveva invece un raggio di curvatura massimo. A luglio anche gli altri 8 tasselli tornarono a Milano per le modifiche necessarie e nei giorni successivi furono sistemati con la presenza di Horn. <sup>59</sup>

I tasselli marchiati Filotecnica furono certamente migliori di quelli fiorentini e permisero ad Horn di iniziare i primi esperimenti con tale telescopio, anche se ancora formato da soli 10 tasselli anziché 80 (Fig. 2.18).



*Figura 2.18: I dieci tasselli posti sul piano di marmo.*

Altra delusione per questi tasselli fu infine riferita al materiale utilizzato. Riparlandone con la ditta Meccanoptica e probabilmente facendo analizzare i tasselli anche da loro, riuscì a capire che il materiale utilizzato dalla ditta milanese era il Kronglas, più comunemente conosciuto come vetro di Crown. In una delle ultime lettere tra la ditta Filotecnica e Horn quest'ultimo scrisse: «[...] è stata anche per me una delusione vedere quella superficie così accidentata, mentre speravo tanto nel materiale francese di costo poco elevato, ma di utilità nulla, come si

---

<sup>57</sup> Ivi, lettera 647, 17/05/1935.

<sup>58</sup> Ivi, lettera 663, 30/05/1935.

<sup>59</sup> Ivi, lettera 714, 05/07/1935.

vede». <sup>60</sup> Anche in un articolo <sup>61</sup> del 1935 Horn non elogiò il lavoro fatto dalla Filotecnica, il vetro utilizzato avrebbe dovuto essere il migliore, cioè essere composto da quarzo fuso per ottenere la massima precisione, necessaria per le immagini stellari. A tal proposito l'astronomo scrisse: «il non avere tenuto conto di questo particolare fece sì che i primi dieci tasselli forniti dalla Filotecnica di Milano non furono passibili di quella rifinitura che sola può condurre alla generazione di immagini perfettamente focalate ed esenti dalla correggibile aberrazione di sfericità» <sup>62</sup>.

Questi tasselli sono comunque quelli che Horn utilizzò negli esperimenti con il telescopio a tasselli dal 1935 al 1937, anno in cui riuscì ad ottenere altri 10 tasselli, ma questa volta, finalmente, dalla prestigiosa Zeiss, di Jena.

Nel gennaio del 1936 venne ripreso l'argomento "tasselli" con Meccanoptica <sup>63</sup> e già nel novembre dello stesso anno sono presenti dei solleciti per l'invio del materiale, senza dimenticare che questo si trovava in Germania. A questo punto entrò in gioco Paul Otto, un dipendente di Meccanoptica che si interessò personalmente per lo sdoganamento dei tasselli, <sup>64</sup> i quali, probabilmente, arrivarono a Bologna tra la fine del 1936 e l'inizio del 1937. <sup>65</sup> I nuovi tasselli corrispondevano perfettamente alla sua idea, erano quelli che avrebbe desiderato fin dal 1932. I lavori con lo specchio a tasselli ripresero in aprile con le nuove superfici riflettenti <sup>66</sup> e già a giugno Horn si ritenne soddisfatto dei risultati ottenuti con il nuovo telescopio, non monolitico e con tasselli fatti a regola d'arte. <sup>67</sup> Finalmente gli specchi erano stati lavorati da persone competenti e confezionati in modo preciso, tale da dare il miglior risultato possibile e portare Horn alla voglia di ordinare i restanti tasselli al rientro delle vacanze estive.

Sorprese negative di altro genere attendevano però Horn al rientro al lavoro.

---

<sup>60</sup> Ivi, lettera 747, 08/08/1935.

<sup>61</sup> G. Horn, *Primi esperimenti con lo specchio a tasselli*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio Astronomico universitario di Bologna", III, 1935, n.3.

<sup>62</sup> Ibidem.

<sup>63</sup> ASAB, FH 1, busta 9, lettera 10, 08/01/1936.

<sup>64</sup> Ivi, lettera 509, 06/02/1937.

<sup>65</sup> Ivi, lettera 525, febbraio 1937.

<sup>66</sup> Ivi, lettera 592, 23/04/1937.

<sup>67</sup> Ivi, lettera 668, 24/06/1937.

## 2.4 I lavori sullo specchio a tasselli si fermano

Nell'ottobre del 1938 si aprì un capitolo molto amaro della vita di Horn, che bloccò per anni il lavoro sullo specchio a tasselli: l'allontanamento dall'Università a causa delle leggi antiebraiche.<sup>68</sup> Questa notizia segnò profondamente l'astronomo all'apice della realizzazione dello strumento astronomico che lo avrebbe fatto ricordare tra i grandi inventori di telescopi. Egli raccontò di tutto il suo dolore, della sua amarezza e tristezza all'amico astronomo G. B. Lacchini, descrivendogli anche la possibilità di un suo futuro incarico presso l'Osservatorio di Trieste e dell'idea di portare con sé il telescopio in modo tale da non bloccare gli esperimenti che stava facendo con esso.<sup>69</sup> Nonostante il brusco impatto iniziale, Horn non abbandonò subito l'idea della conclusione dei lavori sullo specchio a tasselli posto nella torre bolognese e l'allontanamento dall'Università non doveva ripercuotersi sulla attività dell'Osservatorio, per il quale aveva speso tantissimo tempo ed energia. Iniziò quindi a meditare ad alcune strategie per racimolare una somma di denaro necessaria per l'aggiunta di altri 16 tasselli al telescopio. Il primo tentativo ideato dall'astronomo consistette in una sorta di baratto, cioè una richiesta di altri 16 tasselli a Meccanoptica, in cambio di ben 10 anni di pubblicità gratuita sulla sua rivista *Coelum*. In archivio non sono presenti risposte a questa bizzarra proposta ma è possibile dedurre, da alcune parole di Horn,<sup>70</sup> che non sarebbe stata certo la prima ditta a negargli la propria disponibilità perché ebreo, viste le nuove leggi diffuse in Europa, senza dimenticare che proprio la casa madre di Meccanoptica, Zeiss, aveva sede nella nazione tedesca. Nel frattempo l'astronomo iniziò a recarsi all'Osservatorio di nascosto, come egli stesso ammette all'amico Giuseppe Testa,<sup>71</sup> per continuare gli esperimenti con lo specchio a tasselli.<sup>72</sup> La possibilità di continuare segretamente i propri lavori fu data all'astronomo dal nuovo direttore dell'Osservatorio, Francesco Zagar,<sup>73</sup> proveniente dall'Osservatorio Astronomico di Palermo. Horn stesso lo scrisse in una lettera all'amico Gaetano Castelfranchi (1892-?), un ingegnere elettrotecnico milanese.

La ricerca di fondi, un totale di 8.000 lire (circa 6.600 euro), per

---

<sup>68</sup> F. Bònoli, A. Mandrino, *Sotto lo stesso cielo? Le leggi razziali e gli astronomi in Italia*, "Giornale di Astronomia", vol 41, n.2; M. Zuccoli, *Guido Horn d'Arturo: un astronomo e la sua Biblioteca*, "Annali di storia delle università italiane", 4/2000.

<sup>69</sup> ASAB, FH 1, busta 10, lettera 310, 12/10/1938.

<sup>70</sup> Ivi, lettera 459, 30/12/1938.

<sup>71</sup> Ivi, lettera 679, 17/06/1939.

<sup>72</sup> Ivi, lettera 672, 09/06/1939.

<sup>73</sup> Ivi, lettera 578, 08/03/1939.

i lavori necessari al completamento del telescopio, non si fermò, Horn chiese il sostenimento economico ad alcuni privati e l'unica persona che rispose all'appello fu Ugo Mantelli, un ingegnere che già dal 1934 conosceva Horn tramite l'abbonamento a *Coelum* e che seguì la storia della costruzione del telescopio. Egli propose all'astronomo la somma di 5000 £, non sufficiente per la conclusione dei lavori ma pur sempre una quantità rilevante. A giugno del 1939 Horn accettò il gentile aiuto proposto dall'ingegnere<sup>74</sup> e ricominciò a pensare a chi commissionare ora i 16 tasselli, Meccanoptica sembra esclusa dai pensieri di Horn, Filotecnica ne rifiutò l'ordine e venne preso in considerazione un ottico fiorentino.

Questo dilemma ebbe breve permanenza nella mente di Horn, in quegli stessi giorni venne emanato il divieto ufficiale di accedere anche all'Osservatorio,<sup>75</sup> un distacco doloroso che ora era costretto a subire. Zagar, appena insediatosi, si impegnò per fargli comunque continuare i lavori con il suo telescopio. In una lettera, datata 9 giugno 1939, il nuovo direttore chiese il permesso al rettore dell'Università, Alessandro Ghigi, per fargli continuare i lavori: «Magnifico Rettore, il Prof. G. Horn D'Arturo, mio predecessore nella direzione di questo Istituto, e dispensato dalla Sua carica col provvedimento sulla razza, si rivolge a me per ottenere il permesso di continuare in questo Osservatorio certe sue esperienze scientifiche, delle quali si è molto occupato in passato»,<sup>76</sup> specificando che Horn sarebbe stato disposto a lavorare anche in condizioni molto stringenti: «1. Senza alcun gravame sulla dotazione di questo Istituto e quindi a totale carico suo di spese; 2. Frequentando l'Istituto nelle sole ore notturne e precisamente tra le ore 22 e 1 della notte; 3. Per un periodo di tempo non superiore a 2 o 3 mesi nella stagione estiva».<sup>77</sup> Zagar concluse poi la lettera spigando le ragioni della richiesta: «Dato l'interesse scientifico di queste esperienze che riguardano una importante questione di ottica strumentale e modalità con cui verrebbero effettuate, non vi sarebbero difficoltà da parte di questo Istituto a dare al Professore suddetto il permesso richiesto. Rimetto perciò a voi, Magnifico Rettore, questa questione con preghiera di voler prendere una decisione in merito»<sup>78</sup>

Il mese successivo arrivò la risposta da parte del rettore: «[...] il superiore Ministero non ritiene opportuno concedere al Prof. Horn d'Arturo Guido, dispensato dal servizio in applicazione dei provvedimenti per la difesa della razza italiana, il richiesto permesso di continuare ad usufruire dell'Osservatorio Astronomico di questa Università per i suoi esperimenti

---

<sup>74</sup> Ivi, lettera 676, 12/06/1939.

<sup>75</sup> Ivi, lettera 710, 19/07/1939.

<sup>76</sup> ASAB, Ss, B 59, lettera 3.31, 09/06/1939.

<sup>77</sup> Ibidem.

<sup>78</sup> Ibidem.

scientifici». <sup>79</sup> L'astronomo dovette rinunciare al sostegno economico di Mantelli. La non accettazione totale dell'abbandono del progetto lo portò, ancora una volta, a trovare altri espedienti per continuare a lavorare allo specchio a tasselli, come un nuovo spostamento del telescopio, questa volta a Genova, città dell'ingegnere.

Horn non poté però fare altro che abbandonare il telescopio a tasselli nella torre bolognese, aveva provato tutte le strade possibili per continuare i lavori con esso, per salvare l'ingegnoso progetto, ma a questo punto davvero nulla poteva essere più fatto.

---

<sup>79</sup> Ivi, lettera 3.35, 13/07/1939.



## Capitolo 3

### Applicazioni teoriche e pratiche dello specchio a tasselli

Dopo 3 anni di lavori e sforzi fu possibile sfruttare i dieci tasselli della ditta milanese per le applicazioni astronomiche. L'osservazione delle immagini stellari richiedeva una certa calibrazione dei tasselli, un aggiustamento, di cui si è già accennato ma che ora vedremo più nel dettaglio.

Le misure della curvatura sferica degli specchi e di conseguenza la focale erano già fissate considerando la stanza nella quale il telescopio sarebbe stato posto. Come già detto, il fuoco  $F$  dello specchio cadeva proprio sulla terrazza della Torre dell'Osservatorio Bolognese e qui, sull'apertura del soffitto, si trovava una croce di ferro che sorreggeva lo châssis, questo doveva essere centrato con l'asse del cerchio formato dai tasselli al piano inferiore (Fig. 3.1)



*Figura 3.1: Horn sulla terrazza della Torre, lo châssis al centro della croce e l'oculare solidale con esso.*

### 3.1 Preparazione dello specchio per l'osservazione di immagini stellari

Per effettuare l'aggiustamento<sup>80</sup> dei tasselli (Fig. 3.2) si faceva uso di una sorgente luminosa artificiale, i cui raggi dovevano essere paralleli tra loro e normali al piano del marmo posto sotto i tasselli. Questa operazione veniva garantita usando un cannocchiale collimatore  $C$ . All'interno di questo era presente una lampadina  $l$  la cui luce illuminava indirettamente una croce di fili posta sul piano focale  $AA'$  dell'obiettivo  $O$ , l'immagine prodotta veniva poi riflessa con uno specchietto  $s$  lungo il tubo del cannocchiale ed uscente da esso formando un fascio di raggi paralleli tra loro. Il parallelismo dei raggi uscenti da  $O$  doveva essere verificato, ogni volta, quindi per ogni tassello, tramite un orizzonte artificiale  $B$  che veniva collocato appena sopra lo specchietto. All'interno dell'orizzonte era presente del mercurio, sul quale doveva essere riflessa l'immagine della croce di fili giacente in  $AA'$ ; la diretta sovrapposizione dell'immagine riflessa sul mercurio e dell'immagine diretta dei fili garantiva la perfetta verticalità dei raggi e di conseguenza il parallelismo tra essi. Verificata la correttezza del fascio luminoso, l'orizzonte artificiale doveva essere tolto in modo tale da far incidere i raggi sul tassello. L'immagine veniva poi ulteriormente riflessa sul piano focale, in un punto  $F'$ , spesso non coincidente con il fuoco  $F$ , ma complanare. Le immagini  $F$  ed  $F'$  dovevano essere sovrapposte e per ottenere ciò bisognava agire tramite i supporti a vite posti sotto il tassello, cercando di orientarlo fino a far corrispondere i due punti. Alternando l'accensione e lo spegnimento della lampadina  $l$  con quella di una seconda lampadina  $L$  era possibile verificare la coincidenza di  $F$  con  $F'$ , osservando l'immagine nell'oculare  $o$ .

---

<sup>80</sup> G. Horn d'Arturo, *Primi esperimenti con lo specchio a tasselli*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio Astronomico universitario di Bologna", 1935.

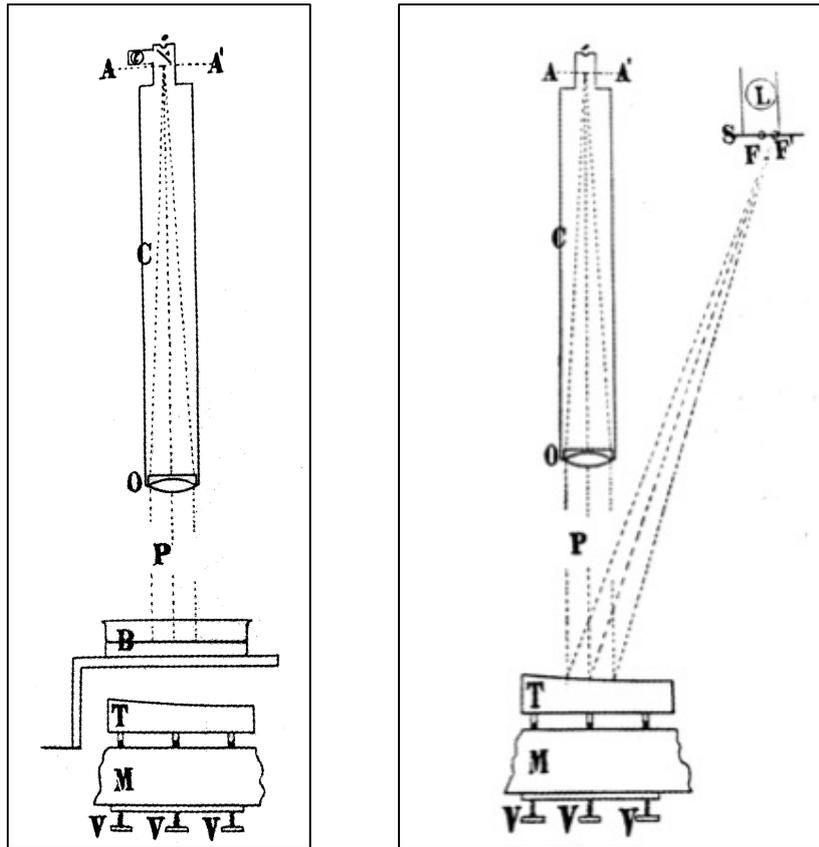


Figura 3.2: Disegno originale dove Horn spiega l'aggiustamento dei tasselli.

Fatto ciò per il primo tassello l'operazione doveva essere ripetuta per tutti gli altri. Secondo Horn servivano due persone per poter sistemare in pochi minuti un tassello, una posta al piano dello specchio (piano *SS*, Fig. 2.3), l'altra in terrazza (piano *FF*, Fig. 2.3) a verificare l'immagine e comunicando con l'uso di un telefono.

### 3.2 Caustica dello specchio a tasselli

Horn studiò in modo dettagliato l'andamento dei raggi luminosi incidenti le varie superfici speculari.<sup>81</sup> Gli ottanta tasselli erano caratterizzati da una stessa curvatura sferica e da progetto (Fig. 2.4) questi dovevano essere posizionati formando cinque anelli concentrici, il più piccolo, al centro, era formato da soli 6 specchietti, mentre il più esterno da 26 tasselli e l'unione dei cinque gironi dava la superficie di un cerchio. L'applicazione della curvatura sferica nei telescopi era da tempo stata sostituita da quella parabolica perché priva di aberrazione di sfericità. Horn volle però una curvatura sferica per il suo telescopio a tasselli perché, nonostante fosse consapevole dell'aumento del difetto all'allontanamento dall'asse centrale, sapeva di poterlo correggere con opportuni sollevamenti dei gironi rispetto al piano d'appoggio. Prima cosa da fare per poter correggere l'aberrazione era fissare la distanza di ogni anello dall'asse  $A$ , asse passante per il centro del telescopio. La variazione di distanza dall'asse portava inevitabilmente ad un aumento della distanza tra i punti  $FF'$  sul piano focale. Questo incremento tra  $F$  e  $F'$  è proprio l'aberrazione sferica longitudinale ed è la stessa per ogni girone; essendo l'aberrazione sferica l'unica a dipendere dal solo parametro di apertura dello specchio. Indicando con  $f$  la focale dello strumento e con  $y$  la distanza di ogni anello dall'asse centrale, l'aberrazione longitudinale è data dalla formula:

$$FF' = \frac{y^2}{8f}$$

I dati delle aberrazioni, per ogni girone, sono riassunti in Tab. 3.1:

| Girone | distanza $y$ dall'asse $A$<br>(cm) | aberrazione longitudinale $FF'$<br>(mm) |
|--------|------------------------------------|---|
| 1      | 10                                 | 0,12                                    |
| 2      | 20                                 | 0,48                                    |
| 3      | 30                                 | 1,08                                    |
| 4      | 40                                 | 1,92                                    |
| 5      | 50                                 | 3,00                                    |

Tabella 3.1

<sup>81</sup> G. Horn, *Primi esperimenti con lo specchio a tasselli*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio Astronomico universitario di Bologna", 1935.

In Fig. 3.3 Horn mise in mostra le differenze di curvatura tra specchi sferici  $S$ , paraboloidici  $P$  e a tasselli  $T$  ma tutti aventi fuoco comune. Lo scopo era quello di far notare le differenti altezze alle quali vanno posizionati i gironi dello specchio a tasselli rispetto alla curva dello specchio sferico  $S$ , aumentando la distanza da  $A$ . Lo spostamento dei tasselli rispetto alla curva  $S$ , avveniva in modo parallelo all'asse centrale  $A$  ed era dato dalla misura dell'aberrazione longitudinale. Questo avvicinamento dei gironi verso il piano focale faceva sì che i raggi convergessero, correggendo il difetto dell'aberrazione sferica longitudinale. La superficie creata dai tasselli formava una curva non perfettamente liscia ma, usando le parole di Horn, gradinata.

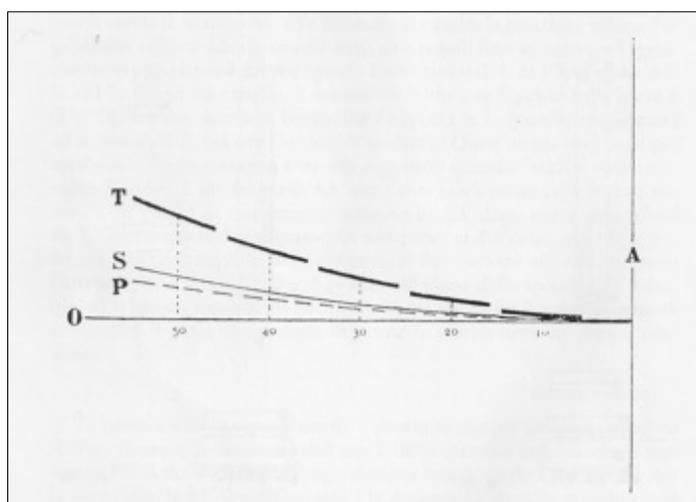


Figura 3.3: Curvature di specchi paraboloidici  $P$ , sferici  $S$  ed a tasselli  $T$  a confronto.

Le due curve dello specchio parabolico  $P$  e la curva dello specchio sferico  $S$ , confocali, si distanziano sempre più allontanandosi dall'asse  $A$ . Questa distanza fu calcolata per ogni girone e riportata in Tab. 3.2.

| $Y$<br>(cm) | Distanza fra le due aree $P$ e $S$<br>misurata parallelamente<br>all'asse $A$ (mm) |
|-------------|--|
| 10          | 0,0000000013   |
| 20          | 0,0000223  |
| 30          | 0,000113   |
| 40          | 0,000550   |
| 50          | 0,000870   |

Tabella 3.2

### 3.3 “Le immagini stellari extrassiali generate dagli specchi paraboloidici ed a tasselli”

Horn non si limitò a mettere in pratica la propria idea realizzando il telescopio, ma si preoccupò di studiarne la formazione delle immagini anche dal punto di vista teorico.<sup>82</sup> Egli stesso scrisse: «ora mi preme di mostrare che la forma e le dimensioni delle immagini ottenute teoricamente con lo specchio a tasselli sono praticamente identiche a quelle generate da un paraboloide rotondo, quando il suo parametro  $p$  sia uguale al raggio di curvatura  $r$  dei tasselli sferici».<sup>83</sup>

Seguiamo ora più in dettaglio il procedimento descritto dallo stesso Horn nella sua pubblicazione “*Immagini stellari extrassiali generate dagli specchi paraboloidici, sferici ed a tasselli*”

Partendo dalle immagini generate con i classici specchi paraboloidici Horn arrivò a descrivere quelle formate con il telescopio a tasselli.

In Fig. 3.4 osserviamo ed identifichiamo:

- ◇ **BB** il paraboloide rotondo,
- ◇ **V** l’origine delle coordinate,
- ◇ **F** il fuoco del paraboloide ed origine delle coordinate  $y_f$  e  $z_f$ ,
- ◇ **C** il centro di curvatura dello specchio,
- ◇ **p** il parametro del paraboloide, tale che  $CF=FV=1/2p$  e  $OQ=p$
- ◇ **R, R<sub>I</sub>** il fascio di raggi paralleli tra loro ed incidenti in modo obliquo sulla superficie del paraboloide,
- ◇ **δ** l’angolo tra il fascio di raggi e l’asse X del paraboloide,
- ◇ **a** raggio della circonferenza disegnata dal fascio incidente la superficie concava del paraboloide,
- ◇ **π** il piano focale,
- ◇ **EE** una generica circonferenza con raggio  $a$ ,
- ◇ **P<sub>I</sub>** il punto in cui il raggio  $R_I$  attraversa il piano focale per la prima volta,
- ◇ **P<sub>I</sub>** il punto in cui il raggio  $R_I$  incontra lo specchio e viene riflesso,
- ◇ **P<sub>f</sub>** il punto in cui il raggio  $R_I$  riflesso attraversa il piano focale,
- ◇ **2i** angolo tra raggio  $R_I$  incidente e riflesso,
- ◇ **N** la normale al paraboloide nel punto  $P_I$

---

<sup>82</sup> G. Horn, *Immagini stellari extrassiali generate dagli specchi paraboloidici, sferici, ed a tasselli*, “Pubblicazioni dell’Osservatorio Astronomico universitario di Bologna”, 1936.

<sup>83</sup> Ibidem.

- ◇  $S$  la curva disegnata dal punto  $P_f$ , il cui spostamento è dato dal cammino del raggio  $R_l$  sulla circonferenza  $EE$
- ◇  $\alpha$  angolo dato dal cammino del punto  $P_l$  sulla circonferenza  $EE$

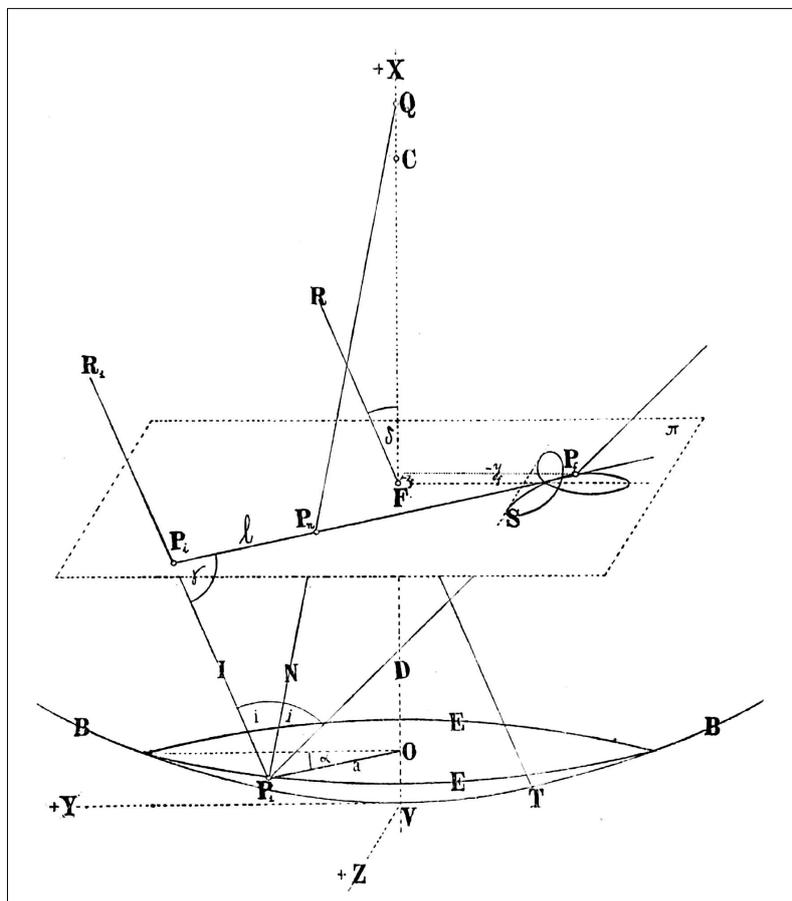


Figura 3.4: Cammino dei raggi luminosi sullo specchio parabolico e rispettivo movimento del punto  $P_f$  sul piano focale.

La curva  $S$  è rappresentata dalle seguenti equazioni parametriche:

$$y_f = a \cos \alpha + D \tan \delta - \frac{\frac{2D}{\cos \delta} (a \cos \alpha + p \tan \delta) (p \cos \delta - a \cos \alpha \sin \delta)}{2(p \cos \delta - a \cos \alpha \sin \delta)^2 - (a^2 + p^2) + 2(p \cos \delta - a \cos \alpha \sin \delta)M}$$

$$z_f = a \sin \alpha - \frac{\frac{2D}{\cos \delta} a \sin \alpha (p \cos \delta - a \cos \alpha \sin \delta)}{2(p \cos \delta - a \cos \alpha \sin \delta)^2 - (a^2 + p^2) + 2(p \cos \delta - a \cos \alpha \sin \delta)M}$$

dove con  $M$  si indica il seguente radicando:

$$M = \pm \sqrt{p^2(\tan^2 \delta - 1) + 2ap \cos \alpha \tan \delta + (p \cos \delta - a \cos \alpha \sin \delta)^2}$$

E la distanza  $D$  tra piano focale e piano della circonferenza  $EE$  è data da

$$D = \frac{p}{2} - \frac{a^2}{2p}$$

Riprendendo le equazioni parametriche e considerando tutti i valori che può assumere  $a$ , da un minimo di zero e fino a un massimo pari al raggio della circonferenza disegnata dal paraboloide, si ottiene un insieme di curve la cui somma ci fornisce l'immagine stellare. Queste curve assumono tre andamenti diversi, come mostrato in Fig. 3.5, a seconda di  $a \gtrless p \tan \delta$ :

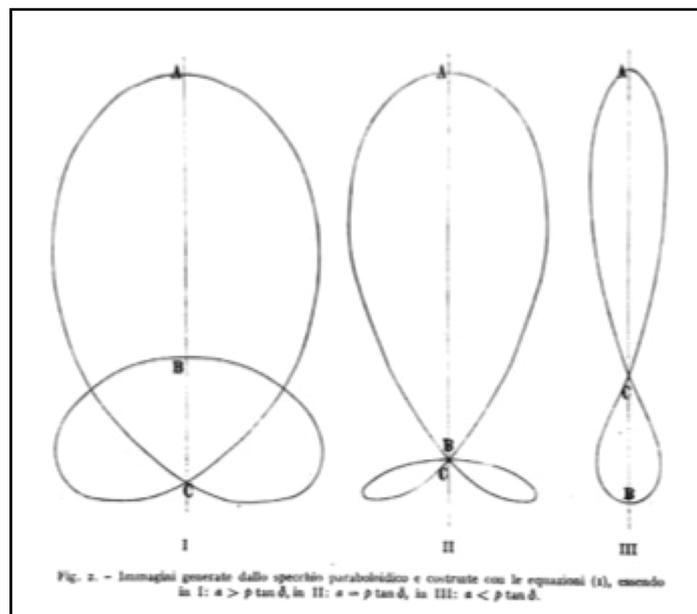


Figura 3.5: I tre casi di curve disegnate dal punto  $P_f$  a seconda di  $a \gtrless p \tan \delta$ .

La curva  $I$  è data da  $a > p \tan \delta$  e la distanza tra i punti  $A$  e  $C$  è maggiore di quella tra  $A$  e  $B$ ; la curva  $II$  è data da  $a = p \tan \delta$ , i cui punti  $B$  e  $C$  coincidono; nell'ultima curva si ha  $a < p \tan \delta$ , con la distanza tra  $A$  e  $C$  ora minore rispetto ad  $A$  e  $B$ . Prendendo ora come dati fissi  $p = 20000$  mm e  $\delta = 45^\circ$ , le curve  $I, II, III$ , saranno tali prendendo i valori:  $a_I = 87,1$  mm, curva  $U$ ;  $a_{II} = 261,81434$  mm, curva  $T$ ; e  $a_{III} = 500$  mm, curva  $S$ . L'insieme delle tre curve  $S, T, U$ , formanti l'immagine stellare, è schematizzato in Fig. 3.6. I valori di  $a$  furono scelti partendo dalla curva  $U$ , la più piccola, perché questa raggiunge con il suo punto  $V$  la distanza minima da  $F$ ; per valori inferiori di  $a$  le curve si trovano tutte interne alla  $U$ , mentre per valori superiori si trovano all'esterno ma il loro punto  $V$  è più distante da  $F$ . Il valore  $a_{II}$  della curva  $T$  è dato dalla coincidenza dei due punti  $B$  e  $C$ ; mentre l'ultima curva



pensò di correggere, in questo caso, l'aberrazione sferica, difetto non presente nel precedente specchio parabolico. Nei primi esperimenti la correzione avvenne andando a spostare ogni girone dello specchio in modo parallelo rispetto all'asse centrale (Fig. 3.7/I). In questo caso Horn corresse l'aberrazione sferica, ma solo quella trasversale, spostando i tasselli lateralmente, allontanandoli dall'asse ottico (Fig. 3.7/II).

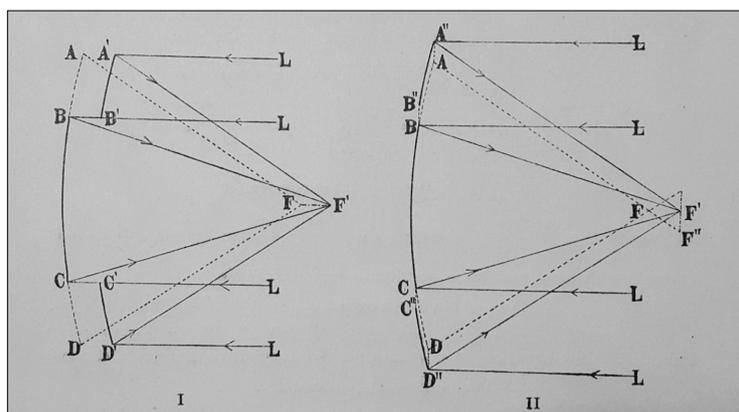


Figura 3.7: Correzione dell'aberrazione sferica utilizzata all'inizio (I); correzione dell'aberrazione utilizzata nello studio (II).

Fatte le correzioni, le equazioni parametriche della curva disegnata con lo specchio a tasselli si possono riscrivere considerando le seguenti variazioni: al raggio  $a$  bisognerà sommare una certa quantità  $A$  data dallo spostamento laterale dei tasselli ed a causa della curvatura sferica  $D$  diventa  $D_1 = -\frac{r}{2} + \sqrt{r^2 - a^2}$ , con  $r$  raggio dello specchio ed infine bisognerà sostituire  $p$  con  $\sqrt{r^2 - a^2}$ .

In questo caso possiamo allora riscrivere le equazioni parametriche come:

$$y_f = (a + A) \cos \alpha + D_1 \tan \delta - \frac{\frac{2D_1}{\cos \delta} (a \cos \alpha + \sqrt{r^2 - a^2} \tan \delta) (\sqrt{r^2 - a^2} \cos \delta - a \cos \alpha \sin \delta)}{2(\sqrt{r^2 - a^2} \cos \delta - a \cos \alpha \sin \delta)^2 - r^2 + 2(\sqrt{r^2 - a^2} \cos \delta - a \cos \alpha \sin \delta)N}$$

$$z_f = (a + A) \sin \alpha - \frac{\frac{2D_1}{\cos \delta} a \sin \alpha (\sqrt{r^2 - a^2} \cos \delta - a \cos \alpha \sin \delta)}{2(\sqrt{r^2 - a^2} \cos \delta - a \cos \alpha \sin \delta)^2 - r^2 + 2(\sqrt{r^2 - a^2} \cos \delta - a \cos \alpha \sin \delta)N}$$

con ora

$$N = \pm \sqrt{(r^2 - a^2)^2 (\tan^2 \delta - 1) + 2a \sqrt{r^2 - a^2} \cos \alpha \tan \delta + (\sqrt{r^2 - a^2} \cos \delta - a \cos \alpha \sin \delta)^2}$$

I quattordici punti presi precedentemente per la curva *S* dello specchio parabolico possono essere presi anche per la curva generata dallo specchio a tasselli.

Sulla curva *T*, Fig. 3.8, i punti sono segnalati con i pallini neri. La curva è molto simile a quella generata con lo specchio precedente e segnando con dei pallini vuoti i punti riferiti allo specchio parabolico si ottiene che in 6, 7, 10, 12 non ci sono differenze tra le curve dei due specchi, mentre il punto che si allontana di più tra le due curve si trova in 3 e corrisponde ad una distanza di 5 micron. Per completezza, sempre in Fig. 3.8, viene riportata la curva che si otterrebbe con uno specchio sferico, curva *S*.

Horn concluse l'articolo facendo notare che, se lo specchio a tasselli viene corretto dall'aberrazione sferica, le immagini prodotte sono praticamente uguali, in forma e dimensione, a quelle generate con il più classico specchio parabolico (considerando sempre la stessa inclinazione dei raggi pari a 45').

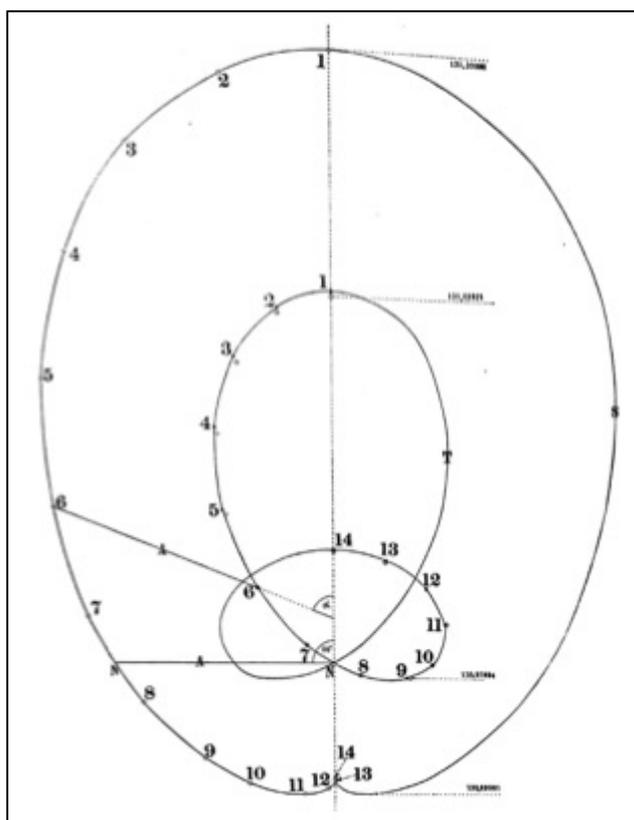


Figura 3.8: Curva T.

### 3.4 “Il cielo fotografato con lo specchio a tasselli”

Quando Horn ricevette i tasselli della ditta Filotecnica nel 1935 li utilizzò subito per effettuare immagini stellari. Gli studi fatti furono diffusi nello stesso anno da Horn. La pubblicazione avvenne su vari mezzi di comunicazione ad Horn disponibili: *Coelum*<sup>84</sup>, *Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico di Bologna*<sup>85</sup> e *Memorie della Società Astronomica Italiana*.<sup>86</sup>

Il primo oggetto astronomico sul quale si posizionò l'interesse dell'Astronomo fu la stella  $\varphi$  Herculis, una delle stelle che compongono la costellazione di Ercole, con magnitudine apparente pari a 4,3. Negli articoli l'astronomo descrisse i passaggi effettuati per ottenere l'immagine e soprattutto cercò di far capire la veridicità di quanto ottenuto.

La prima osservazione fu eseguita il 19 giugno 1935 e una seconda il 2 luglio dello stesso anno. I tasselli che Horn poté sfruttare in quei mesi erano soltanto 8, perché due specchietti presentavano raggi di curvatura difettosi e si trovavano a Milano per tale correzione. Pur utilizzando la stessa modalità di ripresa dell'immagine, a lastra fissa, l'astronomo fece notare che rilevando l'immagine stellare con tutti gli 8 tasselli contemporaneamente, oppure partendo con soli 2 tasselli e scoprendo gli altri 6 a due alla volta, il risultato ottenuto era sempre lo stesso, nell'immagine era sempre visibile una scia lasciata dalla stella in movimento sulla lastra immobile (Fig. 3.9). Il movimento della stella sulla lastra sensibile è di un millimetro ogni 1,8 secondi, dato dipendente dalla sua declinazione pari a  $\delta = 44^\circ 30'$  nel centro della lastra.



Figura 3.9: Strisce lasciate dalle stelle sulla lastra sensibile immobile.

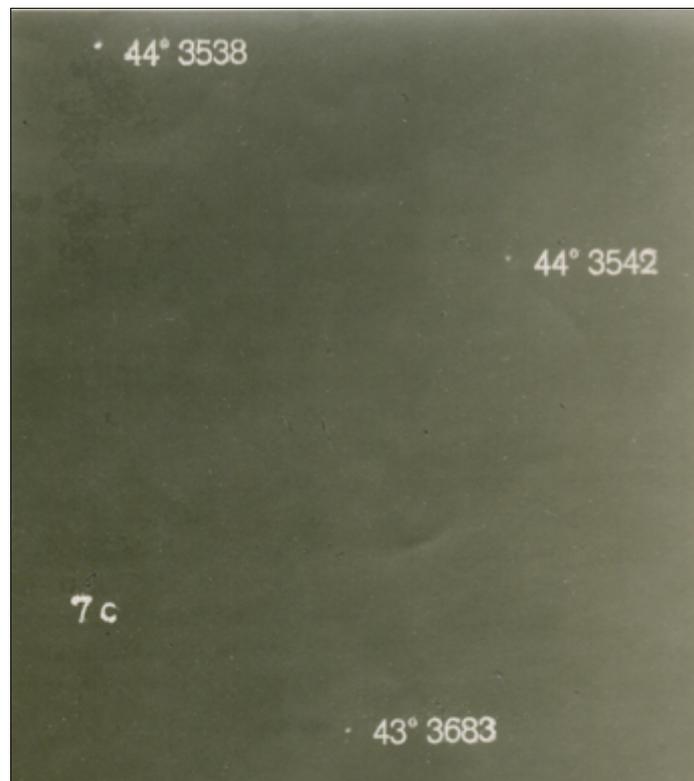
Una volta verificato che l'immagine era la stessa ottenuta con due o più tasselli fece un passo successivo, cioè cercò di fotografare non più la scia lasciata dalla stella ma l'immagine puntiforme, la stella vera e propria. Per ottenere questo tipo di immagine con i classici telescopi si segue l'oggetto con lo strumento, azione che

<sup>84</sup> G. Horn, *Il cielo fotografato con lo specchio a tasselli*, “Coelum”, 1935.

<sup>85</sup> G. Horn, *Primi esperimenti con lo specchio a tasselli*, “Pubblicazioni dell'Osservatorio Astronomico universitario di Bologna”, 1935.

<sup>86</sup> Ibidem.

qui non è possibile fare. Horn pensò che l'unica soluzione per l'inseguimento stellare fosse data dallo spostamento della lastra sensibile, facendola muovere alla stessa velocità della stella. Mise in pratica questa tecnica il 22 agosto 1935 e i risultati sono visibili in Fig. 3.10. La fotografia fu eseguita utilizzando una stella guida,  $\alpha$  Cygni, che non è visibile in fotografia ma che lo era costantemente nell'oculare e tenuta in mira da un astronomo amico di Horn, G. B. Lacchini, noto variabilista. L'immagine in questione si ottenne esponendo la lastra sensibile alla luce dei 10 tasselli per un tempo di posa di  $3^m35^s$ . Gli oggetti visibili in Fig. 3.10 sono solo tre ma quelli riconoscibili sulla lastra originale erano 12. Le stelle osservabili nell'immagine sono contrassegnate dal loro numero del catalogo Bonner Durchmusterung (BD). In Tab. 3.3 sono elencate tutte le stelle che erano visibili sulla lastra mobile.



*Figura 3.10: Immagine ottenuta con lo specchio a tasselli muovendo la lastra sensibile alla stessa velocità della stella allo zenit.*

I primi risultati erano sicuramente buoni, ma Horn ci tenne a concludere l'articolo su le "Memorie della Società Astronomica Italiana" prendendo coscienza che le immagini non fossero assolutamente puntiformi, ma che questo difetto fosse imputabile alla diversa lunghezza focale dei dieci tasselli ottenuti dalla ditta Filotecnica.

| STELLA  | GRANDEZZA |              |                | SPETTRO        | NOTE                              |
|---------|-----------|--------------|----------------|----------------|-----------------------------------|
| BD      | BD        | Harv.<br>Vis | Harv.<br>Phot. |                |                                   |
| 43°3683 | 8,1       | 8,2          | 8,2            | A <sub>0</sub> | La stella più bassa della Fig. 23 |
| 43°3684 | 9,1       |              |                |                |                                   |
| 43°3686 | 9,3       |              |                |                |                                   |
| 43°3688 | 9,4       |              |                |                |                                   |
| 43°3689 | 9,5       |              |                |                |                                   |
| 44°3538 | 8,1       | 8,2          | 8,2            | A <sub>0</sub> | La stella più alta della Fig. 23  |
| 44°3539 | 9,5       |              |                |                |                                   |
| 44°3542 | 8,9       | 9,1          | 9,1            | A <sub>0</sub> | La stella centrale della Fig. 23  |
| 44°3543 | 9,5       |              |                |                |                                   |
| 44°3544 | 9,2       |              |                |                |                                   |
| 44°3547 | 9,2       |              |                |                |                                   |
| 44°3548 | 9,5       |              |                |                |                                   |

Tabella 3.3

# Capitolo 4

## Il nuovo telescopio a tasselli

### 4.1 L'evoluzione del primo progetto

Nella primavera del 1945, alla conclusione della seconda guerra mondiale, Guido Horn d'Arturo poté ritornare alla sua vita, all'Università, ma soprattutto al suo telescopio a tasselli, lo strumento che era stato costretto ad abbandonare proprio nel momento in cui i risultati ottenuti con esso aprivano, sempre più, speranze a future applicazioni di questo nuovo genere di telescopi in campo astronomico. L'astronomo, in quegli anni di esilio, non abbandonò mai la convinzione che la successiva generazione di strumenti astronomici avrebbe sfruttato una tecnologia simile a quella impiegata nel suo prototipo, un telescopio formato da più specchi, abbandonando il classico specchio monolitico.

Al rientro in Torre Horn ritrovò i venti tasselli ottenuti precedentemente, per metà dalla ditta Filotecnica e per la restante parte dalla ditta Zeiss. Il progetto originale prevedeva però l'unione di ottanta tasselli formanti un cerchio, con diametro di 1,05 metri. Ogni tassello avrebbe contribuito a convogliare la radiazione luminosa captata dal cielo in un unico fuoco. Horn cercò di utilizzare i venti tasselli già presenti, nonostante mostrassero segni di un forte deterioramento a causa del tempo trascorso, e decise di costruire lui stesso, nell'officina dell'Osservatorio, gli altri sessanta pezzi. La levigazione e la smerigliatura dei tasselli riuscì grazie all'aiuto di un tecnico, Aldo Galazzi, già operante alla stazione Osservativa di Loiano<sup>87</sup> e che in quegli anni iniziava ad apprendere l'arte della lavorazione delle superfici riflettenti.<sup>88</sup> La scelta di adoperarsi in modo completamente indipendente all'elaborazione dei tasselli era legata a motivi principalmente economici. L'Istituto universitario

---

<sup>87</sup> ASAB, Ss, B 59, lettera 7.230, 23/09/1939.

<sup>88</sup> G. Horn d'Arturo, *Altri esperimenti con lo specchio a tasselli*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna", 1950.

bolognese di Astronomia, in quegli anni, disponeva di un bilancio annuale di 300.000 £ (tra i 6.000 e i 9.000 euro circa), un'entrata molto esigua che lasciava poco margine d'investimento.<sup>89</sup>

Nell'estate del 1946 il telescopio fu portato a compimento ma la celere lavorazione degli ultimi specchietti influi negativamente sul risultato finale. Proprio in questo momento Horn decise di apportare delle modifiche al progetto originale del 1932, variando forma e dimensione dei tasselli. L'astronomo passò dall'idea di uno specchio formato da tasselli trapezoidali, con area dei singoli pezzi pari a 1 decimetro quadrato, a specchietti con un'area esagonale e più grande, di circa 3,5 decimetri quadrati, uno spessore di 1 centimetro e doppio apotema pari a 20 centimetri (Fig. 4.1). Il materiale utilizzato per i diciannove nuovi pezzi era il comune vetro crown, grezzo; l'alluminatura fu eseguita dal Camillo Emilio Krüger dell'Osservatorio di Merate<sup>90</sup> mentre la lavorazione della sagoma esterna fu commissionata, tra la fine del 1947 e l'inizio del 1948,<sup>91</sup> ad una ditta fiorentina: la Società Anonima Italiana del Vetro d'Ottica (S.A.I.V.O.).<sup>92</sup> Il preciso lavoro di rifinitura esterna dei tasselli permise ad Horn di avvicinare molto tra di loro gli esagoni; essi distanziavano di soli 2 millimetri, una distanza quasi nulla se confrontata ai dieci che vi erano nel telescopio precedente.

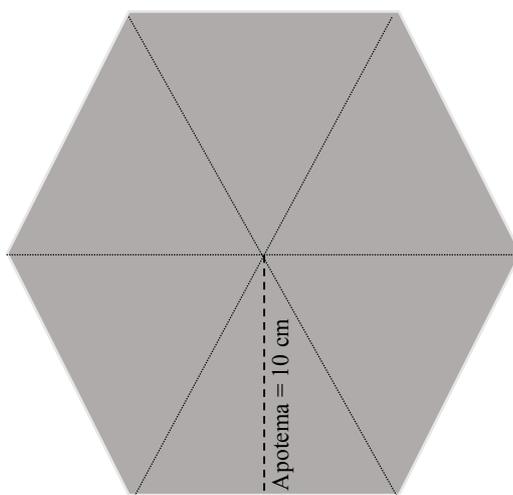


Figura 4.1: Forma esagonale dei nuovi tasselli.

I diciannove specchi vennero anch'essi posti su una lastra di marmo, traforata, in modo tale da fissare ogni tassello sul piano tramite i supporti a vite, utili ai fini dell'aggiustamento e

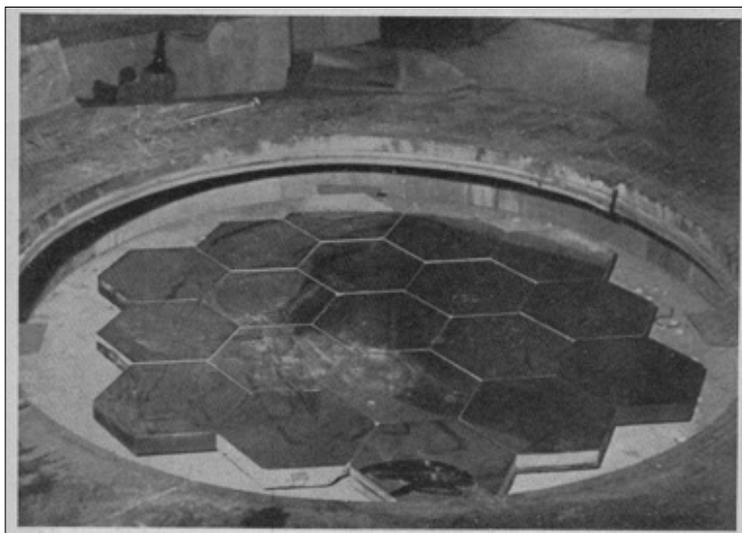
<sup>89</sup> A. Betti, *Studi astronomici a Bologna*, Emilia, II, settembre 1950.

<sup>90</sup> G. Horn d'Arturo, *Lo specchio a tasselli dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna*, "Coelum", 1952.

<sup>91</sup> ASAB, Ss, B 52, 10.65, 24/12/1947, Ivi 52.11, 15/01/1948.

<sup>92</sup> Ivi, 10.65, 24/12/1947.

orientamento dei singoli pezzi. La disposizione sulla lastra di marmo doveva formare vagamente la struttura di un cerchio, partendo da un esagono centrale e disponendo gli altri intorno ad esso (Fig. 4.2). Lo specchio fu inizialmente posizionato nella stanza ovale del vecchio circolo meridiano di Ertel, acquistato nel 1847 dall'allora direttore della Specola, Ignazio Calandrelli.



*Figura 4.2: Prima disposizione dei 19 tasselli nella stanza ovale del circolo meridiano di Ertel, sala della torretta.*

I nuovi tasselli, con area più ampia, furono levigati sempre da Horn e dall'ormai esperto tecnico Galazzi. La curvatura doveva essere anche per questi sferica, con un raggio di 20,82 metri e quindi una focale di 10,41 metri, valori uguali allo specchio precedente. La precisione delle curvature che ottennero fu molto buona, le differenze tra le distanze focali dei tasselli raggiungevano un valore massimo di soli 4 centimetri, inferiore anche al valore dei tasselli confezionati dalla Zeiss nel 1937, che era pari a 7 centimetri. Anche per questi tasselli Horn ne verificò e segnò la distanza focale di ognuno, utile per l'ottimizzazione dell'immagine finale (Tab. 4.1).

| Numero del tassello | Distanza focale teorica (cm) | Distanza focale effettiva (cm) | Differenza (cm) |
|---------------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| I                   | 1041                         | 1041,1                         | 0,1             |
| II                  | 1041                         | 1039,1                         | -1,9            |
| III                 | 1041                         | 1040,1                         | -0,9            |
| IV                  | 1041                         | 1042,1                         | 1,1             |
| V                   | 1041                         | 1042,1                         | 1,1             |
| VI                  | 1041                         | 1041,1                         | 0,1             |
| VII                 | 1041                         | 1041,1                         | 0,1             |
| VIII                | 1041                         | 1042,1                         | 1,1             |
| IX                  | 1041                         | 1043,1                         | 2,1             |
| X                   | 1041                         | 1041,1                         | 0,1             |

| Numero del tassello | Distanza focale teorica (cm) | Distanza focale effettiva (cm) | Differenza (cm) |
|---------------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| XI                  | 1041                         | 1039,1                         | -1,9            |
| XII                 | 1041                         | 1041,1                         | 0,1             |
| XIII                | 1041                         | 1042,1                         | 1,1             |
| XIV                 | 1041                         | 1041,1                         | 0,1             |
| XV                  | 1041                         | 1041,1                         | 0,1             |
| XVI                 | 1041                         | 1041,1                         | 0,1             |
| XVII                | 1041                         | 1039,1                         | -1,9            |
| XVIII               | 1041                         | 1041,1                         | 0,1             |
| XIX                 | 1041                         | 1039,1                         | -1,9            |
|                     |                              |                                |                 |

Tabella 4.1

Il confezionamento dei diciannove tasselli fu concluso nel febbraio del 1949.

Avendo anche i nuovi tasselli una curvatura sferica era necessario correggere l'aberrazione data da questa concavità per ottenere immagini più nitide. Come già visto per gli specchi trapezoidali, mantenendo i tasselli sullo stesso "piano", l'immagine riflessa sull'asse ottico dai vari gironi non coincideva in un fuoco comune ma essa era spostata, sempre più verso il basso dell'asse, causando deformazioni nell'immagine. La correzione dell'aberrazione di sfericità consisteva in un semplice innalzamento dei gironi rispetto all'esagono centrale, in modo tale da far coincidere le immagini di ciascun tassello sempre nello stesso punto, sempre in  $F'$  (Fig. 4.3). Lo spostamento dei gironi in altezza doveva essere quindi uguale al segmento  $FF'$ , in modo tale da far coincidere i due punti.

Ricordiamo che il valore dell'aberrazione di sfericit  si ricava dalla formula:

$$FF' = \frac{y^2}{8f}$$

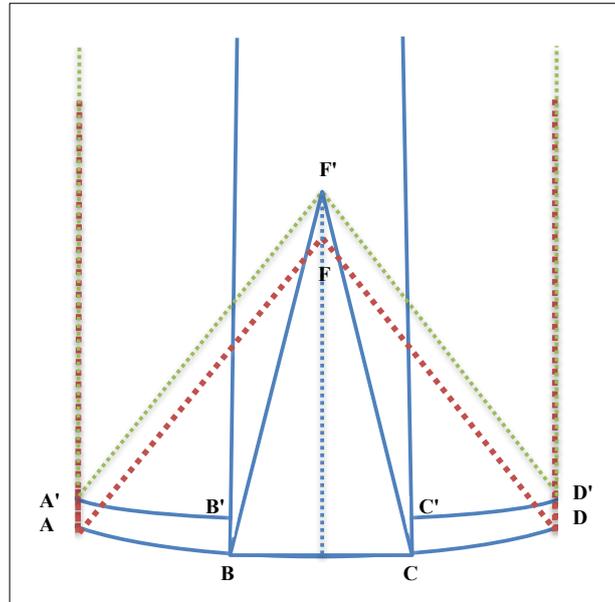


Figura 4.3: Cammino dei raggi luminosi senza la correzione dell'aberrazione sferica e con la correzione dell'aberrazione.

A differenza del primo specchio a tasselli costruito, lo spostamento dei gironi verso l'alto qui veniva attuato in due fasi, di cui una prima approssimativa e una seconda di precisione. La prima correzione veniva effettuata con l'aiuto di un braccio metallico, sotto il quale erano posti i pioli, di lunghezza prefissata e distanziati tra di loro di circa 20 centimetri, tale da posizionare ogni piolo su un tassello del girone. I tasselli venivano poi rialzati dal marmo, tramite le viti, fino a fargli toccare il piolo del braccio metallico. In un secondo momento veniva effettuata la correzione vera e propria, al millimetro, seguendo i valori dettati dai segmenti  $FF'$ .

I valori per i due gironi ed implicitamente la distanza di spostamento di ognuno di essi rispetto al tassello centrale, sono riassunti in Tab. 4.2.

| Girone            | Altezza del girone rispetto a quello interno |
|-------------------|--|
| Tassello centrale | 0,00 mm                                      |
| Primo girone      | 0,48 mm                                      |
| Secondo girone    | 1,44 mm                                      |

Tabella 4.2

Una volta corretta l'aberrazione di sfericità bisognava procedere con l'aggiustamento ottico dei tasselli. Per la nuova tipologia di specchi Horn pensò di effettuare un primo aggiustamento tramite un nuovo strumento, il calibro convesso, un disco rotondo di 23 centimetri di diametro avente la stessa curvatura dei tasselli ma di segno opposto. Il calibro veniva sovrapposto al tassello facendogli formare frange che dovevano essere uguali per tutti gli esagoni e quando sovrapposto tra tasselli dello stesso girone le mezze frange date da un tassello dovevano coincidere con le mezze frange dell'altro. Concluso questo accertamento, per ogni girone, era possibile passare all'aggiustamento ottico vero e proprio che veniva effettuato nello stesso identico modo già visto per il telescopio a tasselli trapezoidali, cioè dal piano focale.

Questa operazione di aggiustamento iniziava però ad essere sempre più problematica a causa della elevata posizione in altezza dello specchio rispetto al piano stradale, sul quale si faceva sempre più intenso il traffico cittadino. Il mercurio liquido dell'orizzonte artificiale risentiva delle oscillazioni della Torre, costringendo Horn e i collaboratori a preferire le ore notturne per effettuare la sistemazione dei tasselli. Andava certamente trovata una soluzione a questo nuovo problema creatosi, Horn sapeva che se l'aggiustamento dei tasselli si fosse fatto dal centro di curvatura di ogni girone, anziché dal piano focale, l'operazione sarebbe stata certamente più precisa e più rapida senza ricorrere all'uso dell'orizzonte artificiale. Posizionando la croce di fili illuminati nei vari centri di curvatura dei gironi sarebbe bastato osservare la sovrapposizione del reticolo illuminato con la sua immagine reale, tuttavia la posizione attuale dello specchio non consentiva tale semplificazione, il centro di curvatura era posizionato 10 metri più in alto del piano della terrazza e non vi era modo di arrivarci se non con un ingigantimento dell'opera muraria: «occorrerebbe una torre due volte più alta della distanza focale, ed invece dei due piani se ne avrebbero tre: il superiore per l'aggiustamento; il medio per la lastra sensibile, l'infimo per lo specchio».<sup>93</sup> Da queste parole si intuisce come Horn stesse già pensando ad un'alternativa, ad una soluzione, per un problema destinato a peggiorare con il passare del tempo.

Le modifiche che apportò Horn al nuovo specchio non erano solo inerenti ad esso, l'osservazione e l'acquisizione delle immagini stellari richiedeva un inseguimento costante dell'oggetto e avere una persona addetta alla mira di una stella guida iniziava ad essere dispendioso e poco redditizio. Fu così introdotto in quegli anni un motore che facesse muovere la lastra sensibile sul piano focale per rincorrere l'oggetto voluto. Per questa parte meccanica Horn si avvale della capacità del meccanico già operante nella stazione osservativa di Loiano, Irio Grassi, di cui l'astronomo aveva

---

<sup>93</sup> G. Horn d'Arturo, *Altri esperimenti con lo specchio a tasselli*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna" 1950.

grande fiducia. Egli elaborò un meccanismo di correzione automatica del moto collegato ad un motore elettrico, a corrente continua, alimentato da una batteria di 12v. In Fig. 4.4 viene riportato il prospetto dell'apparato motore.

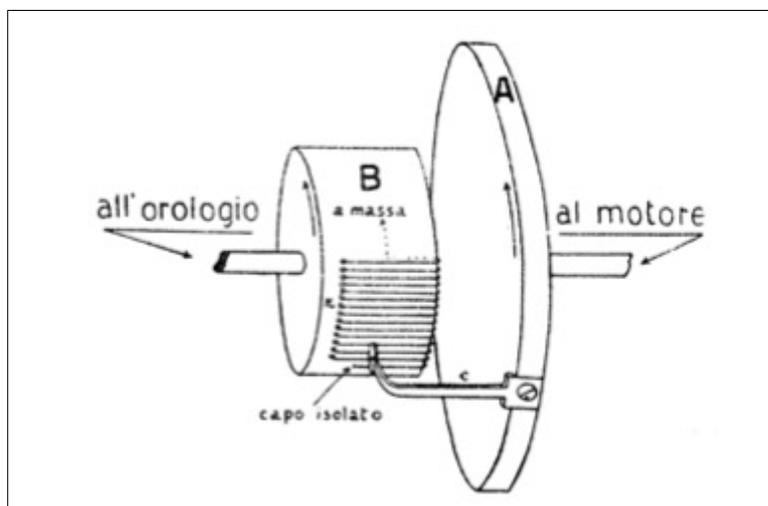


Figura 4.4: Apparato motore.

Sono rappresentati due dischi, *A* e *B*, paralleli, coassiali, ma con unico punto di connessione, un filo conduttore che parte da *A* e tocca una resistenza posta su *B*. Il disco *A* era collegato ad un motore tramite un meccanismo riduttore *R*, utile a sollecitare *A* per fargli compiere un giro in un minuto, ma la cui uniformità del movimento non era assicurata dal motore; il disco *B* veniva invece messo in moto da un orologio, compiendo anch'esso un giro in un minuto; il legame con l'orologio rendeva questo moto più preciso rispetto a quello del disco *A*. Il moto del disco *B* era quindi certo mentre quello di *A* bisognava che lo fosse almeno per 6 minuti e 15 secondi, durata di esposizione massima della lastra sensibile. Per ottenere ciò Grassi elaborò un meccanismo di correzione automatica, che consisteva nella sistemazione del moto di *A* rispetto a *B*. Se il disco *A* fosse stato più veloce di *B*, il conduttore *c* spostandosi sulla resistenza *r* poteva escludere una o più spire in modo tale da ritardarne il moto, oppure aumentare il numero delle spire per ottenere, al contrario, un'accelerazione del disco *A*. Lo schema del circuito è visibile in Fig. 4.5.

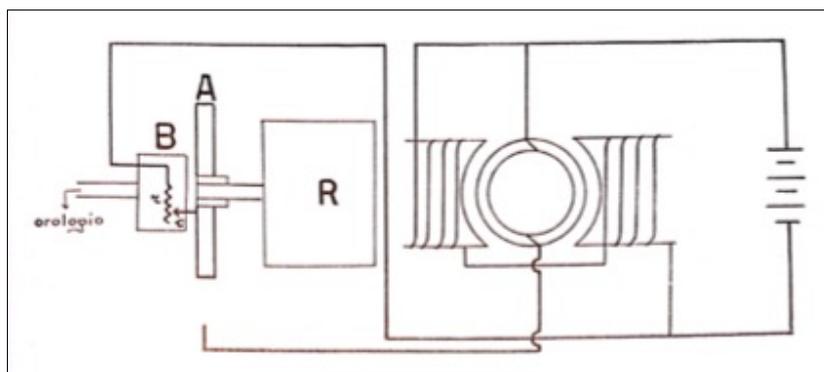


Figura 4.5: Circuito dell'apparato motore.

In riferimento a questo motore Horn scrisse: «La correzione automatica dispensa l'osservatore dalla schiavitù dell'attenzione continua».<sup>94</sup> Al giorno d'oggi può sembrare banale un simile motore, ma in quegli anni non lo era affatto. Horn era estremamente soddisfatto del lavoro di Grassi e la conferma della validità la ebbe successivamente con l'applicazione del motore nella fotografia: «La rotondità delle immagini stellari è un segno infallibile dell'uniformità del moto».<sup>95</sup> Il motore venne applicato al porta lastra sul piano focale, in cima al pozzo sopra gli specchi (Fig. 4.6).

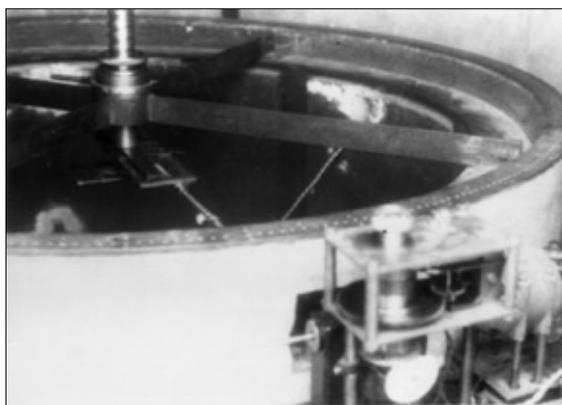


Figura 4.6: Piano focale su cui è applicato il primo motore per l'inseguimento stellare.

Vista l'immobilità dello specchio Horn disse: «la lastra non viene guidata come nei telescopi ordinari, ma affidata al motore per tutta la durata della posa».<sup>96</sup> Parte di un motore di questo tipo è stato rinvenuto recentemente nell'Officina del Dipartimento di Astronomia (Fig. 4.7 a/b), anche se non siamo sicuri si tratti proprio di quello realizzato da Grassi.

<sup>94</sup> Ibidem.

<sup>95</sup> Ibidem.

<sup>96</sup> G. Horn d'Arturo, *Comunicazione sullo specchio a tasselli letta alla radio di Bologna il giorno 16 aprile 1950*, "Coelum", 1950.

Appena riprese il lavoro, Horn apportò numerose novità al progetto iniziale e le sperimentazioni gli davano sempre maggiori conferme della solidità delle sue teorie.



Figura 4.7a



Figura 4.7b

L'introduzione delle novità ed i progressi raggiunti fecero sì che tutto il progetto si proiettasse verso qualcosa di ancora più importante. Horn iniziava a necessitare di una struttura più adeguata per ospitare il nuovo telescopio. Il problema principale restava quello delle risorse economiche universitarie troppo basse per permettere un'attività di ricerca adeguata al terzo centro osservativo nazionale più importante.

Infine la mancanza di fondi si ripercosse anche sulla qualità del materiale che egli stesso poté usare per il telescopio a tasselli. Il vetro, le viti e la lastra di marmo, in realtà, avrebbero dovuto essere create utilizzando altri materiali, i migliori: pyrex, invar e porcellana, rispettivamente.<sup>97</sup> Materiali di qualità avrebbero portato a risultati ancora migliori.

---

<sup>97</sup> G. Horn d'Arturo, *Altri esperimenti con lo specchio a tasselli*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna", 1950.

## 4.2 Le modifiche nella Torre della Specola

Il 1950 fu sicuramente un anno rilevante per l'attività di Horn, la realizzazione di qualcosa di grande e di ancora visibile ai nostri giorni fu realizzato proprio in quell'anno.

Facciamo però un passo indietro, nel 1949, per capire cosa portò a tale prestigiosa notazione. Horn si trovava in una fase di intensa produttività con 19 nuovi tasselli esagonali e gran parte dei problemi ottici risolti. L'aberrazione di sfericità era stata facilmente corretta con l'antico metodo (ved. Cap. 3.), le curvature dei tasselli anche se non tutte perfettamente uniformi non gravavano pesantemente sull'effetto finale delle immagini ed infine l'inseguimento stellare era facilitato dall'introduzione del nuovo motore. Nonostante ciò un altro problema si era presentato e necessitava di una soluzione: l'aggiustamento ottico dei tasselli era sempre più difficoltoso tramite l'orizzonte artificiale e l'unico modo per non utilizzarlo era quello di effettuare l'aggiustamento dal centro di curvatura, operazione momentaneamente impossibile viste le condizioni strutturali della Torre. L'astronomo cominciò a meditare su come perfezionare lo strumento che andava via via formandosi, per utilizzare al meglio le sue potenzialità. La Torre che l'ospitava non era adatta per la costruzione di un'opera muraria oltre il piano della terrazza, ma, dalla parte opposta, la parte inferiore al piano del telescopio, c'era sì margine di spostamento. La posizione perfetta sarebbe stata almeno dieci metri più in basso, cioè spostando lo specchio qualche piano più in giù. In questo modo ci sarebbe stato ugualmente un piano inferiore dove posizionare lo specchio, un livello per il piano focale ed infine un ultimo livello coincidente con il centro di curvatura del telescopio. La profondità di questo pozzo non era presente all'interno della Torre, i piani erano decisamente più bassi, ma il lungimirante Horn pensò di far forare i vari piani per poter sistemare il telescopio, sempre all'interno della Torre, ma all'altezza giusta per poter lavorare nel modo più consono possibile. Qualcosa però rendeva ciò ancora lontano dalla messa in pratica, il fulcro intorno al quale Horn continuava a girare senza trovare soluzione era la mancanza di fondi per compiere le sue opere. Il limite economico rendeva qualsiasi realizzazione, qualsiasi progetto, un miraggio più che una naturale e concreta attuazione. L'undici luglio del 1949 Horn chiese, inutilmente, aiuto economico al Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) a Roma.<sup>98</sup> L'astronomo aveva bisogno di 5.000.000 £ (circa 84.000 euro) per la realizzazione di un nuovo telescopio, egli voleva costruirne uno con diametro di 2,60 metri ed un fuoco posizionato ad un'altezza di 17. Nel 1950 la ricerca di un sostegno economico si estese fino al Consiglio superiore dei

---

<sup>98</sup> ASAB, Ss, B 52.15.2, 11/07/1949.

Lavori pubblici.<sup>99</sup> In quell'anno il Presidente del Consiglio superiore di quell'ufficio, in Roma, l'ingegnere Marco Visentini, concesse ad Horn un'ingente somma per l'inizio della ristrutturazione. Il prospetto dei lavori da effettuare presentato al Genio Civile era però stato rivisitato dall'astronomo, egli gli propose uno specchio con un'apertura di 1,80 metri, da posizionare in un'ala della Torretta, nella quale andavano fatti importanti lavori di ristrutturazione. La spesa preventivata era di 2.800.000 £ e l'ufficio delle Opere Pubbliche era disponibile ad investire 2.000.000 £, cioè a ricoprire tutte le spese per le opere murarie e meccaniche.<sup>100</sup> Mancavano però ancora 800.000 £ per l'ottimizzazione della parte ottica. La cifra gentilmente chiesta l'anno prima al CNR era molto superiore ed Horn decise di riformulare la proposta al Centro Nazionale delle Ricerche specificandone le ulteriori modifiche al progetto e gli aggiornamenti sul totale della spesa che avrebbe dovuto sostenere.<sup>101</sup> Nonostante uno scambio di chiarimenti, sullo strumento e sugli esperimenti da fare con esso, Horn si ritrovò a fare la stessa identica richiesta nel maggio del 1952.<sup>102</sup>

Nel 1950 mancava ancora la totale disponibilità economica ma i lavori più lunghi di rifacimento della Torre poterono essere avviati e già a settembre dello stesso anno sul giornale *Emilia* venne pubblicato un articolo<sup>103</sup> sul telescopio che si stava costruendo all'Osservatorio di Bologna e nelle fotografie era presente una prima testimonianza della perforazione della Torre (Fig. 4.8).

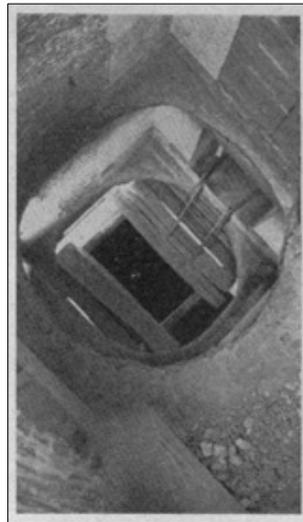


Figura 4.8: Lavori in corso per la perforazione della Torre, da Emilia.

<sup>99</sup> ASAB, Ss, B 57.1.17, 01/03/1950.

<sup>100</sup> ASAB, Ss, B 57.1.53, 30/05/1950.

<sup>101</sup> Ibidem.

<sup>102</sup> ASAB, Ss, B 57.5.34, 12/05/1952.

<sup>103</sup> A. Betti, *Studi astronomici a Bologna*, 1950, Emilia II, settembre 1950.

Il progetto del pozzo per il telescopio a tasselli consisteva dunque in una perforazione di ben quattro piani nell'ala della Torre, appena sotto la stanza ovale del circolo meridiano di Ertel, per ottenere, ora, il centro di curvatura all'ultimo piano ed effettuare l'aggiustamento dei tasselli in modo più agevole da esso. In Fig. 4.9 è rappresentato lo spaccato della Torre con le nuove posizioni dei punti importanti per la regolazione dello specchio a tasselli e le piantine dei piani perforati con diametri sempre maggiori spostandosi verso l'alto. Il piano più basso che venne modificato fu quello della Direzione (attuale IV piano della torre). Proprio su quel pavimento venne posto il marmo *MM* sul quale erano fissati gli specchi ed una novità fu quella di creare una vera e propria stanzetta al di sotto di esso in modo tale da poter lavorare agevolmente alle viti. Il primo piano perforato per la creazione del pozzo fu invece quello degli astronomi aggiunto seguito poi da quello dell'officina. A questo livello cadeva il piano focale del telescopio, *F*, importante piano di lavoro per le operazioni di rilevazione immagini (Fig. 4.10). La perforazione dei piani superiori continuò fin sulla terrazza, dove a 20,82 metri di altezza dal tassello centrale cadeva il centro di curvatura dello specchio. Essendo questo poco più alto del piano della terrazza veniva utilizzata una scaletta girevole *S* per arrivare agevolmente al punto *C* e poter effettuare l'aggiustamento dei tasselli dal centro di curvatura; *S* veniva poi adagiata alla parete quando non più necessaria. In Fig. 4.11 è visibile la scaletta utilizzata dal tecnico Galazzi, il centro di curvatura *C* è posizionato esattamente nell'incrocio di fili. Sopra *C* fu infine costruita una cupola *TT*, ribaltabile lateralmente per le osservazioni.<sup>104</sup>

Le piante originali e alcuni disegni esecutivi degli importanti lavori di ristrutturazione eseguiti dal Genio Civile sull'antica Torre della Specola sono state recentemente ritrovate e riordinate in Archivio (Fig. 4.9 e 4.12). In esse è rappresentato lo spaccato del pozzo e la cupola ribaltabile, come stampate sulle *Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna*.

---

<sup>104</sup> G. Horn d'Arturo, *L'aggiustamento dello specchio a tasselli effettuato dal centro di curvatura*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna", 1952.

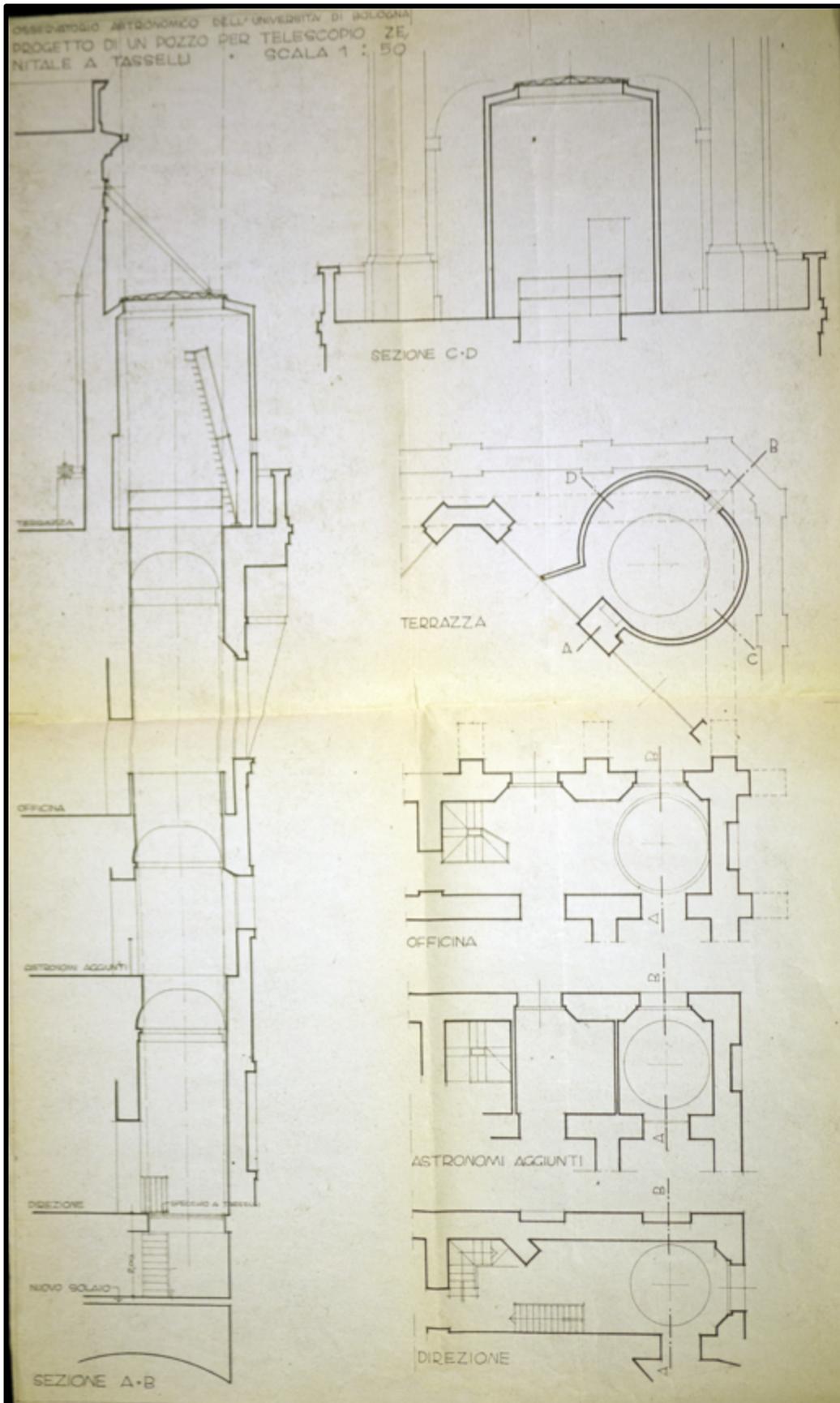
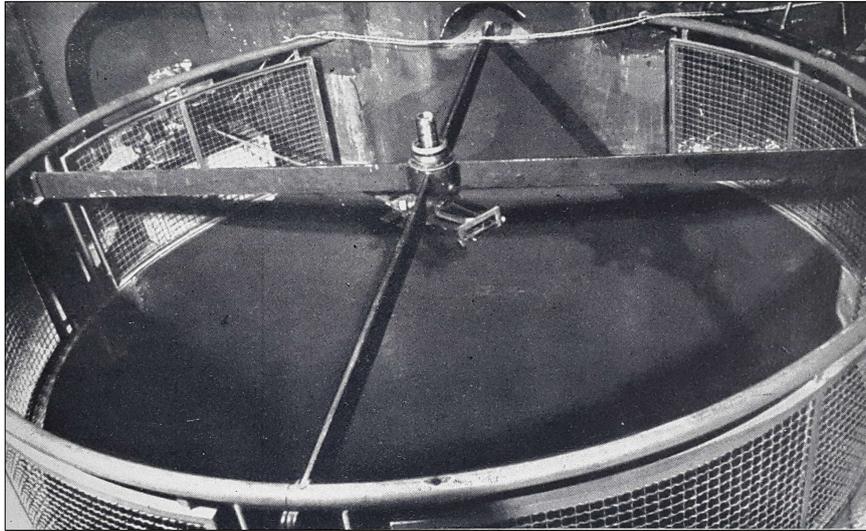
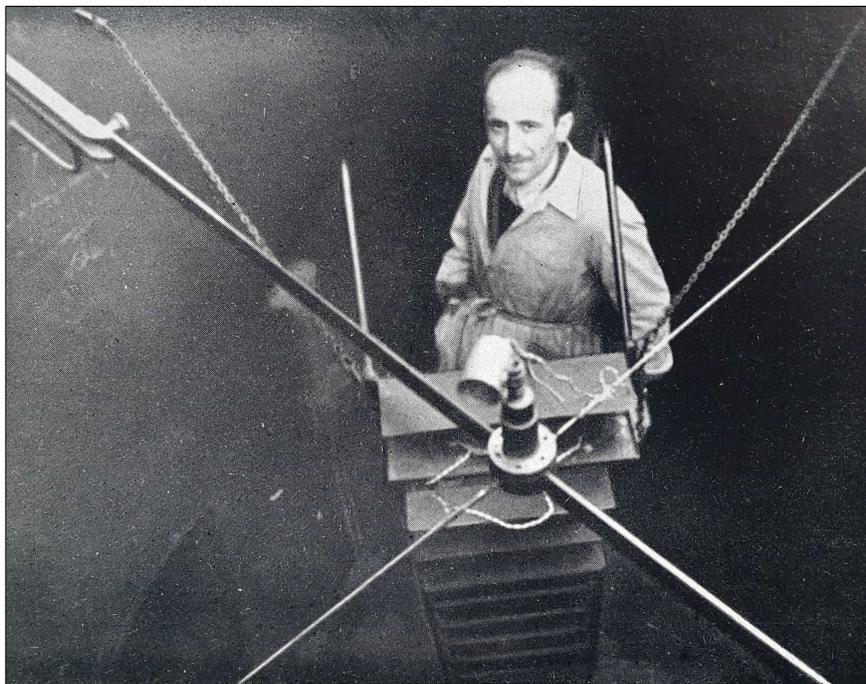


Figura 4.9: Disegno esecutivo del pozzo per telescopio zenitale a tasselli.<sup>105</sup>

<sup>105</sup> ASAB, FH 5.3.1.



*Figura 4.10: nuovo piano focale con porta lastra*



*Figura 4.11: Il tecnico Galazzi all'opera nel centro di curvatura dello specchio a tasselli*

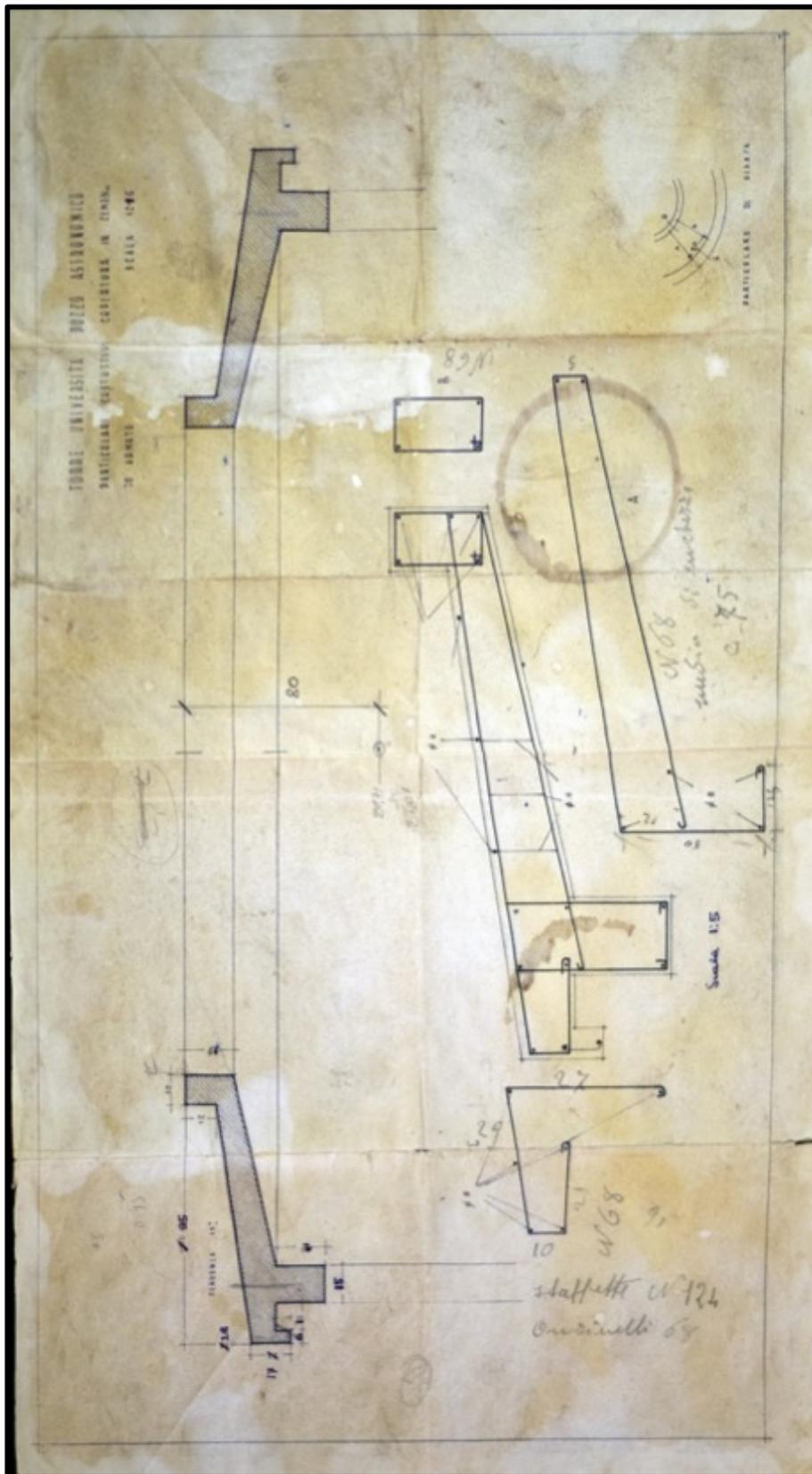


Figura 4.12: Disegno esecutivo della cupola per la copertura del pozzo del telescopio.<sup>106</sup>

<sup>106</sup> ASAB, FH 5.3.3.

### 4.3 Ampliamento dello specchio e nuovo aggiustamento ottico effettuato dal centro di curvatura

Una volta effettuati i lavori per la nuova postazione dello specchio, Horn decise che era arrivato il momento di incrementare il numero dei tasselli utilizzati, agendo sempre in base a ciò che i fondi gli permettevano di fare. Nel 1951 riuscì ad ampliare lo specchio con altri 18 tasselli esagonali, arrivando ad un diametro di 1,40 metri. Il lavoro fu sempre eseguito in economia, comprando i tasselli di vetro grezzi, facendoli smerigliare esternamente dalla ditta S.A.I.V.O., alluminare dal Prof. Krüger e levigandoli poi nell'officina dell'Osservatorio. Molto rilevante fu ancora il lavoro di Galazzi unito a quello del nuovo tecnico Romeo Grandi. Insieme riuscirono a perfezionare gli specchi fino ad ottenere una differenza tra le distanze focali di due tasselli mai superiore ai 20 mm (Tab. 4.3), considerando come valore medio la focale del tassello XXXVI ed indicata in tabella pari a zero millimetri.

| Numero del tassello | Differenza tra distanza focale del tassello e quella del tassello di riferimento (mm) | Numero del tassello | Differenza tra distanza focale del tassello e quella del tassello di riferimento (mm) | Numero del tassello | Differenza tra distanza focale del tassello e quella del tassello di riferimento (mm) |
|---------------------|---|---------------------|---|---------------------|---|
| I                   | - 7,8   | XIV                 | - 0,3   | XXVII               | + 2,2   |
| II                  | + 2,2   | XV                  | + 2,2   | XXVIII              | + 7,2   |
| III                 | + 7,2   | XVI                 | - 0,3   | XXIX                | - 12,8  |
| IV                  | + 2,2   | XVII                | - 0,3   | XXX                 | - 0,3   |
| V                   | + 2,2   | XVIII               | - 3,8   | XXXI                | + 7,2   |
| VI                  | - 2,8   | XIX                 | - 2,8   | XXXII               | + 7,2   |
| VII                 | - 2,8   | XX                  | - 7,8   | XXXIII              | + 2,8   |
| VIII                | + 2,2   | XXI                 | - 0,3   | XXXIV               | + 2,2   |
| IX                  | + 7,2   | XXII                | + 2,2   | XXXV                | - 12,8  |
| X                   | + 2,2   | XXIII               | - 0,3   | XXXVI               | 0,0   |
| XI                  | + 7,2   | XXIV                | + 7,2   | XXXVII              | - 2,8   |
| XII                 | + 7,2   | XXV                 | + 7,2   |                     |   |
| XIII                | + 4,7   | XXVI                | - 12,8  |                     |   |

Tabella 4.3

Una tale differenza tra le focali significava una non linearità del centro di curvatura che poteva quindi raggiungere i quaranta mm di differenza tra due tasselli. Tale incongruenza delle misure si sarebbe risolta lavorando alla perfezione gli esagoni, ma questa era un'opera fattibile solo da grandi ditte ottiche, ad esempio la Zeiss, e non per dei semplici tecnici operanti "in casa" con i pochi strumenti e macchinari a disposizione. Riuscire nell'impresa dell'ottenimento di tasselli con raggi di curvatura e focale voluta, avrebbe dato la possibilità di operare anche diversamente per la correzione dell'aberrazione di sfericità. Horn pensò che riuscendo a fare tasselli con focali senza errori, al millimetro, si sarebbero potuti sistemare i gironi, partendo dal centro, a focale crescente, in modo tale da far assomigliare la curvatura dello specchio ad un paraboloide più che ad una sfera, evitando così i gradini tra un girone e l'altro.<sup>107</sup> Non abbiamo però nulla che ci testimoni una prova fatta con questo metodo, probabilmente perché la perfezione richiesta non venne raggiunta e ciò ne compromise la realizzazione.

La correzione dell'aberrazione di sfericità continuò con l'antico metodo.

I gironi aumentarono a tre e lo spostamento in altezza di ogni "anello", utile alla correzione dell'aberrazione di sfericità, è riportata in Tab. 4.4.

| <b>Girone</b>   | <b>Altezza del girone rispetto a quello interno</b> |
|---|---|
| Tassello centrale   | 0,00 mm   |
| Primo girone 6 tasselli   | 0,48 mm   |
| Secondo girone 12 tasselli  | 1,44 mm   |
| Terzo girone 18 tasselli  | 2,40 mm   |
| Quarto girone (aggiunto nell'estate del 1952, formato da 24 tasselli) | 3,36 mm   |

Tabella 4.4

Il centro di curvatura del telescopio si trovava quindi all'ultimo piano della Torre, in terrazza, ricoperto da una cupola, da dove ora si faceva l'operazione di aggiustamento dei tasselli. In *C* venne fissata una croce di fili, illuminati e, sopra l'incrocio, un oculare. L'operazione veniva fatta osservando nell'oculare l'immagine riflessa da uno dei 37 tasselli cercando di capire se

<sup>107</sup> G. Horn d'Arturo, *L'aggiustamento dello specchio a tasselli effettuato dal centro di curvatura*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna", 1952; Idem, *Lo specchio a tasselli di m 1,80 d'apertura collocato nella Torre dell'osservatorio universitario di Bologna*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna", 1955.

questa coincideva con i fili componenti la croce vera e propria. Nel caso non fosse stato così bisognava agire sulle viti poste al di sotto del tassello per ottenere la sovrapposizione delle due immagini. Anche i supporti a vite dei nuovi tasselli furono modificati e le nuove viti micrometriche vennero progettate minuziosamente come testimoniano sempre alcuni dei disegni esecutivi ritrovati (Fig. 4.13). I tre supporti a vite micrometrica erano ora diversi tra di loro, uno di questi doveva essere posto nelle vicinanze del centro dell'esagono e una volta fissato non si sarebbe più modificato. Gli altri due servivano invece per l'aggiustamento del tassello.<sup>108</sup>

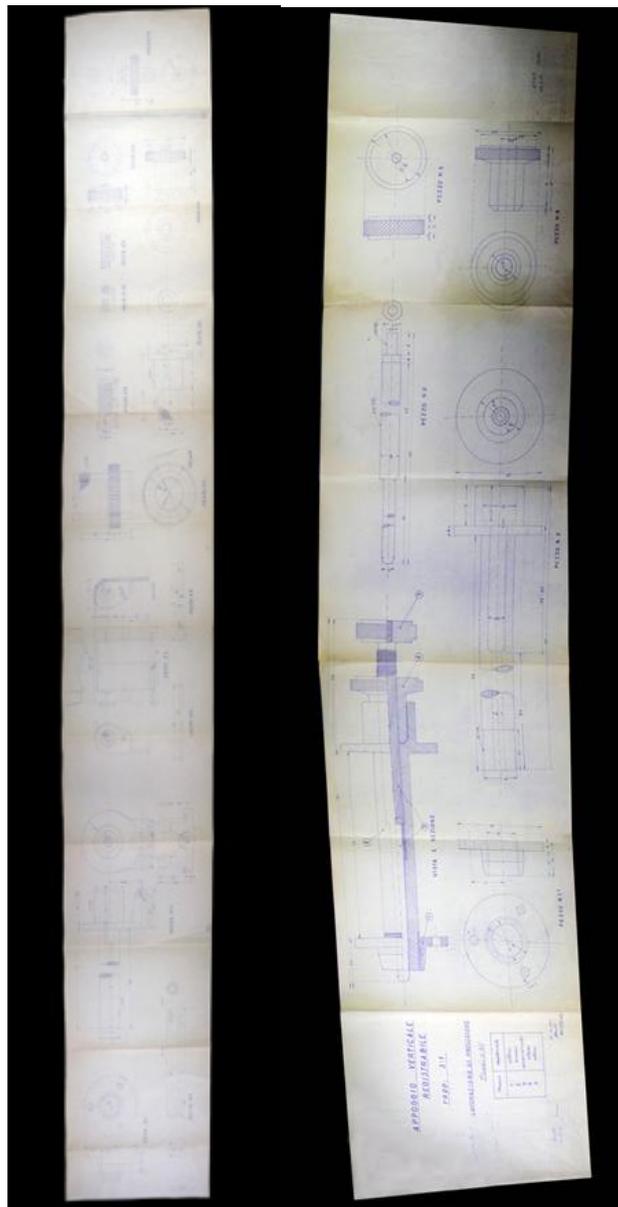


Figura 4.13:Disegni esecutivi delle viti micrometriche.<sup>109</sup>

<sup>108</sup> Ibidem.

<sup>109</sup> ASAB, FH 5.3.

Grazie al nuovo aggiustamento dal centro di curvatura Horn disse: «sembra incredibile la precisione raggiungibile nell'aggiustamento [...] le immagini sono rotondissime»<sup>110</sup> La stessa operazione doveva poi essere fatta per i restanti 36 tasselli, considerandone sempre uno alla volta. La possibilità di lavorare dal centro di curvatura degli specchi fece sì che l'orizzonte artificiale non venisse più usato pur mantenendo la precisione del vecchio metodo e guadagnando tempo nell'aggiustamento. L'operazione di aggiustamento che prima richiedeva un impegno superiore alle tre ore, adesso poteva essere conclusa in meno di un'ora, per tutti i tasselli, se a compierla erano due persone affiatate, una posta al piano sotto lo specchio, per manovrare le viti e l'altra sulla scaletta *S* e con l'occhio in *C*. L'ultimo girone composto da 24 tasselli fu posto sulla lastra di marmo nell'estate del 1952,<sup>111</sup> il telescopio era ora ultimato.

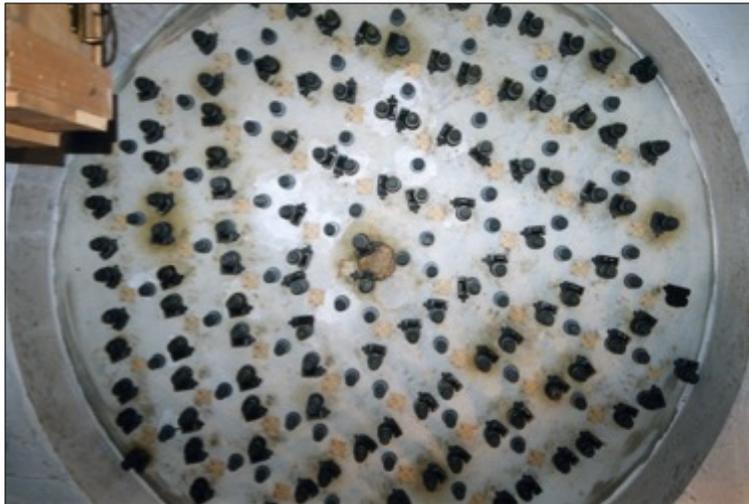
Horn si rese conto della fortuna avuta, cioè della possibilità di modificare la Torre per abbassare il livello dello specchio. I lavori compiuti in quella struttura, alta complessivamente 46,8 m sul livello della strada, non sarebbero stati possibili ovunque e l'utilizzo dell'orizzonte artificiale per la sistemazione degli specchi richiedeva sempre più tempo e incontrava difficoltà sempre maggiori. Nel 1952 l'astronomo pensò anche ad una soluzione per questi casi: «Ho già un'idea di come si potrebbe ovviare a quest'inconveniente col soccorso di un piccolo specchio ausiliario guardante lo specchio a tasselli, anch'esso in giacitura orizzontale: esso rifletterebbe la luce sotto il marmo nel vano lasciato libero dal tassello centrale come nella montatura di Cassegrain; qui però lo specchio ausiliario sarebbe piano; [...]. Basterebbe che lo specchio ausiliario avesse un'area ristretta e sufficiente a ricevere contemporaneamente la luce riflessa da quattro tasselli soltanto: aggiustati i primi tre per altra via [...] e prendendo le mosse da questi tre, si collocherebbe esattamente nel piano focale lo specchio ausiliario; dopo di ciò si procederebbe all'aggiustamento di un quarto tassello e così via, uno dopo l'altro [...]».<sup>112</sup> Horn riprese quindi in considerazione la sistemazione dei tasselli dal piano focale con questo nuovo metodo che non applicò nei risultati ufficiali ma che sperimentò. Ancora oggi è visibile al di sotto dello specchio il foro centrale del marmo posto al di sotto del tassello centrale (Fig. 4.14 a/b). Tra i vari oggetti utilizzati in quegli anni, esposti nel Museo della Specola, vi è anche uno specchietto piano ausiliario (Fig. 4.15), che riteniamo possa essere quello originale.

---

<sup>110</sup> G. Horn d'Arturo, *Lo specchio a tasselli dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna*, "Coelum", 1952.

<sup>111</sup> G. Horn d'Arturo, *Il compiuto specchio a tasselli di 1,80 d'apertura collocato nella Torre dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna*, "Coelum", 1955.

<sup>112</sup> G. Horn d'Arturo, *L'aggiustamento dello specchio a tasselli effettuato dal centro di curvatura*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna", 1952.



*Figura 4.14a: Piano del marmo sotto lo specchio a tasselli con supporti a vite in vista.*



*Figura 4.14b: Piano del marmo sotto lo specchio a tasselli, il foro corrisponde alla posizione del tassello centrale.*



*Figura 4.15: Specchio piano esposto al Museo della Specola.*

Nella nuova postazione del piano focale venne poi introdotto un nuovo regolatore automatico per il moto della lastra, ideato dall'ing. Giorgio Tabarroni. Egli apportò delle modifiche ai

collegamenti tra resistenza e motore e quest'ultimo fu sostituito con uno più potente per conferire «la massima sensibilità alla regolazione nei confronti della velocità».<sup>113</sup>

In Fig. 4.16 è fotografato l'astronomo davanti allo specchio a tasselli completo di tutti gli esagoni, pronto per essere messo in uso.



Figura 4.16: Guido Horn d'Arturo davanti allo specchio del telescopio a tasselli.

---

<sup>113</sup> G. Tabarroni, *Il regolatore automatico del moto della lastra nel piano focale dello specchio a tasselli*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna", 1955.

#### 4.4 Prime diffusioni internazionali dell'idea di Horn

La notizia degli sviluppi che Horn stava apportando alla Torre, per ospitare il telescopio di 1,80 metri di apertura, iniziò ad espandersi nella comunità scientifica e la testimonianza principale è racchiusa nell'articolo pubblicato nel 1951 su *Scientific American* scritto da Albert Graham Ingalls, uno dei curatori della nota rivista, esperto in strumentazione astronomica.<sup>114</sup> Egli descrisse dettagliatamente il lavoro che Horn stava erigendo nell'antico Osservatorio Bolognese partendo però dal lontano 1932. L'autore non si limitò ad esporre il progresso che stava avvenendo, in quel momento, nel ricco laboratorio di idee "horniane", ma cercò di delineare tutto il percorso fatto dall'astronomo fino ad allora. L'articolo iniziava descrivendo le novità più rinomate in tema di costruzioni di telescopi, esaminando sempre progetti monolitici ed inserendo il lavoro di Horn in alternativa a questi, proprio perché diverso da tutti gli altri. L'idea di Horn venne vista come una soluzione ai problemi che gli altri telescopi invece presentavano, senza dimenticare la convenienza, in termini economici, data da questo nuovo strumento. Ingalls procedette poi riportando tutti i passi più importanti fatti dall'astronomo per la costruzione del telescopio a tasselli completandone la descrizione con disegni esaustivi (Fig. 4.17).

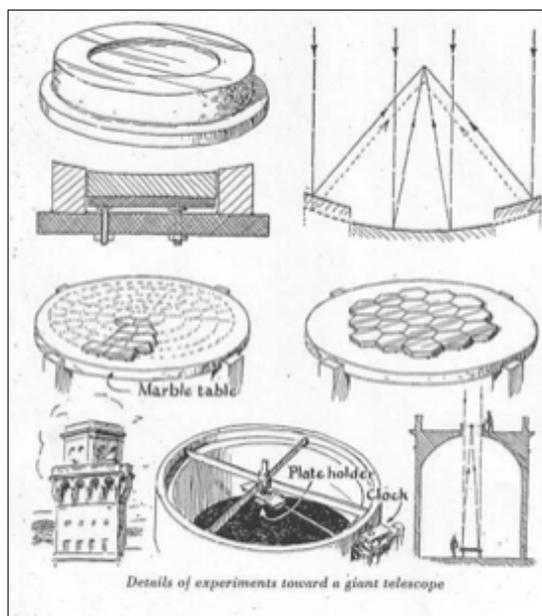


Figura 4.17: Riproduzioni fatte da Ingalls sul giornale *the Amateur Astronomer*.

<sup>114</sup> A. G. Ingalls, *The amateur astronomer*, "Scientific American", 1, 1951.

Dalla pubblicazione si comprende che Ingalls aveva seguito la storia del telescopio a tasselli fin dai primi anni in cui esso veniva sperimentato nell'antica torre bolognese. Riguardo a questo articolo Horn si esprime così: «Il solo che mostri fuori d'Italia d'essersi accorto del nostro lavoro oramai ventennale e l'abbia rilevato in un minuzioso articolo apparso nello *Scientific American* (gennaio 1951) è il Sig. A. G. Ingalls ben noto autore dell'opera *Amateur telescope making*. La descrizione non poteva essere più accurata: essa è illustrata da molti disegni riproducenti tutte le figure stampate in queste *Pubblicazioni* e nel *Coelum*; vi sono citate anche le ricerche teoriche che precedettero ed accompagnarono l'effettuazione materiale dell'idea».<sup>115</sup> L'articolo internazionale sul suo lavoro era qualcosa che Horn probabilmente aspettava da tempo, qualcuno iniziava a rendersi conto che la sua idea era concreta, valida e sempre più realistica, qualcuno iniziava a rendersi conto che il futuro degli strumenti astronomici era in quella direzione. L'astronomo cercò di sfruttare il privilegio di essere stato nominato dalla rivista americana per racimolare altri fondi per il suo telescopio. In una delle varie richieste di aiuto per concludere il progetto vi è anche quella fatta a Guido Bacchelli, un membro della deputazione provinciale di Bologna. Ad egli scrisse: «La minuta recensione, fatta sullo *Scientific American* dal Sig. Ingalls di N. York e concernente i lavori da me pubblicati su quest'argomento dal 1935, mostra che fuori d'Italia il mio tentativo è stato giudicato degno di qualche considerazione».<sup>116</sup>

L'ambiente italiano era invece maldisposto nei confronti dell'esperimento che l'astronomo stava mettendo in pratica nella città emiliana. Nel 1952 Horn iniziò ad esporre i primi risultati ottenuti con il nuovo specchio, formato ancora da soli 37 tasselli, questi erano incoraggianti: «L'unicità e la rotondità delle immagini fino al bordo della lastra, e l'avanzato grado di grandezza stellare che riesce ancora a vincere la sensibilità della gelatina, ha fatto ricredere più d'uno che prima dubitava della possibilità d'apprestare superficie non contigue, gareggianti con le monojaliche: tuttavia lo scetticismo informa ancora l'opinione pubblica di innumerevoli riluttanti, che giudicano senza avere veduto».<sup>117</sup> Dopo tre anni, a lavori conclusi, Horn riprese l'argomento cercando di dimostrare che i restii alla novità erano in torto, il suo specchio funzionava anche al completo, con 61 tasselli: «Gli oppositori più riluttanti affermavano invece che l'uso di superficie frazionate poteva riuscire nelle piccole aperture (si parlava allora di un diametro di 60 cm) mentre

---

<sup>115</sup> G. Horn d'Arturo, *L'aggiustamento dello specchio a tasselli effettuato dal centro di curvatura*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna", 1952.

<sup>116</sup> ASAB, Ss, B 57.3.41, 15/04/1951.

<sup>117</sup> G. Horn d'Arturo, *L'aggiustamento dello specchio a tasselli effettuato dal centro di curvatura*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna", 1952.

sarebbe fallito nelle maggiori: l'esperimento ha smentito quella previsione e l'aggiunta del terzo girone che portò il diametro a m.1,40 ed infine l'aggiunta del quarto che lo ha portato ad 1,80, dimostrano la piena efficacia della maggior luce raccolta».<sup>118</sup>

Anche in Italia iniziava però ad essere riconosciuto come l'inventore di un nuovo telescopio e dopo l'articolo di Angelo Betti, *Studi astronomici a Bologna* del 1950, comparve un altro articolo, nel 1952, con protagonista il nuovo strumento: *Il telescopio verticale a tasselli dell'Osservatorio Universitario di Bologna*, firmato Leonida Rosino,<sup>119</sup> allora assistente alla cattedra di Horn e docente di spettroscopia, prima di divenire direttore dell'Osservatorio Astronomico di Padova. Anche Rosino descrisse inizialmente i principali telescopi del mondo in uso a quell'epoca elencandone pregi e difetti, arrivando poi al cuore del discorso esponendo le novità introdotte nell'Osservatorio bolognese. La stima verso il lavoro fatto da Horn e collaboratori traspariva dall'articolo: «Il lettore consideri che questo primo modello di telescopio a tasselli è stato fatto tutto "in casa", in economia, con mezzi ultramodesti. [...] I risultati raggiunti lavorando in condizioni eccezionalmente difficili, con scarsa mano d'opera (due tecnici), in un'officina sprovvista di ogni utensile moderno, sono dunque tanto più significativi»<sup>120</sup>

Horn cominciò a capire l'importanza di pubblicare il suo lavoro al di fuori del confine nazionale e soprattutto in lingua straniera, in modo da renderlo comprensibile in più stati possibili. Nel 1953 l'astronomo raccolse i punti più importanti di tutto il suo lavoro e li unì nell'articolo *The tessellated Mirror*, che uscì su *Journal of British Astronomical Association*.<sup>121</sup> Nel 1956 e nel 1957 pubblicò invece due articoli in lingua tedesca, lingua conosciuta alla perfezione, rispettivamente sulle riviste *Optik*<sup>122</sup> e *Sterne*.<sup>123</sup>

---

<sup>118</sup> G. Horn d'Arturo, *Lo specchio a tasselli di metri 1,80 d'apertura collocato nella Torre dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna", 1955.

<sup>119</sup> L. Rosino, *Il telescopio verticale a tasselli dell'Osservatorio Universitario di Bologna*, "Sapere", 1952.

<sup>120</sup> Ibidem.

<sup>121</sup> G. Horn d'arturo, *The tessellated mirror*, "Journal of British Astronomical Association" 1953.

<sup>122</sup> G. Horn d'Arturo, *Über eine neue art von Teleskopspegeln*, "Optik", 1956.

<sup>123</sup> G. Horn d'Arturo, *Der Facettenspiegel-Plan*, "Sterne", 1957.

## 4.5 “Avvenire dello specchio a tasselli”

La progettazione di un telescopio nuovo e con superfici frammentate fu, per Horn, già dal lontano 1932, una soluzione alternativa a quei telescopi grandi e importanti, ma per i quali si andava a delineare una fine, non molto lontana nel tempo; dettata dalla difficoltà di lavorazione per superfici monolitiche e sempre più ingombranti. Lo specchio a tasselli risolveva certamente questi problemi; la lavorazione di tanti piccoli specchi al posto di uno solo enorme e pesante riduceva molto le ore di lavoro e l'impegno economico. Horn era consapevole quali fossero anche i difetti dello specchio a tasselli: specchi di questo tipo erano inutilizzabili per l'osservazione di qualsiasi parte di cielo; i tasselli erano fissati sulle lastre di marmo e queste erano immobili. Gli unici oggetti osservabili erano quindi solo quelli passanti allo zenit e, in questo caso, unicamente quelli sopra il pozzo costruito nella torre bolognese.

L'astronomo escogitò una via d'uscita a questo intoppo ipotizzando la creazione di più telescopi a tasselli sparsi su tutto il territorio italiano. Questa idea, già apparsa nelle primissime pubblicazioni di Horn negli anni '30, prese sempre più spazio negli articoli degli anni '50.

Nei primi mesi del 1952, trentasette dei sessantuno tasselli erano in funzione, mancava solo l'ultimo girone, da ventiquattro tasselli. Nonostante la levigazione degli specchi fosse fatta in modo scrupoloso da Galazzi, erano plausibili differenze tra i raggi di curvatura di ciascun tassello, i cui scarti non erano mai superiori ai 4 centimetri. Queste imprecisioni si ripercuotevano sulla messa a fuoco dell'immagine durante l'aggiustamento, rendendolo così “impreciso”. L'unico modo per ottenere tasselli con raggi di curvatura tra di loro uniformi era quello di lavorare un numero di tasselli superiore a quello necessario e di utilizzare per il telescopio solo quelli con curvatura più simile. In questo modo lo scarto tra la focale di due tasselli avrebbe potuto raggiungere la precisione di due millimetri. E gli altri tasselli già pronti? Horn sapeva già come utilizzarli!<sup>124</sup> Raggruppando tra di loro gli esagoni con raggi di curvatura più simili, questi erano pronti per formare nuovi telescopi, posizionati strategicamente in tutta Italia. I telescopi avrebbero potuto essere posti distanziati tra di loro di un grado in latitudine, partendo dalle Alpi ed arrivando fino alla punta più estrema del suolo nazionale, nel Mediterraneo. Le città che Horn aveva pensato fossero quelle ideali sono indicate in Tab. 4.5 con la relativa localizzazione. Inizialmente il numero di strumenti utile per riuscire ad osservare tutto il cielo italiano era più alto. Egli pensava addirittura a 16 telescopi a

---

<sup>124</sup> G. Horn d'Arturo, *Lo specchio a tasselli dell'Osservatorio astronomico di Bologna*, “Coelum”, 1952.

tasselli: «Questa collana di 16 telescopi dislocati dal Brennero al Capo Passero a distanze di 70 km misurate in linea d'aria nel senso della latitudine, controllerebbero tutto lo zenit d'Italia, spettando a ciascuno una zona celeste dell'ampiezza di quaranta minuti d'arco, ossia quanti ne sono contenuti nel lato maggiore della lastra 9 x 12, poiché nel piano focale il minuto d'arco è uguale a tre millimetri»,<sup>125</sup> (cioè 20"/mm).

| Città   | Latitudine | Città        | Latitudine |
|---------|------------|--------------|------------|
| Bolzano | 46°30'     | Taranto      | 40°30'     |
| Brescia | 45°30'     | Cetraro      | 39°30'     |
| Arezzo  | 43°30'     | Rosarno      | 38°30'     |
| Narni   | 42°30'     | Catania      | 37°30'     |
| Cassino | 41°30'     | Capo Passero | 36°40'     |

Tabella 4.5

Nel 1953 Horn ebbe l'occasione di incontrare l'allora sindaco di Brescia Bruno Boni. In quella circostanza l'astronomo gli presentò la possibilità di installare un telescopio simile a quello bolognese nella Torre dei Francesi del castello bresciano. Di tale struttura Horn era convinto che fosse perfetta per ospitare il proprio strumento: «Non si può immaginare un edificio più appropriato della Torre dei Francesi, che si può dire già pronto ad accogliere lo specchio [...]»<sup>126</sup>. L'astronomo fece tre richieste al Sindaco per l'approvazione di tale progetto, ad ottobre e dicembre del 1953 e ad ottobre del 1954, ma furono letteralmente ignorate nonostante l'interesse iniziale dimostrato.<sup>127</sup>

Le aspirazioni di Horn andavano però ben oltre. I telescopi da metri 1,80 di diametro sparsi sul suolo nazionale non rappresentavano le sue aspettative massime. Quella dimensione era fissata dal primo (e unico) esemplare bolognese e che a sua volta era limitata dalle dimensioni della Torre: «purtroppo l'angustia della Torre universitaria non permette l'esperimento dell'aggiunta d'un quinto girone che porterebbe l'apertura a m 2,20 [...]»<sup>128</sup>. Nulla vietava la realizzazione di specchi con diametro superiore posizionati in pozzi opportuni. Egli stesso scrisse: «[...] volendo spingersi a diametri grandissimi, è evidente

<sup>125</sup> G. Horn d'Arturo, *L'aggiustamento dello specchio a tasselli effettuato dal centro di curvatura*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna", 1952.

<sup>126</sup> ASAB, B 57.7.73, 27/10/1954.

<sup>127</sup> Ibidem.

<sup>128</sup> G. Horn d'Arturo, *Lo specchio a tasselli di metri 1,80 d'apertura collocato nella Torre dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna", 1955.

la necessità del frazionamento in tasselli, e la fantasia può trasferirci in un futuro, forse non molto lontano, in cui si scaveranno pozzi di centinaia di metri di profondità per collocarvi specchi a tasselli di centinaia di metri quadrati».<sup>129</sup>

Prima di arrivare a costruire opere simili si sarebbero potute sfruttare strutture già presenti anche se più limitate. Esempi di cavità naturali, e non, erano già presenti in Italia. Un pozzo costruito dall'uomo e ideale, dimensionalmente, era il Pozzo di San Patrizio di Orvieto. L'astronomo studiò in modo approfondito la costruzione del XVI secolo, facendo anche sopralluoghi come documentato in Fig. 4.18, una fotografia scattata da Horn probabilmente alla fine degli anni '40 e di cui in Archivio è presente il negativo originale.

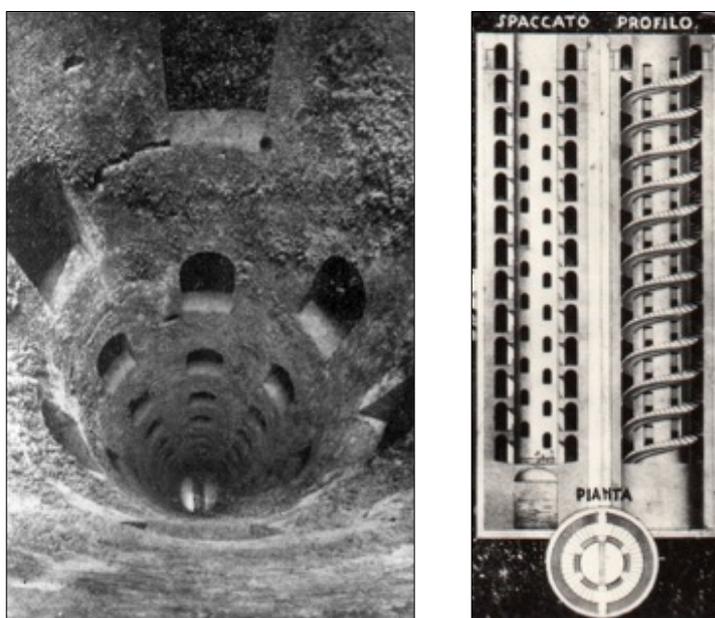


Figura 4.18: A sinistra il pozzo di San Patrizio fotografato da Horn, a destra il pozzo di San Patrizio in pianta.

Pur non avendo altri documenti a tal proposito, da una pubblicazione di Horn, sappiamo che egli fece una richiesta alla Sovrintendenza dei monumenti dell'Umbria per trasformare il pozzo in un telescopio<sup>130</sup> ma che ciò non fu mai realizzato per motivi economici. In realtà, Horn, descrisse anche un problema che si sarebbe riscontrato posizionando lo specchio in fondo ad un pozzo adibito alla raccolta di acqua, l'elevata percentuale di umidità avrebbe sicuramente recato danni all'argentatura dei tasselli.

Le ricerche di luoghi pronti ad ospitare un telescopio iniziarono addirittura prima dell'arresto dei lavori del 1938 ed i posti

<sup>129</sup> G. Horn d'Arturo, *Altri esperimenti con lo specchio a tasselli*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna", 1950.

<sup>130</sup> *Ibidem*.

analizzati furono molti. Horn era da tempo interessato a cercare un luogo ideale, esterno alla Torre, per posizionare lo specchio a tasselli. In una lettera all'amico G.B. Lacchini, del 1937, gli scrisse: «Penso che Claudio abbia visitato anche gli spiragli delle grotte carsiche p.e. quelli di Postumia dove si potrà avere un'altezza maggiore con maggiore comodità d'accesso. Se fossero capaci di levigare specchi di 100 metri di raggio (50 di fuoco) si potrebbe pensare allo specchio di 10 m di diametro, ma il carso è poco propizio per via della bora».<sup>131</sup> In quegli anni infatti Horn era ancora occupato a cercare di ottenere tasselli lavorati decentemente dalle ottiche nazionali e a verificare la buona funzionalità degli ultimi arrivati, quelli tedeschi. Certamente ancora non aveva ideato l'aggiustamento dei tasselli dal centro di curvatura ed infatti egli si preoccupò della posizione dello specchio e dell'altezza della grotta, questa bastava che fosse sufficientemente profonda per arrivare al piano focale: «a Postumia c'è la caverna bella grande col suo accesso al piano inferiore ove sta lo specchio ed il piano focale fuor di terra».<sup>132</sup> Le grotte di Postumia non furono le uniche prese in considerazione negli anni '30. Nella stessa missiva vennero nominate anche le grotte di Faenza, poco accessibili, e dopo qualche mese, in una lettera a Gaetano Conato, le grotte di San Ruffillo.

Soltanto negli anni '50 Horn riuscì a trovare delle grotte, scoperte recentemente nella loro profondità dallo speleologo Franco Anelli, totalmente complementari al suo telescopio: le grotte di Castellana in provincia di Bari. Già dal 1950 l'astronomo le nominava ripetutamente nelle sue pubblicazioni ma è il 1955 l'anno in cui inizia a parlarne in modo più dettagliato. Egli, descrivendo i vari progetti che aveva in mente, introdusse anche l'idea del telescopio a tasselli nelle grotte pugliesi: «Ma il mio sogno mi porta più lontano, cioè alla costruzione di uno specchio di 5,10 metri da collocare nella grotta di Castellana, lontana quaranta chilometri da Bari».<sup>133</sup> La descrizione che segue è precisa e cela la presenza di qualcosa di più di una semplice fantasia, ma delinea un piano accurato ed approfondito, Horn aveva progettato *“La più grande superficie riflettente del mondo nelle grotte di Castellana, specchio a tasselli di metri 5,10 di diametro”*.<sup>134</sup> Il sogno dell'astronomo, di creare qualcosa di straordinario e che superasse qualsiasi primato fino ad allora esistente, è racchiuso nel fascicolo stampato dal comune di Castellana-Grotte e con titolo quello sopra citato. Nella pubblicazione furono raccolti vari

---

<sup>131</sup> ASAB, FH 1, busta 9, lettera 725.

<sup>132</sup> Ibidem.

<sup>133</sup> G. Horn d'Arturo, *Lo specchio a tasselli di 1,80 d'apertura collocato nella Torre dell'osservatorio astronomico universitario di Bologna*, “Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna”, 1955.

<sup>134</sup> AA.VV., *La più grande superficie del mondo nelle grotte di Castellana, specchio a tasselli di metri 5,10 di diametro*, Edizioni del comune di Castellana Grotte, 1957.

articoli inerenti il grande telescopio a tasselli: l'introduzione del sindaco Nicola Rotolo; la presentazione dell'inventore, Guido Horn d'Arturo; una breve descrizione dell'importanza dell'opera fatta da Matteo Fantasia ed infine il progetto comprensivo di preventivo fatto dall'ing. Gianbattista Giannoccaro. L'astronomo era convinto che la grotta potesse essere ideale per ospitare gli specchi, a differenza del pozzo di San Patrizio, l'ambiente era più areato e soleggiato con un conseguente tasso di umidità più basso. Anche in queste grotte Horn fece alcune perlustrazioni, documentandole, di cui abbiamo i negativi delle fotografie in Archivio (Fig. 4.19).



*Figura 4.19: Caverna principale, la Grave.*

Nella pubblicazione venne presentato il progetto per quello che era realmente, una grande opera che avrebbe apportato grosse novità nel campo scientifico, un primato in termini di apertura del telescopio e, infine, lustro al luogo e alle zone limitrofe. Horn descrisse prima la tipologia di telescopio già in uso nell'osservatorio bolognese, i risultati ottenuti con esso e poi introdusse le caratteristiche del telescopio in questione. Lo strumento avrebbe dovuto essere posizionato nella caverna numero 8 delle Grotte di Castellana, il diametro sarebbe stato più grande rispetto a quello già in uso, ma anche i tasselli sarebbero stati più ampi pur mantenendo la forma esagonale. Lo specchio, formato da 217 esagoni con doppio apotema di 30 centimetri ed uno spessore di 4 centimetri, sarebbe stato posizionato sul fondo della grotta, sessantaquattro metri più in basso del livello

dell'entrata principale. Il raggio di curvatura dei tasselli avrebbe dovuto essere di 64 metri e la focale di 32 metri. La dimensione dello specchio era molto importante, proprio su questa Horn si soffermò per non farla passare inosservata. I 5,10 metri di apertura erano molto superiori agli 1,80 dello specchio bolognese e di 10 centimetri più grande rispetto al telescopio più potente del mondo, quello del Monte Palomar. Questo telescopio a tasselli non solo sarebbe stato il primo ad essere posto in una grotta ma sarebbe diventato anche quello più grande mai realizzato. Horn concluse il suo articolo dicendo: «Le grotte di Castellana che già richiamano i visitatori col fascino della loro bellezza, vedrebbero accorrere anche i desiderosi di mirare la più grande superficie del mondo».<sup>135</sup>

Egli credette pienamente in questa nuova realizzazione, la possibilità e la voglia di espandere il lavoro già iniziato nel capoluogo emiliano era sempre più forte e la fusione di tutti i sacrifici di circa venti anni con questo luogo ideale sarebbe stata la degna ricompensa di tutto il lavoro fatto, di tutte le ingiustizie subite. In quegli anni infatti, nell'ambiente scientifico nazionale, non tutti capirono l'importanza di quello che Horn stava facendo, come spesso accade in questi casi, la novità è difficilmente accettata. L'astronomo infatti in una notazione scrisse: «In Italia invece la critica orale persevera nella sua primitiva ostilità ed è interessante il fatto che, essendosi la Redazione della Rivista *Optik* rivolta ad un astronomo italiano per avere una recensione dei lavori pubblicati sullo specchio a tasselli, l'astronomo dichiarò che non intendeva farla per ragioni scientifiche».<sup>136</sup> Non abbiamo altri documenti che ci possano dare informazioni più chiare su questo avvenimento ma certamente Horn rimase colpito e meravigliato da tale affermazione; considerare un approfondito studio di ottica e la sua attuazione lontano dalla scienza era inconcepibile. Nella stessa pubblicazione anche M. Fantasia fece allusioni di questo genere, egli parlò di «ostilità manifestata dagli ambienti astronomici italiani nei confronti dello specchio a tasselli»<sup>137</sup> ma continuò difendendo Horn e tutto il suo operato. A livello internazionale qualche merito in più gli fu riconosciuto: «Il Prof. Struve, Presidente dell'Unione Astronomica Internazionale disse che lo specchio a tasselli era lo specchio dell'avvenire: by the future».<sup>138</sup> Anche l'autore A. Betti, nel suo articolo sul telescopio, fece dei cenni su grandi specchi posizionati in pozzi profondi: «Gli osservatori astronomici di domani non verranno più sistemati nelle alte vette dei monti, ma addirittura in

---

<sup>135</sup> G. Horn d'Arturo, *Storia dello specchio a tasselli*, "La più grande superficie riflettente del mondo nelle Grotte di Castellana", 1957, pp. 5-10.

<sup>136</sup> Ibidem.

<sup>137</sup> M. Fantasia, *Nelle grotte il telescopio gigante*, "La più grande superficie riflettente del mondo nelle Grotte di Castellana", 1957, pp.11-14.

<sup>138</sup> Ibidem.

profondissimi pozzi, cento e duecento metri sotto la crosta terrestre».<sup>139</sup>

Tornando alla progettazione del telescopio, i tasselli sarebbero stati posti su una soletta di calcestruzzo, perforata, fissati tramite i supporti a vite. Il telescopio avrebbe osservato sempre la stessa parte di cielo sovrastante la grotta. Il cielo notturno passante allo zenit di quella regione era ricco di nuovo materiale di studio: «Per una coincidenza fortuita, ed anche fortunata, sull'asse dello specchio di Castellana transiterebbe ogni 24 ore la grande nebulosa d'Andromeda ed il fotografarla tutte le volte che la serenità del cielo lo permettesse fornirebbe all'astronomo un preziosissimo materiale per lo studio dei molteplici fenomeni che si verificano in quella smisurata congerie di materia cosmica».<sup>140</sup>

Il caso volle arricchire ulteriormente l'importanza della costruzione di quel telescopio in quelle grotte. Già il collega L. Rosino, nell'articolo sul telescopio bolognese, parlò di questa coincidenza, non come tale, ma pensando alla costruzione di telescopi a tasselli in luoghi predefiniti in base proprio agli importanti oggetti da prendere in esame: «Ebbene, in un futuro prossimo o remoto, s'andrà a montare uno specchio a tasselli di grandi dimensioni là dove quell'oggetto o quei particolari oggetti di cui è essenziale lo studio passano allo zenit».<sup>141</sup>

Molto interessante è anche il preventivo di spesa fatto, completo di piantina e di uno schema di finanziamento.<sup>142</sup> Secondo l'ing. Giannocaro la scelta di posizionare il telescopio nella caverna 8 fu dettata dalle caratteristiche della grotta combacianti con i bisogni richiesti. Il vano interno alla grotta si presentava con una forma somigliante ad un cono troncato in punta, più che a un cilindro, stretto in alto e più largo verso il fondo. Il centro di curvatura dello specchio avrebbe dovuto trovarsi sul piano esterno appena sopra il pozzo. Il diametro della cavità, in alto, era di soli 4 metri e andavano quindi attuati lavori per l'allargamento della caverna nella parte superiore. Spostandosi verso il basso, a metà grotta, si sarebbe potuto sfruttare l'ingrossamento delle pareti per creare agevolmente un ballatoio di manovra, ad anello intorno al cilindro centrale, livello fondamentale per le operazioni da effettuare dal piano focale. Scendendo sempre più in basso si sarebbe posto lo specchio sul fondo della grotta e da lì gli astronomi avrebbero potuto usufruire degli ascensori già in servizio in quelle grotte. In Fig. 4.20 è possibile riconoscere le posizioni del centro di curvatura, del piano focale e dello specchio.

---

<sup>139</sup> A. Betti, *Studi astronomici a Bologna*, 1950, Emilia II, settembre 1950.

<sup>140</sup> G. Horn d'Arturo, *Storia dello specchio a tasselli*, "La più grande superficie riflettente del mondo nelle Grotte di Castellana", 1957.

<sup>141</sup> L. Rosino, *Il telescopio verticale a tasselli dell'Osservatorio Universitario di Bologna*, "Sapere", 1952.

<sup>142</sup> G. Giannocaro, *Importo preventivo delle opere e schema di finanziamento*, "La più grande superficie riflettente del mondo nelle Grotte di Castellana", 1957, pp. 15-19.

La spesa totale prevista ammontava a 70 milioni di lire ( pari a circa un milione di euro di oggi) considerando tutte le spese necessarie: acquisto del terreno sovrastante la grotta, costruzioni interne al pozzo come gli alloggi per gli astronomi e tutto il personale, gli scavi delle pareti, gli ascensori per lavorare ai diversi piani del telescopio, una cupola mobile per la salvaguardia dello specchio quando non in uso, confezionamento dei 217 tasselli, le viti per fissare gli specchi, impianti elettrici, telefonici, apparecchiature varie , imprevisti ed infine spese di progettazione e seguimento dei lavori.

Il tempo utile per la costruzione di tale grandiosa opera doveva essere di tre anni, ma se i lavori all'interno della caverna si fossero ultimati prima, alla presenza di soli 7 tasselli, lo specchio si sarebbe potuto inaugurare. D'altronde anche negli anni '30, con il primo progetto, l'astronomo riuscì ad ottenere i primi risultati con soli 10 tasselli anziché 80.

La grande realizzazione era fortemente desiderata non solo da Horn ma anche dall'entourage pugliese perché certo che avrebbe attirato molti turisti ed arricchito l'Università di Bari con un mezzo potentissimo. Alla luce di ciò il piano finanziario, secondo l'ing. Giannoccaro, si sarebbe dovuto appoggiare sulla solidarietà e sull'interesse regionale». <sup>143</sup> Evidentemente l'ingegnere ripose troppa fiducia nelle istituzioni regionali e questo progetto, che avrebbe forse cambiato le sorti dell'avvenire degli specchi a tasselli in Italia, non fu mai messo in pratica.

Nell'ambiente speleologico la grande idea di Horn viene tutt'oggi ricordata. <sup>144</sup> In una rivista semestrale del Museo Speleologico Franco Anelli e delle Grotte di Castellana un autore, Nicola Rizzi, descrive il progetto di Guido Horn d'Arturo. Egli afferma che non solo l'astronomo era convinto del progetto, ma che lo era ancora di più lo speleologo F. Anelli. Egli fu il primo a calarsi in queste grotte alla fine degli anni '30 e si mise a completa disposizione dell'astronomo perché convinto del suo progetto. Nell'articolo sono nominate anche varie pubblicazioni avvenute dal 1950 in poi, su riviste locali e non, sul telescopio più grande del mondo in costruzione in Italia. Ciò ci dimostra che fino al 1960 l'idea di progettare questo telescopio non fu abbandonata, né dall'astronomo e né dallo speleologo. <sup>145</sup>

Guido Horn d'Arturo credette fermamente nella creazione di tale maestoso strumento pur sapendo delle estreme difficoltà che il progetto avrebbe incontrato, dalla ricerca di fondi alla messa in opera. In una pubblicazione egli concluse il discorso affermando: «Tornerò sull'argomento quando il progetto, uscito dal regno del

---

<sup>143</sup> G. Horn d'Arturo, *«La più grande superficie riflettente del mondo nelle Grotte di Castellana»*, 1957.

<sup>144</sup> s.a.; rubrica *Spulciando in biblioteca*, in *«Speleologia»*, giugno 2008.

<sup>145</sup> N. Rizzi, *Un grande osservatorio nelle grotte di Castellana*, Rivista semestrale del Museo Speleologico Franco Anelli e delle grotte di Castellana, n.14, dicembre 2007.

sogno, sarà entrato in quello della realtà».<sup>146</sup> Il progetto rimase solo un fantastico sogno e, con esso, anche la realizzazione degli altri dieci telescopi a tasselli, gemelli di quello bolognese.

---

<sup>146</sup> G. Horn d'Arturo, *Il compiuto specchio a tasselli di 1,80 d'apertura collocato nella Torre dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna*, "Coelum", 1955.

# Grotte di Castellana - Bari

Caverna N° 8

Sezione schematica della caverna e del poz. 20 di m. 64 di profondità per l'impianto del Grande specchio a tasselli di m. 5 di diametro.

Scala 1:20

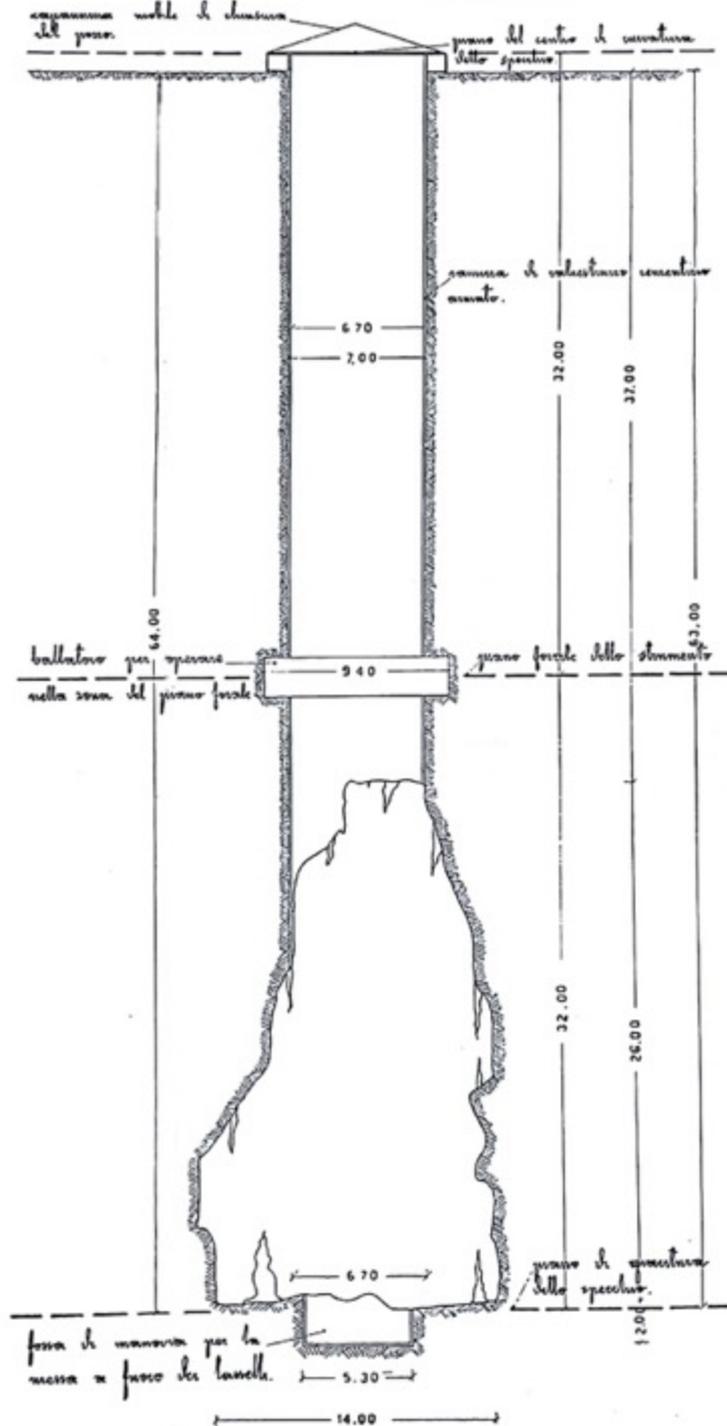


Figura 4.20: Sezione della caverna n.8 per l'impianto del Grande specchio a tasselli

# Capitolo 5

## Applicazioni del telescopio con il nuovo specchio a tasselli

### 5.1 “Inseguimento stellare”

Il secondo telescopio a tasselli di Guido Horn d'Arturo, come il primo, necessitava di alcuni accorgimenti per poter essere applicato nel campo dell'astrofotografia. Nonostante lo specchio avesse subito un'importante evoluzione, non era stato superato il problema dell'immobilità, rendendo indispensabile un movimento della lastra fotografica nel piano focale per l'ottenimento delle immagini. Dopo numerose osservazioni eseguite con l'aiuto di un astronomo impegnato a seguire, tramite un oculare, una stella guida per tutta la durata dell'osservazione; Horn si rese conto della necessità di affidare questo “semplice” compito ad un motore (ved. capitolo 4). Il porta lastre nel piano focale venne quindi collegato a un motore che gli consentisse di muoversi inseguendo l'oggetto di riferimento. Tale movimento doveva però avvenire su una sagoma metallica incurvata come una parabola. Trovandosi Bologna alla latitudine di quasi  $45^\circ$  (per l'esattezza  $\varphi = 44^\circ 29' 52'' 77$ ), le stelle disegnavano nel piano tale conica.<sup>147</sup> La parabola in questione doveva avere una distanza focale, nel vertice, pari alla distanza focale dello specchio. Infine, le stelle si muovevano sul piano focale di 1 millimetro ogni 1,852 secondi ed il moto doveva essere mantenuto costante dal meccanismo di regolazione automatica applicato al motore. La durata massima di esposizione della lastra, e dunque del cammino dello châssis sulla parabola, era ora di  $6^m$  e  $45^s$ .<sup>148</sup>

---

<sup>147</sup> G. Horn d'Arturo, *Altri esperimenti con lo specchio a tasselli*, “Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna”, 1950.

<sup>148</sup> G. Horn d'Arturo, *Lo specchio a tasselli dell'osservatorio astronomico universitario di Bologna*, 1952.

Proseguiamo ora con le varie applicazioni dello specchio a tasselli e le scoperte fatte con esso; seguendo i progressi delle osservazioni e delle evoluzioni all'aumentare del numero delle superfici riflettenti.

## 5.2 Risultati ottenuti con i primi 19 tasselli - Telescopio 1 m di apertura

Non furono molti i risultati pubblicati da Horn con lo specchio composto da soli 19 tasselli ma l'interpretazione di queste prime osservazioni portò l'astronomo ad insistere sull'aumento del numero degli specchi, facendogli capire che la strada fosse quella giusta.<sup>149</sup> Il rapporto tra l'apertura e la distanza focale, per i 19 tasselli, era di 1/10,4 ma questo valore sarebbe migliorato con l'aggiunta degli altri gironi.

La prima lastra analizzata fu la N. 650, ottenuta il 4 agosto del 1949 con un'esposizione di 6<sup>m</sup> 15<sup>s</sup> (Fig. 5.1)



Figura 5.1: Lastra N.650.

---

<sup>149</sup> G. Horn d'Arturo, *Altri esperimenti con lo specchio a tasselli*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna", 1950.

Vicino all'estremo inferiore della fotografia si riconosce una stella molto grande, al centro, è la BD 43°3581, secondo il catalogo Bonner Durchmusterung. Questa stella, di nona magnitudine, è la più luminosa, ma altre sono riconoscibili in fotografia anche se più deboli. La magnitudine limite, percepibile con lo strumento da 1 metro, era la sedicesima.

L'analisi di Horn non si fermò al semplice riconoscimento della luminosità apparente delle stelle ma si concentrò sulla qualità dell'immagine ottenuta e su quanto l'ottica dei nuovi tasselli fosse precisa e priva di distorsioni. Ciò che premeva particolarmente all'astronomo era l'ottenimento di immagini esenti il più possibile da coma. Visti anche i precedenti studi<sup>150</sup> su questa deformazione, nella nuova pubblicazione calcolò la lunghezza della deformazione  $L_y$  in base all'allontanamento dell'immagine dall'asse, con la formula:

$$L_y = \left(\frac{a}{p^2}\right)y(3a + 4y)$$

dove  $a$  è il raggio dello specchio,  $p$  la doppia distanza focale e  $y$  la distanza dall'asse. I valori delle deformazioni per diverse distanze sono riassunti in Tab. 5.1.

| y (cm) | $L_y$ (mm) |
|--------|------------|
| 10     | 0,018      |
| 30     | 0,056      |
| 50     | 0,098      |
| 70     | 0,144      |

Tabella 5.1

Analizzando quindi la fotografia, alla luce anche dei dati teorici, Horn poté constatare la rotondità delle immagini: per esempio le stelle proiettate in una circonferenza di raggio 15 centimetri, intorno all'asse ottico, subivano una deformazione inferiore ad un terzo di millimetro. Potevano quindi considerarsi rotonde.

Altra applicazione dei 19 tasselli riguarda l'osservazione delle stelle doppie, classificate secondo l'Aitken Double Star Catalogue (ADS). Un oggetto di questo tipo fu osservato per la prima volta sulla lastra N. 805, si trattava della stella doppia ADS 4057. I bordi delle due stelle non erano ancora esattamente distinguibili, ma i loro centri erano distanziati di poco più di un quarto di millimetro. Risultati migliori si ebbero invece con l'osservazione della stella tripla ADS 4765. Nella lastra N.838 si riuscirono ad intravedere due dischi e lo spazio tra di essi.

---

<sup>150</sup> G. Horn d'Arturo, *Immagini stellari extrassiali generate dagli specchi paraboloidici, sferici, ed a tasselli*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio Astronomico universitario di Bologna", 1936.

### 5.3 Osservazioni fatte con 37 tasselli – Telescopio di 1,40 m di apertura

Nel 1951, con l'aggiunta di un ulteriore girone composto da 18 tasselli, l'apertura dello specchio aumentò e con esso anche la sua potenza spingendosi all'osservazione di oggetti fino alla diciottesima magnitudine. Nella lastra N.1234 (Fig. 5.2), si riuscirono a catturare molte stelle appartenenti alla regione dell'Auriga.



Figura 5.2: Lastra N.1234.

Come d'abitudine, Horn specificò anche il tipo di lastra utilizzata che in questo caso fu una Cappelli ultra-sensibile. La fotografia si ottenne con l'esposizione massima data dal telescopio di 6<sup>m</sup> 45<sup>s</sup>, la notte del 28 novembre 1951. La maggior parte delle stelle visibili arrivava fino alla sedicesima magnitudine, ma iniziarono ad essere presenti anche oggetti meno luminosi, fino alla diciottesima grandezza.<sup>151</sup>

Sulla lastra N.1262, ottenuta con una lastra pancromatica Kodak 103 A-F, Horn riuscì a riconoscere, per una zona di cielo, ben 65 stelle, con una magnitudine compresa tra 16 e 16,9, rispetto a un

---

<sup>151</sup> G. Horn d'Arturo, *L'aggiustamento dello specchio a tasselli effettuato dal centro di curvatura*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna", 1952.

totale di 73 elencate dalle osservazioni effettuate al Monte Wilson. Infine, anche il 40% delle stelle già note, con una magnitudine compresa tra 17 e 17,9, rimasero impresse sulla lastra.<sup>152</sup>

L'astronomo era entusiasta dei risultati e cercò di convincere coloro che ancora non credevano alla riuscita di uno specchio a tasselli: «Naturalmente le immagini delle stelle più deboli si perdono nella riproduzione zincografica; le superstiti mostrano però la perfetta rotondità dei loro dischi fino ai margini della lastra: ciò che prova la possibilità d'imitare con lo specchio frazionato la concentrazione dei raggi com'è fornita da una superficie continua».<sup>153</sup>

Horn in quegli anni era ancora alle prese con un'opera di convincimento del mondo scientifico a favore della sua teoria. Soprattutto tra i colleghi italiani era presente qualche scettico nei confronti di ciò che Horn stava realizzando.

---

<sup>152</sup> Ibidem.

<sup>153</sup> Ibidem.

## 5.4 Osservazioni fatte con 61 tasselli - Telescopio di 1,80 m di apertura

Nell'estate del 1952 il telescopio a tasselli dell'Università di Bologna fu concluso: i tasselli erano al completo, 61, e lo strumento raggiunse un'apertura di 1,80 metri, il massimo concesso dalla posizione nella Torre universitaria.<sup>154</sup> Aumentando il diametro dello specchio migliorò il rapporto tra l'apertura e la distanza focale che arrivò a 1/5,7. Si riuscirono a fotografare stelle fino alla diciannovesima magnitudine. Le fotografie vennero effettuate su lastre con una dimensione di 9x12 centimetri e per l'enorme quantità di materiale fotografico furono usate le lastre Cappelli ultrasensibili; oltre ad essere più economiche rispetto alle più famose Kodak, la ditta Ferrania le preparava appositamente per l'osservatorio nelle dimensioni necessarie: 9x12 e 9x24 cm.<sup>155</sup>

Le immagini ottenute erano ancora rotonde e completamente esenti da coma fino all'estremità della zona presa in osservazione. Un esempio si può vedere nella fotografia della regione celeste a nord della stella 56 Cygni (Fig. 5.3). Nella lastra N.2996, 9x24 cm, del 10 ottobre 1953, non sono presenti deformazioni dovute alla coma.

Il lavoro che fece Horn negli anni compresi tra il completamento dello specchio e la pubblicazione dei risultati, fu una vera e propria mappatura di una zona del cielo, compresa tra 44°10' e 44°50' di declinazione boreale. Tutto il materiale era impresso su circa 500 lastre della misura 9x12. Il confronto delle varie fotografie portò alla scoperta di stelle che avevano variato la loro luminosità con il passare del tempo. Horn scoprì, grazie al suo telescopio a tasselli, alcune stelle variabili che prima non erano conosciute come tali.

Nel 1955 l'astronomo scrisse due articoli, sulle *Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna*, insieme a Lacchini: *Variazioni luminose di quattro stelle scoperte fotograficamente con lo specchio a tasselli* e *Variazioni luminose di altre sette stelle fotografate con lo specchio a tasselli*, ne riportiamo i dati osservativi.

Alle quattro stelle della prima pubblicazione vennero dati dei nomi provvisori, essendo state scoperte con lo strumento bolognese, l'Unione Astronomica internazionale non aveva ancora avuto il tempo materiale per denominarle. Esse erano rispettivamente VB1, VB3, VB9 e VB10. Per ognuna di queste stelle vengono riportate le coordinate e le cartine delle zone di

---

<sup>154</sup> G. Horn d'Arturo, *Il compiuto specchio a tasselli di metri 1,80 d'apertura collocato nella Torre dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna*, "Coelum", 1955.

<sup>155</sup> Ibidem.

cielo alle quali appartiene la stella. La misura della luminosità è stata fatta comparando la luminosità delle stelle “nuove” con alcune stelle di confronto, già note, presenti nel catalogo di Helsingfors.



*Figura 5.3: Lastra N.2996, regione del cielo a nord della stella 56 Cygni, visibile vicino al margine inferiore.*

La prima variabile ad essere scoperta fu la VB1 e venne fotografata per la prima volta sulla lastra N.2065, il 21 aprile 1953, con il telescopio a tasselli. Fino all'anno precedente non vi era invece traccia della sua esistenza. La localizzazione dell'astro era:

$\alpha : 10^h 17^m 16^s$

$\delta : + 44^\circ 38' 0''$

considerando l'epoca del 1900, come indicata da Horn.

La stella è visibile nella Fig. 5.4a, circondata da un unico cerchietto. Le altre stelle presenti, indicate con lettere maiuscole, sono quelle usate per il confronto, mentre quella doppiamente cerchiata è la stella di riferimento (vale per tutte le cartine delle stelle che tratteremo).

Horn si rese conto della presenza della stella nel campo solo l'8 maggio e da quel giorno in poi cercò di tenere la zona sotto osservazione, principalmente con il telescopio di Loiano. Nei 17 giorni trascorsi la stella aveva già variato la sua luminosità, dopo un calo (2 grandezze, fino alla sedicesima magnitudine) ed una piccola ripresa mantenne la sua luminosità costante, per poi svanire completamente nel 1954. L'andamento della luminosità è riportato in Fig. 5.4b, dove in ascissa è rappresentato il giorno giuliano mentre in ordinata la luminosità della stella, calibrata tramite le stelle di riferimento la cui luminosità era data in gradi di Argelander.

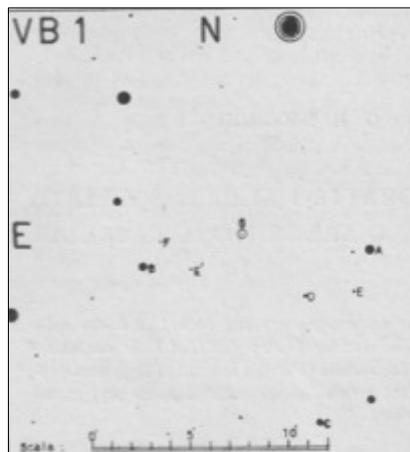


Figura 5.4a: Cartina di VB1.

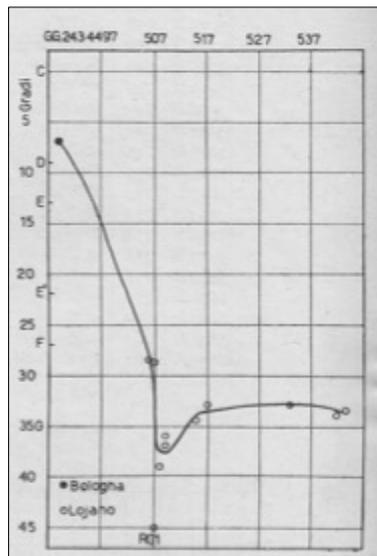


Figura 5.4b: Curva di luce di VB1.

La stella VB3 (Fig. 5.5a/b) fu osservata per la prima volta sulla lastra N.1199 del 2 novembre 1951, quando il telescopio a tasselli era composto ancora da soli 37 esagoni. Nel 1952 non fu mai osservata mentre riapparve sulla lastra N.3200. Le coordinate della stella erano:

$\alpha : 0^h 59^m 11^s$

$\delta : + 44^\circ 29' .1$

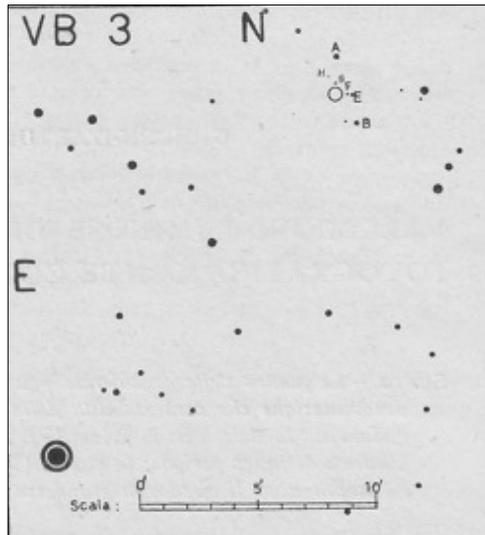


Figura 5.5a: Cartina di VB3

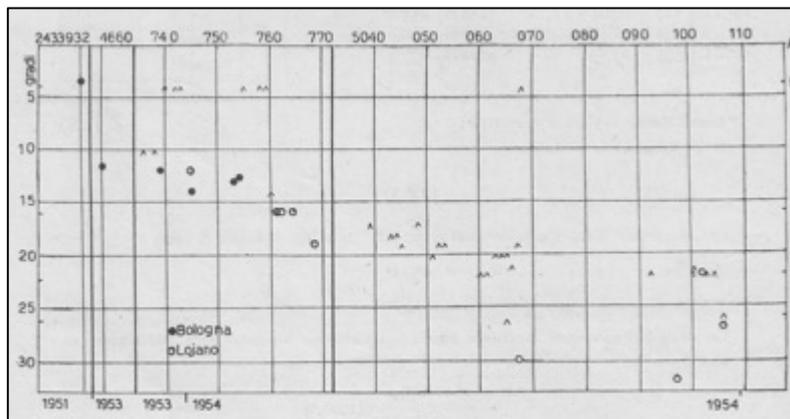


Figura 5.5b: Andamento della luminosità nel tempo di VB3.

Allo stesso modo riportiamo l'immagine della variabile VB 9 (Fig. 5.6a) con la rispettiva curva di luce (Fig. 5.6b). Questa stella, che si trovava alle seguenti coordinate:

$$\alpha : 19^{\text{h}} 57^{\text{m}} 7^{\text{s}}$$

$$\delta : +44^{\circ} 7' .9$$

fu osservata per la prima volta il 18 luglio del 1954 sulla lastra N.5165. Ma riosservando immagini del 1952 fu possibile riconoscere la stessa stella, anche se con una luce molto più debole rispetto a quella raccolta sulla lastra N.5165. Dopo il massimo, pari alla quattordicesima magnitudine, la luminosità della stella diminuì fino di 16,5.

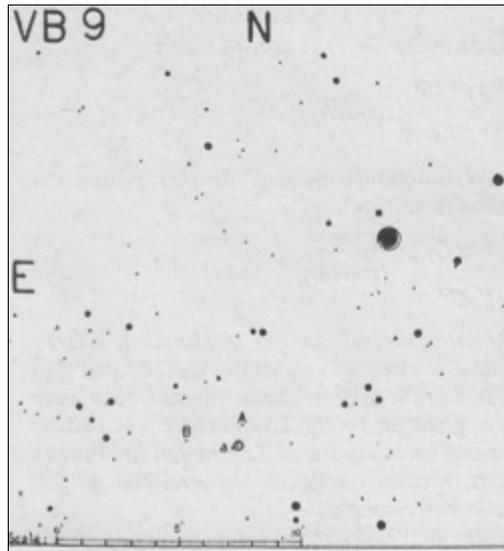


Figura 5.6a: Cartina di VB9.

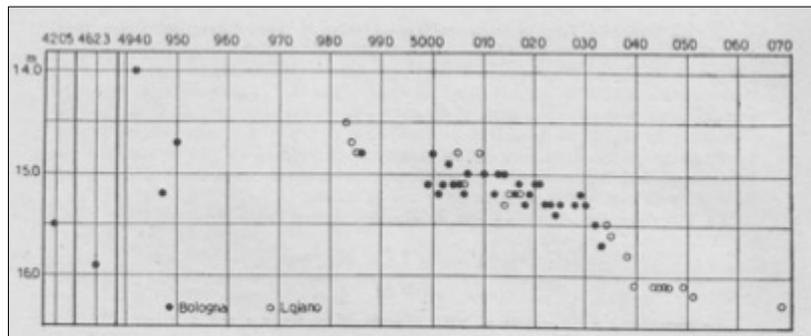


Figura 5.6b: Andamento della luminosità nel tempo di VB9.

L'ultima stella variabile riportata nella pubblicazione, ma non meno importante, è VB10.

Le sue coordinate erano:

$$\alpha : 1^{\text{h}} 30^{\text{m}} 10^{\text{s}}$$

$$\delta : +44^{\circ} 21'.4$$

Questa stella fu la prima Cefeide ad essere scoperta con il telescopio a tasselli. Essa fu notata, per la prima volta, il 27 ottobre del 1954 sulla lastra N.6054 ma venne poi osservata anche su lastre precedenti, della stessa zona di cielo, a partire dal 1951. La variazione di luminosità della stella fu calcolata tramite lo studio di 25 lastre, ma già dalle primissime osservazioni il sospetto ricadde su una Cefeide con un periodo di dieci giorni circa, caratterizzata da un rapido aumento di luminosità seguito da un lieve calo. Nell'arco di 64 giorni la Cefeide aveva raggiunto il massimo di luminosità sette volte, portando così Horn e Lacchini a determinare un periodo di 9,77 giorni. Confrontando i nuovi dati con le osservazioni precedenti al 1954, il periodo di variazione luminosa calcolato corrispondeva con i valori calcolati in passato. La variazione di luminosità massima e minima erano pari ad una grandezza visuale.

In Fig. 5.7a riportiamo la cartina di VB10 mentre in Tab. 5.1 elenchiamo tutte le lastre utilizzate per il calcolo del periodo della Cefeide. Infine in Fig. 5.7b la variazione di luminosità della stella.

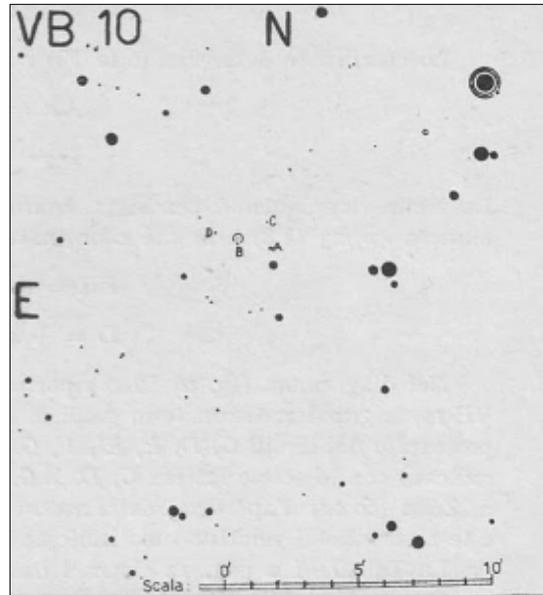


Figura 5.7a: Cartina di VB10.

| Lastra | G.G<br>243... | Lastra | G.G<br>243... | Lastra | G.G<br>243... |
|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|
| 1203 B | 3953,4        | 6194 B | 5061,5        | 7106 L | 5095,3        |
| 3054 B | 4691,5        | 6212 B | 5063,5        | 6430 B | 5097,3        |
| 3093 B | 4694,5        | 6252 B | 5065,5        | 7126 L | 5097,3        |
| 3138 B | 4708,4        | 6272 B | 5066,5        | 6452 B | 5099,3        |
| 3246 B | 4735,2        | 6293 B | 5067,5        | 6471 B | 5100,3        |
| 3277 B | 4752,2        | 6325 B | 5083,4        | 6491 B | 5101,3        |
| 6054 B | 5043,5        | 6326 B | 5086,4        | 7135 L | 5101,5        |
| 6075 B | 5044,5        | 6327 B | 5087,4        | 6512 B | 5102,3        |
| 6103 B | 5048,5        | 6328 B | 5088,4        | 7146 L | 5102,4        |
| 6123 B | 5051,5        | 6333 B | 5091,3        | 6514 B | 5103,3        |
| 6142 B | 5052,5        | 7090 L | 5092,3        | 6515 B | 5104,5        |
| 6162 B | 5053,5        | 6383 B | 5093,3        | 6534 B | 5105,3        |
| 6178 B | 5060,5        | 6409 B | 5094,3        | 7159 L | 5107,3        |

Tabella 5.2: Lastre utilizzate per il calcolo del periodo della Cefeide VB10. E' indicato il numero della lastra seguito dalla lettera B per le osservazioni fatte da Bologna, con il telescopio a tasselli o dalla lettera L per quelle fatte da Loiano. Con G.G. è indicato il giorno giuliano nel quale è stata fatta l'osservazione.

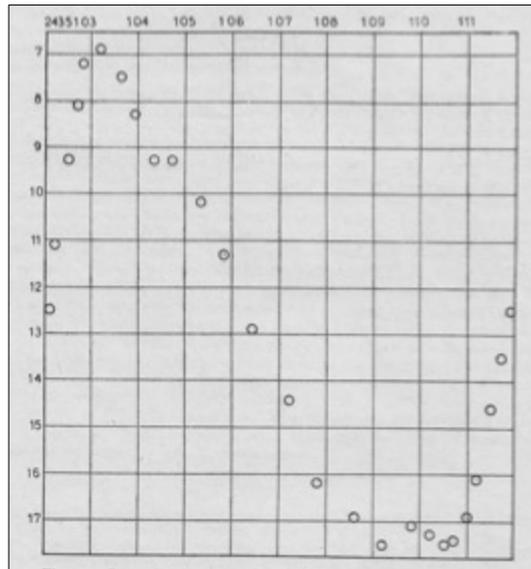


Figura 5.7b: Variazione di luminosità di VB10.

Le applicazioni dello specchio a tasselli, nel campo delle stelle variabili, continuò sia da parte di Horn che di Lacchini. Essi ne scoprirono altre<sup>156</sup> che andarono avanti a chiamare con la sigla VB.

VB7 e VB18 furono scoperte da Guido Horn d'Arturo.

La stella variabile VB7 fu osservata solo la notte del 27 febbraio 1954 sulla lastra N.3697, come una stella di undicesima magnitudine. Le notti precedenti e successive non fu invece mai rilevata, né con il telescopio a tasselli, né con il telescopio riflettore di Loiano. Le coordinate dell'astro erano le seguenti:

$$\alpha : 7^{\text{h}} 47^{\text{m}} 25^{\text{s}}$$

$$\delta : + 44^{\circ} 41' .9$$

Per quanto riguarda VB18, scoperta il 19 aprile 1955, se ne osservò che la variazione di luminosità era debole, non superiore alla mezza grandezza, ma la scarsa quantità di materiale non aiutò a stabilire nulla di più. Le sue coordinate erano:

$$\alpha : 12^{\text{h}} 50^{\text{m}} 33^{\text{s}}$$

$$\delta : + 44^{\circ} 54' .2$$

In Fig. 5.8 e 5.9 le cartine con le stelle di riferimento delle variabili VB7 e VB18.

<sup>156</sup> G. Horn d'Arturo, G.B. Lacchini, *Variazioni luminose di altre sette stelle fotografate con lo specchio a tasselli*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico di Bologna", 1955.

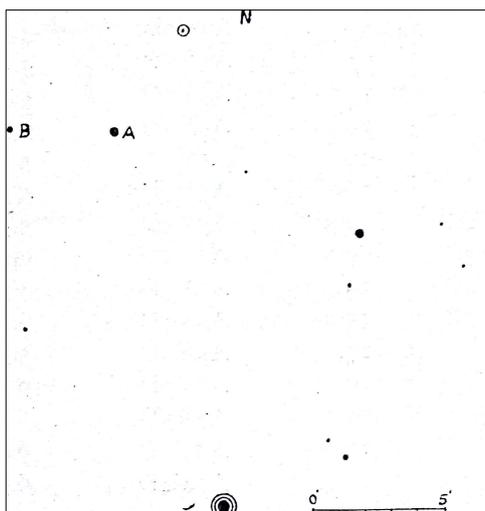


Figura 5.8: Cartina di VB7.

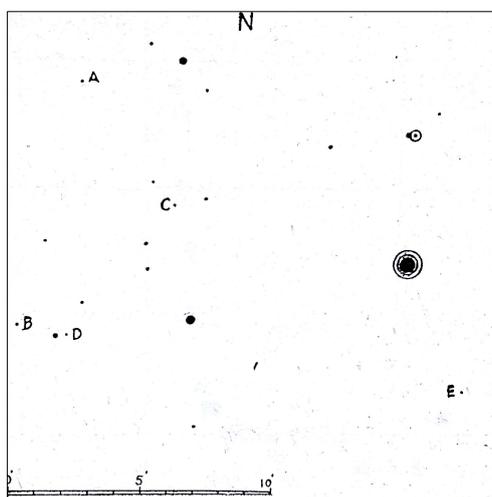


Figura 5.9: Cartina di VB18.

Anche Lacchini riuscì a scoprire, grazie al telescopio bolognese, alcune delle tante variabili da lui osservate. Cinque di queste stelle furono riportate nelle pubblicazioni dell'Osservatorio bolognese insieme a quelle scoperte dall'amico. Per lo studio di questi oggetti l'astronomo utilizzò anche i propri dati osservativi ottenuti con un riflettore, da 21 cm di apertura e 1,68 m di focale, posizionato nella propria specola privata a Faenza. I nomi provvisori per queste stelle erano VB 11, VB 12, VB 13, VB 17 e VB 19.

VB 11 e VB 13, scoperte entrambe a febbraio del 1955, furono classificate da Lacchini come probabili Cefeidi di breve periodo. La stella variabile VB 19 fu invece studiata in modo approfondito dall'astronomo romagnolo. Dal confronto di due lastre ottenute con lo specchio a tasselli nel 1955 si accorse che c'era qualcosa di differente. Andò quindi a riprendere altre fotografie, fatte in precedenza, per trovare conferme. Trovò che la stella era effettivamente presente anche già anni prima ma sempre con

luminosità variabile. La luminosità si aggirava intorno alla quattordicesima grandezza, variando poco più di mezza magnitudine. Lacchini approfondì ulteriormente lo studio della variabile con il proprio telescopio e mise insieme i propri dati osservativi con quelli fotografici. Scoprì così che la stella variabile doveva essere una Cefeide, con un periodo inferiore alle 24 ore. Anche le VB 12 e VB 17 furono osservate per la prima volta nel 1955. Della prima stella Lacchini ne concluse che si trattava di una variabile ad eclisse, mentre della seconda attendeva ulteriore materiale per poterne identificare il tipo.

Lo specchio a tasselli fu utilizzato anche per l'osservazione di alcune variabili già note, per esempio la AY *Her* e le variabili 2085 e 2691 del catalogo Knox-Shaw.

Anche le galassie, allora ancora chiamate nebulose, furono oggetto di studio del telescopio a tasselli. Quelle osservate furono NGC 4445 e NGC 746. Un'altra galassia venne osservata molto bene, una spirale della quale si riuscirono a riconoscere i due bracci ed il bulge, ma che non fu ritrovata nel New General Catalogue. La lastra sulla quale si trova impressa questa galassia è una Kodak OaO (103aO), N.7487, dell'11 maggio 1955. Venne anche fotografata nel 1953 su una Cappelli ultra-sensibile ma oltre ad un'immagine diffusa non era possibile riconoscerne esattamente la natura a spirale. Per questo motivo la fotografia fu rifatta sulla lastra dell'altra ditta, migliore della Cappelli, ma anche più costosa<sup>157</sup> e non utilizzabile per tutte le osservazioni.

Riguardo a quello che si riuscì a compiere con lo specchio a tasselli di 1,80 metri di apertura è importante e significativa la testimonianza di Leonida Rosino in ricordo di Guido Horn d'Arturo:

*«Chi scrive ha avuto la ventura di assistere alle prove e di esaminare le lastre. Quando il seeing è buono, in sei minuti di posa si registrano stelle di 18 magnitudine ed oltre. Questo risultato, già di per sé molto notevole, avrebbe potuto essere assai superiore se i sostegni dei tasselli fossero stati costruiti con invar, se i tasselli fossero stati di quarzo, se anziché usare le modeste Cappelli blu si fossero usate le lastre Kodak, molto più sensibili, ma anche più costose; se infine il telescopio, anziché al centro della città fosse stato sistemato entro idonea costruzione, [...]»<sup>158</sup>*

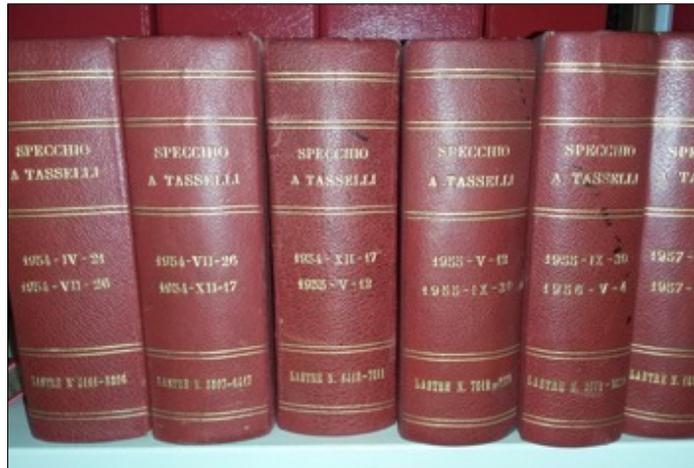
Le osservazioni con lo specchio a tasselli bolognese si conclusero il 31 ottobre 1957 - il giorno successivo Guido Horn d'Arturo andò in pensione - come testimoniano i registri di osservazione dello specchio a tasselli tutt'oggi conservati in archivio (Fig. 5.10). Al Museo della Specola, nella stanza sotto lo specchio a

---

<sup>157</sup> G. Horn d'Arturo, G.B. Lacchini, *Variazioni luminose di altre sette stelle fotografate con lo specchio a tasselli*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna", 1955.

<sup>158</sup> L. Rosino, *Ricordo di Guido Horn d'Arturo*, "Coelum", 1967.

tasselli, sono invece presenti delle casse con all'interno tutte le lastre ottenute con lo strumento (Fig. 5.11).



*Figura 5.10: Registri di osservazioni dello specchio a tasselli (Archivio Dipartimento di Fisica e Astronomia).*



*Figura 5.11: Casse contenenti le lastre fotografiche ottenute con lo specchio a tasselli (Museo della Specola).*

## 5.5 Le stelle variabili scoperte da Horn e Lacchini oggi

Utilizzando il database astronomico Simbad è stato possibile scoprire informazioni in più sulle stelle variabili osservate con il telescopio bolognese dai due astronomi. La ricerca è stata effettuata inserendo i dati delle coordinate delle stelle al 1900 e con un *error box* di 2'.

Cinque delle undici stelle variabili, denominate VB 7, VB 8, VB 12 (Fig. 5.12), VB 13, VB 17, sono presenti e mantengono ancora lo stesso nome. Tra i riferimenti di quasi tutti questi oggetti viene citato l'articolo *Variazioni luminose di altre sette stelle fotografate con lo specchio a tasselli*<sup>159</sup> e tutte quante sono classificate come stelle variabili. Seguendo l'ordine precedente, riportiamo le stelle date da Simbad, in base alle coordinate di Horn e Lacchini, con la precisione di 2 primi d'arco. Intorno alla posizione di VB 1 risulta solo una stella di piccola massa, senza riferimenti alla variabilità, probabilmente non è la stessa osservata negli anni '50. Per le posizioni di VB 3, VB 9 e VB 10 si ottengono invece stelle variabili, di tipo Mira per VB 3 e VB 9, mentre per VB 10 una variabile di tipo W Virgins. Per VB 11 (Fig. 5.13), una Cefeide secondo Lacchini, è possibile confermarne la tipologia. Per l'ultimo oggetto, VB 19 si ottiene una stella variabile di tipo RR Lyrae.

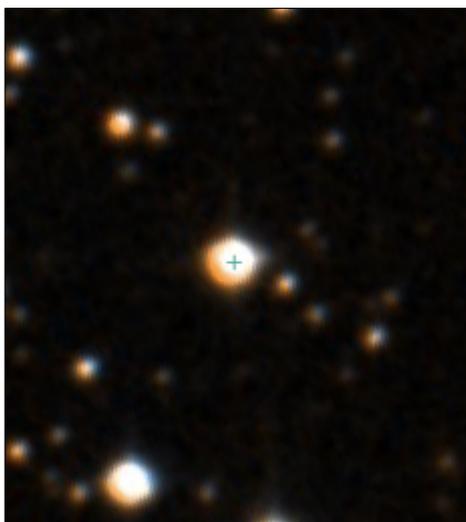


Figura 5.12: VB12

---

<sup>159</sup> G. Horn d'Arturo, *Variazioni luminose di altre sette stelle fotografate con lo specchio a tasselli*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio Astronomico universitario di Bologna", 1955.

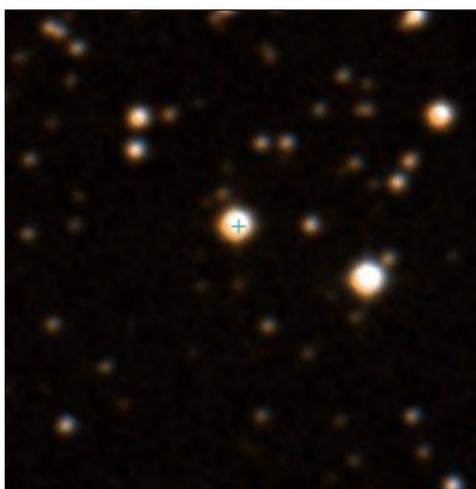


Figura 5.13: VB11

In Tab. 5.3 sono riportate le stelle variabili osservate da Horn e Lacchini con le rispettive coordinate, variazione di luminosità e nuova classificazione secondo Simbad.

| Nome stella Horn-Lacchini | Coordinate   | Tipo di stella                 | Nome attuale della stella  | Variazione di luminosità per H-L (m) |
|---------------------------|--|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| VB1                       | $\alpha : 10^{\text{h}} 17^{\text{m}} 16^{\text{s}}$<br>$\delta : 44^{\circ}38'.0$ | Low Mass Star                  | 2MASS<br>J10231358+4407232 | 2                                    |
| VB3                       | $\alpha : 0^{\text{h}} 59^{\text{m}} 11^{\text{s}}$<br>$\delta : 44^{\circ}29'.1$  | Variable Star of Mira Cet Type | V*HM And                   | 1                                    |
| VB9                       | $\alpha : 19^{\text{h}} 57^{\text{m}} 7^{\text{s}}$<br>$\delta : 44^{\circ}7'.9$   | Variable Star of Mira Cet Type | V*V758 Cyg                 | 1,5                                  |
| VB10                      | $\alpha : 1^{\text{h}} 30^{\text{m}} 10^{\text{s}}$<br>$\delta : 44^{\circ}21'.4$  | Variable Star of W Vir Type    | V*CH And                   | 1                                    |
| VB7                       | $\alpha : 7^{\text{h}} 47^{\text{m}} 25^{\text{s}}$<br>$\delta : 44^{\circ}41'.9$  | Variable Star                  | SV VB 7                    | >5                                   |
| VB18                      | $\alpha : 12^{\text{h}} 50^{\text{m}} 33^{\text{s}}$<br>$\delta : 44^{\circ}54'.2$ | Variable Star                  | SV* VB 18                  | 0.5                                  |
| VB11                      | $\alpha : 4^{\text{h}} 49^{\text{m}} 2^{\text{s}}$<br>$\delta : 44^{\circ}37'.3$   | Classical Cepheid              | V*V470 Aur                 | 1.8                                  |
| VB12                      | $\alpha : 5^{\text{h}} 3^{\text{m}} 49^{\text{s}}$<br>$\delta : 44^{\circ}31'.8$   | Variable Star                  | SV*VB12                    | 1                                    |
| VB13                      | $\alpha : 6^{\text{h}} 8^{\text{m}} 50^{\text{s}}$<br>$\delta : 44^{\circ}43'.9$   | Variable Star                  | SV*VB13                    | 1.6                                  |
| VB17                      | $\alpha : 11^{\text{h}} 18^{\text{m}} 33^{\text{s}}$<br>$\delta : 44^{\circ}52'.1$ | Variable Star                  | SV*VB17                    | 0.8                                  |
| VB19                      | $\alpha : 16^{\text{h}} 25^{\text{m}} 3^{\text{s}}$<br>$\delta : 44^{\circ}34'.0$  | Variable Star                  | V*V349 Her                 | 0.6                                  |

Tabella 5.3

## 5.6 Applicazioni varie

### 5.6.1 Diffrazione nello specchio a tasselli

Il telescopio creato da Guido Horn d'Arturo non venne utilizzato solo per le osservazioni astronomiche. L'astronomo continuò le sue ricerche di ottica grazie agli specchi da lui stesso creati. Dopo lo studio dettagliato sulla riproduzione dell'immagine nel piano focale<sup>160</sup> del 1936, Horn approfondì gli altri difetti visibili nelle fotografie stellari rilevate con il nuovo specchio a tasselli, in particolare quelli riguardanti gli oggetti molto luminosi. Queste "deformazioni" erano date da una caratteristica strutturale del telescopio, ineliminabili, ma Horn ne analizzò comunque le cause. La diffrazione, fenomeno scoperto da Francesco Maria Grimaldi S.J. nel seicento, ma spiegato solo nel 1818 da Fresnel, è alla base di alcune di queste distorsioni visibili. Nella teoria il fenomeno è dovuto al passaggio della luce attraverso fenditure, di varie forme, mentre qui è dato da qualcosa di più complesso ma il principio alla base è lo stesso.<sup>161</sup>

La riproduzione su lastra della radiazione luminosa era data dalla somma di sessantuno immagini, date dagli altrettanti tasselli e per quanto gli specchietti fossero molto ravvicinati tra di loro, essi non erano congiunti e tale spazio fungeva da fessura. A questo distanziamento era dovuto il primo fenomeno di diffrazione riconoscibile nelle immagini. Il secondo era dato da alcuni elementi strutturali del telescopio, cioè a quelle parti metalliche che la radiazione luminosa incontrava nel pozzo ancora prima di incidere sugli specchi. Questi elementi erano le croci fissate una nel centro di curvatura, per l'aggiustamento ottico dei tasselli e una nel piano focale per sorreggere il porta lastre. Le due croci vennero posizionate allineate, sovrapposte una all'altra, per creare meno problemi possibili. Quest'ultimo difetto era lo stesso presente nei telescopi monolitici, ma in questo caso la situazione si presentava più complessa: nei classici telescopi la struttura e lo specchio seguivano l'oggetto preso in considerazione, in modo tale che la luce incidesse su entrambi sempre con la stessa inclinazione; nello specchio a tasselli non era così. Il telescopio bolognese era fisso, immobile, puntato allo zenit, così che il cielo "scorresse" su di esso. Ma questo movimento della sfera celeste creava inclinazioni, dei raggi luminosi, diverse allo scorrere del

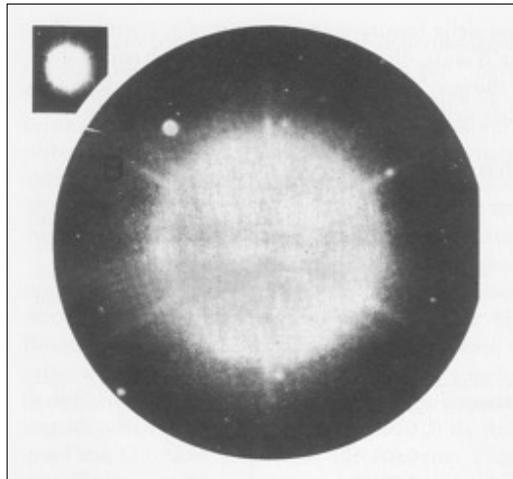
---

<sup>160</sup> G. Horn d'Arturo, *Immagini stellari extrassiali generate dagli specchi paraboloidici, sferici, ed a tasselli*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio Astronomico universitario di Bologna", 1936.

<sup>161</sup> G. Horn d'Arturo, *La figura di diffrazione circondante le immagini stellari fotografate con lo specchio a tasselli*, "Coelum", 1957.

tempo. Tale variazione portava ad una sovrapposizione dei massimi e dei minimi, solitamente ben distinguibili nelle tipiche immagini di diffrazione, ma non qui.

Horn prese in considerazione l'immagine di una stella molto luminosa e ne esaminò quindi tutti i difetti dati dal fenomeno di diffrazione. La stella in considerazione è la  $\beta$  Aurigae, una stella della costellazione dell'Auriga con una magnitudine apparente pari a 2 (Fig. 5.14).



*Figura 5.14: Stella  $\beta$  Aurigae.*

Ingrandendo l'immagine, Horn si accorse che erano presenti numerosi raggi, chiamati spike, dove sei di questi erano riconducibili alle fessure tra i tasselli, mentre altri 4 alle croci poste nel pozzo.

Lo studio della composizione degli spike venne fatto in modo scrupoloso da Horn, calcolandone massimi e minimi della figura di diffrazione dovuta alle due croci e alle fessure dei tasselli. I valori e l'immagine vennero poi confrontati con la struttura dello specchio, facendo notare la disposizione delle fessure e la posizione delle croci su di esso (Fig. 5.15).

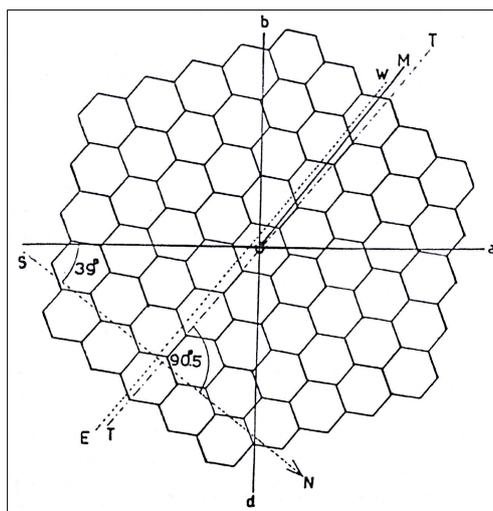


Figura 5.15: Rappresentazione schematica dello specchio a tasselli con la proiezione delle croci metalliche ( $ab$ ,  $cd$ ).  $FW$  è la direzione della lastra sensibile;  $OM$  il braccio dell'albero motore.

In figura sono disegnati i 61 esagoni, distanziati tra di loro 2 millimetri. Con  $ac$  e  $bd$  sono rappresentate le proiezioni delle due croci sullo specchio. L'intersezione tra le due ricade nel centro del tassello centrale. Con  $TT$  si ha uno dei raggi possibili creati dalla fessura intorno al tassello, con  $EW$  la direzione del parallelo seguito dalla lastra sensibile,  $SN$  la direzione del meridiano ed infine con  $OM$  il braccio dell'albero motore. Ora, sovrapponendo la fotografia con la rappresentazione grafica, è possibile riconoscere i raggi orientati esattamente come le fessure dei tasselli e i bracci delle croci (Fig. 5.16).

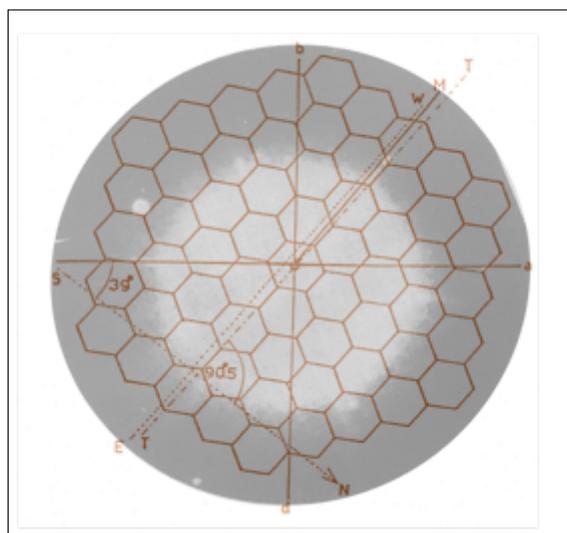


Figura 5.16: Sovrapposizione della stella  $\beta$  Aurigae con la figura 5.15.

L'analisi della figura di diffrazione continuò calcolando anche l'estensione dei raggi visibili nell'immagine. Questo perché i dieci spike prodotti dai due fattori di diffrazione erano

visibilmente diversi in lunghezza. In fotografia sono difficili da identificare, ma sulla lastra sensibile l'astronomo osservò bene la lunghezza di tutti e dieci. Il valore ottenuto per gli spike delle fessure era di 19 millimetri, corrispondente al valore del quarto massimo. I quattro spike dati dalle croci erano invece più corti, 13,50 millimetri e corrispondenti al valore del decimo massimo. In fotografia sono quindi meglio riconoscibili gli spike dati dalle fessure dei tasselli perché più estesi rispetto a quelli delle croci (Fig. 5.17).

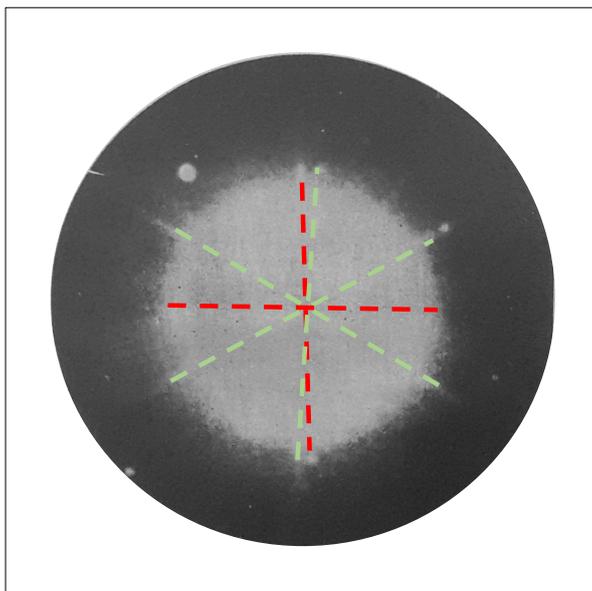


Figura 5.17: Stella  $\beta$  Aurigae con evidenziati gli spike, in rosso quelli dovuti alle croci, in verde quelli dati dalle fessure.

## 5.6.2 I tasselli come interferometro stellare

Negli anni '60 Guido Horn d'Arturo non smise di sviluppare il suo progetto iniziale, restando sempre all'avanguardia verso le novità in campo astrofisico. Nell'articolo *Interferometro stellare costituito da due soli tasselli speculari, distanti tra loro quanto si voglia*,<sup>162</sup> pubblicato sulla sua rivista *Coelum* nel 1965, descrisse la possibilità di usare due tasselli anche come interferometro. La pubblicazione, l'ultima di questo genere, fa emergere però un Horn diverso da quello degli anni scorsi. All'inizio degli anni '30 si mostrò un uomo caparbio e determinato; mentre i numerosi progressi ottenuti negli anni '50 lo trasportarono oltre, facendogli anche intravedere progetti ai limiti della realizzazione, che mai

---

<sup>162</sup> G. Horn d'Arturo, *Interferometro stellare costituito da due soli tasselli speculari, distanti tra loro quanto si voglia*, "Coelum", 1965.

riuscì a mettere in pratica. L'impressione data da quest'ultimo articolo è invece completamente diversa, ne traspare sempre un uomo sapiente, colto, fabbricatore di idee ma flemmatico.

Dopo alcuni brevi cenni di interferometria generale, descrisse brevemente sia gli esperimenti di Michelson, fatti all'osservatorio di Lick e al Monte Wilson per misurare i diametri dei satelliti di Giove, sia agli esperimenti di J. A. Anderson, il quale modificando la struttura di una superficie riflettente misurò l'angolo di separazione della stella doppia  $\alpha$  Aurigae. Anderson riuscì in questa operazione andando a coprire lo specchio del telescopio non direttamente da esso ma dal piano focale. Questa copertura, non totale, lasciava libere due piccole aree in parti opposte del diametro dello specchio. Da ciò gli venne l'intuizione di utilizzare due tasselli, distanti tra loro, anziché ricoprire un grande specchio per poi sfruttarne una minima parte. Del nuovo progetto in questione ne descrisse esattamente l'eventuale struttura nel quale avrebbe dovuto essere costruito ma pose molta meno attenzione alla descrizione dei tasselli, di essi non sappiamo quanto dovessero essere grandi, il materiale, la forma, anche se qualcosa si può dedurre dal disegno allegato all'articolo. Si può intuire che i tasselli sarebbero stati molto più grandi rispetto agli esagoni con apotema di 10 centimetri, come quello in funzione a Bologna e di quelli progettati e mai realizzati per le grotte con apotema di 15 centimetri. Potremmo ipotizzare una forma esagonale o sferica con un raggio o apotema di 50 centimetri.

Avendo sempre un occhio di riguardo per l'economia Horn iniziò a descrivere la nuova idea così: «La montatura di minimo dispendio per questa specie di interferometro sarebbe costituita da un pozzo cilindrico [...]»<sup>163</sup> proseguendo con le dimensioni minime che il luogo avrebbe dovuto avere, cioè una profondità di trentacinque metri ed un diametro di dodici, per cercare di mantenere i tasselli ad una distanza minima di dieci metri (Fig. 5.18); lunghezza mantenuta da Michelson per l'osservazione delle doppie spettroscopiche. Horn proseguì descrivendo la posizione dei due tasselli all'interno del pozzo. Ora questi non erano più fissati su una lastra di marmo ma su una guida  $GG'$ , tramite delle viti micrometriche  $VV'$  ma solidali con dei supporti  $SS'$ , liberi di slittare sulla guida.

Molta importanza venne data anche qui, da Horn, all'aggiustamento ottico dei tasselli che, come nell'antico metodo, sarebbe avvenuto dal piano focale. Una differenza sostanziale era invece data dal numero di collimatori, qui sarebbero stati due ( $CC'$ ) ed in linea con la guida  $GG'$ . Le immagini dei due tasselli si sarebbero poi sovrapposte nel punto  $F$ , equidistante da essi. L'aggiustamento dei tasselli dal centro di curvatura venne in questo caso tralasciato perché, oltre a richiedere una struttura molto più costosa e complessa da creare, esso era considerato inutile in termini di guadagno temporale.

---

<sup>163</sup> Ibidem.

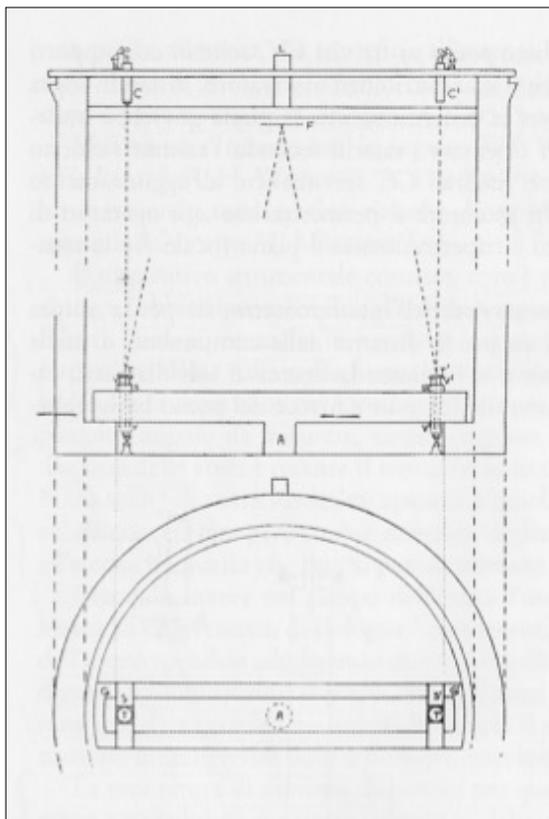


Figura 5.18: Disegno del progetto di interferometro con due tasselli.

Il tempo richiesto per l'aggiustamento ottico dei 61 tasselli del telescopio bolognese non aveva nulla a che vedere con l'aggiustamento di soli due grandi tasselli! Per sistemarli dal piano focale non si sarebbero certamente impiegate ore, come avveniva per il telescopio bolognese prima degli importanti lavori di ristrutturazione eseguiti alla Torre.

Horn concluse l'articolo ribadendo la possibilità di posizionare anche l'interferometro in cavità naturali, ad esempio grotte, come il progetto, preso in considerazione dieci anni prima e mai realizzatosi, di Castellana:

*«[...] un'altra e più semplice soluzione consisterebbe nell'appropriare di qualche cavità sotterranea naturale, cui basterebbe perforare la volta, come un tempo avevo ideato per la grotta di Castellana (Bari). L'arduo progetto non fu effettuato, ma si trattava di allestire uno specchio di 5,10 metri composto da 217 tasselli; ora si tratta soltanto di due tasselli»<sup>164</sup>*

A dieci anni dai primi studi sul grande telescopio, nelle grotte di Castellana, il suo pensiero era ancora lì. Egli ci tenne a far notare la differenza tra il grande specchio composto da 217 tasselli e questo strumento dato da solo 2 di quelli. Pur essendo sempre

<sup>164</sup> Ibidem.

posto all'interno di un pozzo, naturale o artificiale, tale ridimensionamento dell'idea avrebbe dovuto far comprendere di più la fattibilità del nuovo progetto, la semplicità ed il risparmio economico.

Ultima considerazione importante ed inerente a questo articolo è legata ad un'altra frase che Horn utilizzò per introdurre il nuovo progetto, l'interferometro formato dai due tasselli:

*«Restando invece nel campo dell'ottica l'uso di specchi a tasselli quale fu ideato all'Osservatorio di Bologna può servire come segue: si può fare a meno dell'intero specchio adoperando due soli tasselli, di concavità sferica identica, e distanti tra loro quanto si voglia, ma aggiustati in modo che possano considerarsi aree d'una medesima superficie sferica. Il metodo d'aggiustamento, sperimentato innumerevoli volte a Bologna, non lascia dubbi sul suo rigore»*

Horn non solo sottolineò che l'invenzione e l'applicazione dello specchio a tasselli, per la prima volta, avvenne a Bologna ma, nelle citazioni, rimandò il lettore ad un articolo precedente sullo specchio a tasselli. L'anno di tale pubblicazione è importante: non riguardava il potente specchio a tasselli degli anni '50, ma rimandava indietro addirittura nel 1932, l'anno in cui ebbe l'idea, l'anno in cui fece richiesta del brevetto, anno dal quale tutto ebbe inizio.



# Capitolo 6

## Fu realmente un progetto originale?

### 6.1 Un possibile spunto dell'idea di Horn..

L'idea di un telescopio con uno specchio strutturato come un mosaico sbocciò in Guido Horn d'Arturo nel 1932. Come già visto, soprattutto i primi mesi di quell'anno furono colmi di idee, ricerche e soluzioni per riuscire a mettere in pratica l'innovativo progetto. A marzo ed aprile l'astronomo iniziò a prendere contatti con le varie ditte di ottica che avrebbero potuto realizzare la sua idea, puntando inizialmente ad una costruzione totale dello strumento. Riuscì invece ad ottenere una sola risposta affermativa dall'ottico fiorentino Ciabilli, il quale cominciò a produrgli i singoli tasselli. I mesi di maggio e giugno furono altrettanto importanti, il viaggio a Jena nelle officine Zeiss rafforzò la convinzione di Horn nel proprio progetto e dopo poco egli propose l'idea al Ministero delle Corporazioni a Roma per l'ottenimento di una privativa industriale. Proprio dai documenti e dalla corrispondenza di questi eventi si può dedurre un collegamento tra Horn e i costruttori del passato.

Fondamentale è la lettera del 14 maggio 1932 inviata da Horn a Villiger delle officine Zeiss al rientro in Italia.<sup>165</sup> In questa lettera l'astronomo volle principalmente riprendere un concetto esposto a voce al direttore delle Officine riguardante lo specchio a tasselli:

*«Mi preme di ritornare sopra un punto essenziale, che abbiamo toccato fuggacemente nel nostro colloquio del dieci maggio; cioè sulla possibilità di correggere l'aberrazione sferica mediante lo spostamento, parallelo all'asse, dei tasselli speculari: un tentativo di tale correzione era già stato fatto dal Rosse [...]»<sup>166</sup>*

---

<sup>165</sup> ASAB, FH 1, busta 7, lettera 154, 14/05/1932.

<sup>166</sup> Ibidem.

Horn non si limitò a nominare il celebre astronomo irlandese ma riportò a Villiger anche il testo sul quale trovò lo studio fatto quasi un secolo prima da Lord Rosse:

*«[...] Le segnalo la fonte, ov'Ella potrà vedere che (relativamente a questo particolare) l'idea era balenata anche al celebre costruttore inglese:*

*“Account of a new reflecting” by Lord Oxmantown, The Edinburgh Journal of Science Vol. IX, N. 17, p.25 (1828).*

*Lord Oxmantown era il nome che allora portava il futuro Earl of Rosse; il titolo attuale dell'Edinburgh Journal è, com'Ella sa, “The philosophical magazine” che si pubblica a Londra. Questo articolo è contenuto anche nell'Opera omnia del medesimo autore, pubblicate da un suo discendente:*

*“The scientific papers of W. P. third Earl of Rosse London, Percy Lund Humphries, 1926, pag.1»<sup>167</sup>*

I riferimenti dell'astronomo al direttore furono quindi particolareggiati. Egli ci tenne a specificare che già molto tempo prima, la sua stessa idea per la correzione dell'aberrazione sferica, fu ipotizzata anche dal celebre astronomo costruttore di telescopi. Nel testo,<sup>168</sup> del 1828, venivano mostrate le tecniche fino ad allora usate per la correzione dell'aberrazione sferica, introducendo poi il nuovo metodo ideato dall'autore. William Parson (1807-1867), più noto come 3rd Earl of Rosse (Lord Rosse), ideò una tecnica alternativa per evitare tale problema: creare uno specchio con curvatura sferica, ma caratterizzato da un altro specchio posizionato intorno ad esso, fatto ad anello, in modo tale da rendere il diametro dello specchio più grande e correggendo contemporaneamente il cammino dei raggi riflessi lontano dal centro, modificando l'altezza della calotta centrale tramite viti poste sotto di esso. Nell'articolo erano anche presenti dei disegni per spiegare meglio la composizione dello specchio (Fig. 6.1). Nel disegno sono distinguibili i due specchi, le viti che sorreggono quello centrale ed infine i fori sia nel marmo che nella calotta per le viti. Una cosa molto importante da notare è lo spessore di entrambi gli specchi, piuttosto elevato. Dovendo essere questa grandezza pari a 1/6 del diametro, per evitare la deformazione delle grandi superfici riflettenti, in telescopi con apertura maggiore sarebbe certamente aumentata. Le applicazioni di questa tecnica nel campo dell'ottica astronomica non furono mai messe in pratica da parte dell'astronomo irlandese. Egli studiò la tipologia di specchio solo ed esclusivamente per trovare una soluzione alternativa al problema dato dalla curvatura sferica. Guido Horn espresse più volte che la correzione potesse essere fatta secondo il metodo di Lord Rosse.

---

<sup>167</sup> ASAB, FH 1, busta 7, lettera 154, 14/05/1932.

<sup>168</sup> Lord Oxmantown, *Account of a new reflecting telescope*, “Edinburgh Journal of Science”, 1828, vol IX, n.17, pp.25-30.



in quegli anni, avrebbero avuto così tante difficoltà a creare più specchietti con la stessa sezione sferica entro gli errori accettabili. Ritornando alla lettera che l'astronomo scrisse a Villiger nel maggio del 1932, fa pensare la frase «[...] l'idea era balenata anche al celebre costruttore inglese [...]»<sup>172</sup>. L' "anche" potrebbe farci pensare che Horn abbia ideato da solo la correzione dell'aberrazione sferica per il proprio telescopio e trovato poi, in un secondo momento, la conferma negli scritti di William Parson. L'impressione che si ha è comunque quella di una volontà dell'astronomo di collegare il suo progetto a qualcosa di importante, a qualcuno di già affermato e che avesse già ottenuto determinati risultati nello stesso campo. Una valorizzazione in più alla propria idea che Villiger avrebbe potuto prendere in considerazione per lo sviluppo del progetto.

Nel desiderio di vedere il proprio telescopio realizzato, Horn cominciò a cercare conferme, diffondendo sempre più la propria idea.

Al rientro in Italia, dalla Germania, egli scrisse all'amico e collega Lacchini: «Villiger e Mayer rimasero impressionati dalla mia esposizione e mi assicurano che avrebbero fatto l'esperimento; ora staremo a vedere. [...] alla peggio tenterò di parlare con Alvan Clark o con Ritchey dopo di che esaurite le possibilità dei mondi non mi resterà che costruirlo da me, come del resto sto facendo».<sup>173</sup> Deluso sia dall'incapacità delle ditte ottiche italiane, come Filotecnica e Officine Galileo, sia dalla prima risposta ottenuta poi da Zeiss, Horn si convinse a proporre il proprio progetto a G. W. Ritchey.<sup>174</sup> Non essendo presente nulla in Archivio, su questo incontro, non sappiamo se sia realmente avvenuto, ma Horn parlò certamente del suo strumento nelle Americhe, in occasione del viaggio di lavoro. Una testimonianza, già espressa nel capitolo 2 ma molto importante, è quella che l'astronomo scrisse a Gobessi:

*«[...] la mia idea ha trovato molto plauso in America [...]. Un dilettante dell'Osservatorio di Harvard tenterà per conto suo la costruzione dello specchio».*<sup>175</sup>

Anche per questa vicenda non abbiamo ulteriori informazioni, ma sicuramente Horn lasciò qualche seme nella terra d'oltreoceano.

---

<sup>172</sup> ASAB, FH 1, busta 7, lettera 154, 14/05/1932.

<sup>173</sup> Ivi, lettera 157, 15/05/1932.

<sup>174</sup> Ivi, lettera 188, 28/06/1932.

<sup>175</sup> Ivi, busta 7, lettera 242, 09/10/1932.

## 6.2 ..e chi prese spunto dal progetto di Horn

L'autore Albert Graham Ingalls ebbe un ruolo importante nella propagazione dell'idea dell'astronomo italiano. Nell'articolo,<sup>176</sup> già discusso nel capitolo 4, egli fece un'accurata descrizione dell'evoluzione dello specchio a tasselli di Guido Horn d'Arturo, dagli anni '30 fino a quel momento. Nella stessa pubblicazione veniva nominato anche un altro astronomo finlandese che aveva avuto un'idea simile a quella di Horn: Yrjö Väisälä. Nel 1949 egli aveva ideato un telescopio formato da più specchi circolari,<sup>177</sup> fissi ed utilizzabile nel campo dell'astrofotografia sfruttando una lastra correttrice di Schmidt. Horn stesso ammise che l'astronomo finlandese arrivò all'idea di una superficie formata da più specchi in modo autonomo: «Ho appreso da quell'articolo il fatto interessantissimo che pur nella lontana Finlandia un altro astronomo, che non ebbe sentore dei lavori miei, perché non ne parla [...]»<sup>178</sup>; continuando «Veramente a parte il principio del frazionamento della superficie, comune ad entrambi, il Väisälä diverge dal mio procedimento in quanto introduce la lastra correttrice di Schmidt [...]».<sup>179</sup> Anche il principio di cattura dell'immagine era comunque diverso. Lo specchio era fisso a terra come quello di Bologna e la lastra doveva quindi muoversi per poter fare fotografie. Tale idea di movimento era però completamente diversa. Sullo specchio era presente un tubo mobile, con diametro inferiore a quello dello specchio, e sul quale veniva fissata la lastra di Schmidt e la lastra fotografica (Fig. 6.2). In questo modo, pur ruotando, il tubo era sempre concentrato su una sola parte di specchio. Giustamente Horn fece notare: «con ciò si prolunga effettivamente la durata della posa, ma non si sfrutta contemporaneamente tutta la sua area»,<sup>180</sup> effettivamente essendo il tubo più piccolo della dimensione dello specchio ne limitava l'utilizzo completo delle superfici riflettenti. Un'altra cosa molto importante che Horn ci tenne a mettere in evidenza è che il Väisälä non disse mai di avere messo in pratica l'idea avuta, cosa invece successa a Bologna. Il telescopio a tasselli italiano era ancora l'unico ad essere stato messo realmente in funzione e con il quale si erano già ottenuti buoni e incoraggianti risultati.

---

<sup>176</sup> A. G. Ingalls, *The amateur astronomer*, "Scientific American", 1, 1951, pp 60-63.

<sup>177</sup> Y. Väisälä, *A New Procedure for Constructing Gigantic Telescopes*, "Urania", 1949, 220, pp 89-93.

<sup>178</sup> G. Horn d'Arturo, *L'aggiustamento dello specchio a tasselli effettuato dal centro di curvatura*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna", 1955.

<sup>179</sup> Ibidem.

<sup>180</sup> Ibidem.

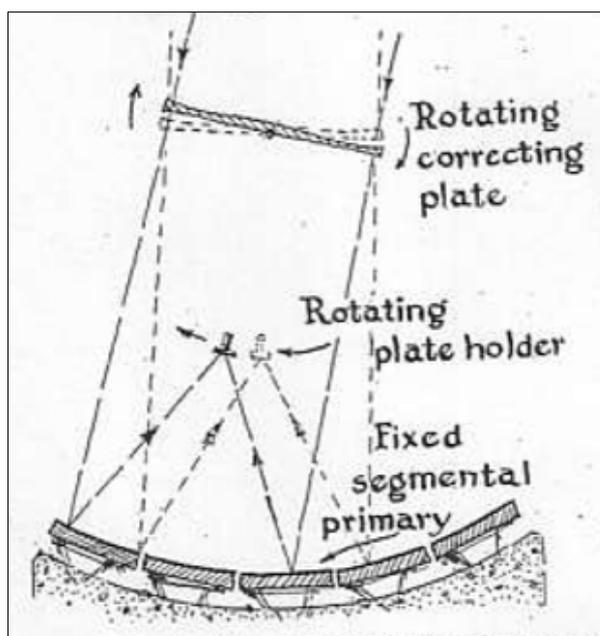


Figura 6.2: Disegno riportato da Ingalls su "Scientific American" del progetto di Väisälä.

L'idea del telescopio a tasselli di Horn cominciò ad essere sempre più diffusa grazie all'importante giornale americano: «La descrizione che il sig. A. G. Ingalls fece del mio specchio nel suo diffusissimo giornale *Scientific American* (1951, fascicolo di gennaio) suscitò un certo interesse al di là dell'Atlantico ed in Australia».<sup>181</sup> Effettivamente l'idea di creare telescopi con più specchi cominciò ad essere sempre più convincente nel panorama ottico internazionale. Ingalls stesso rimase sempre interessato all'evoluzione dei telescopi e nel 1954, sul suo giornale *Scientific American*, riprese ancora le novità di questi strumenti. Da questa nuova pubblicazione Horn scoprì che sia in Australia che negli Stati Uniti qualcuno aveva iniziato a progettare strumenti il cui specchio primario fosse formato da tasselli. Il telescopio australiano, progettato da J. P. Hamilton (Fig. 6.3) era completamente uguale a quello bolognese, formato da 37 tasselli esagonali ma con doppio apotema di 22,5 cm e curvatura sferica pari a 21 m.

La differenza consisteva in gironi con curvatura sferica diversa per far assomigliare lo specchio ad un paraboloide. Horn analizzò le curvature e le precisioni dei raggi di curvatura tra due tasselli e si pose molti dubbi sull'effettiva validità del metodo usato e sulla messa in pratica dell'idea: «L'Hamilton sospetta che qualche difficoltà si sarebbe incontrata nell'aggiustamento dei tasselli e non dice d'averne comunque sperimentato il suo progetto».<sup>182</sup>

<sup>181</sup> G. Horn d'Arturo, *Lo specchio a tasselli di metri 1,80 d'apertura collocato nella Torre dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna*, "Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna", 1955.

<sup>182</sup> Ibidem.

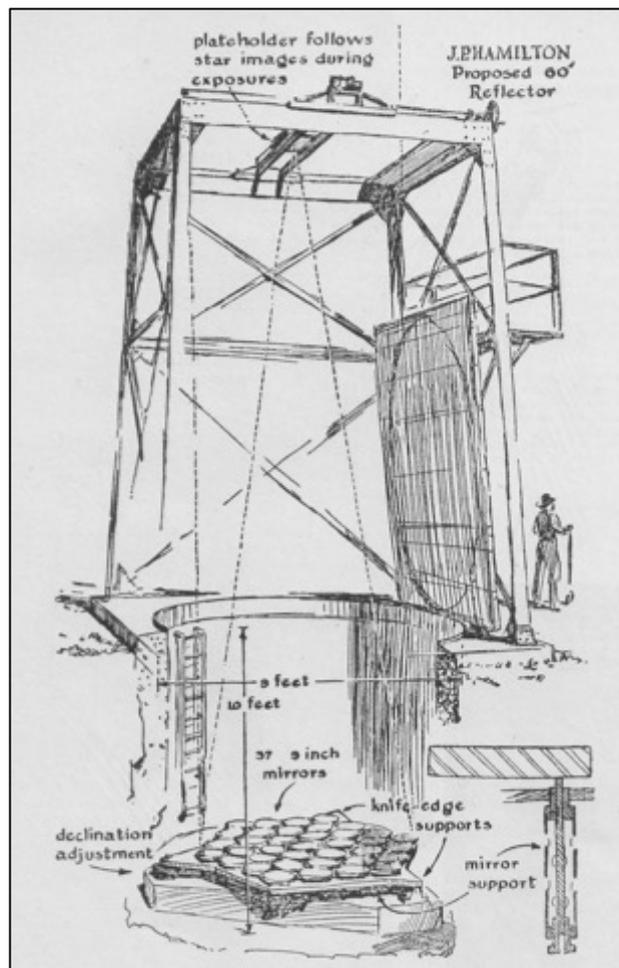


Figura 6.3: Disegno riportato da Ingalls su "Scientific American" del progetto di Hamilton.

In America il nuovo ideatore era invece l'astronomo Lyle T. Johnson. Egli disegnò ben 2 tipologie diverse di telescopio a tasselli, uno più modesto di 12,5 m (Fig. 6.4) ed un altro più grande di 17,5 m (Fig. 6.5).

Entrambi i progetti dell'astronomo americano erano molto simili all'idea di Väisälä, nonostante fossero grandi e formati da tanti tasselli, nessuno dei due rifletteva tutta la luce sulla lastra. Secondo Horn: «il vantaggio della posa un poco più lunga non è compensata dalla macchinosità della montatura ed oltre a ciò è probabile che col progresso della tecnica si riesca in futuro a preparare emulsioni sempre più sensibili alla luce, ed a ridurre adeguatamente il tempo di esposizione».<sup>183</sup> Senza dubbio Horn sapeva che cosa volesse dire creare i tasselli, posizzionarli ed effettuare l'opera di aggiustamento.

<sup>183</sup> Ibidem.

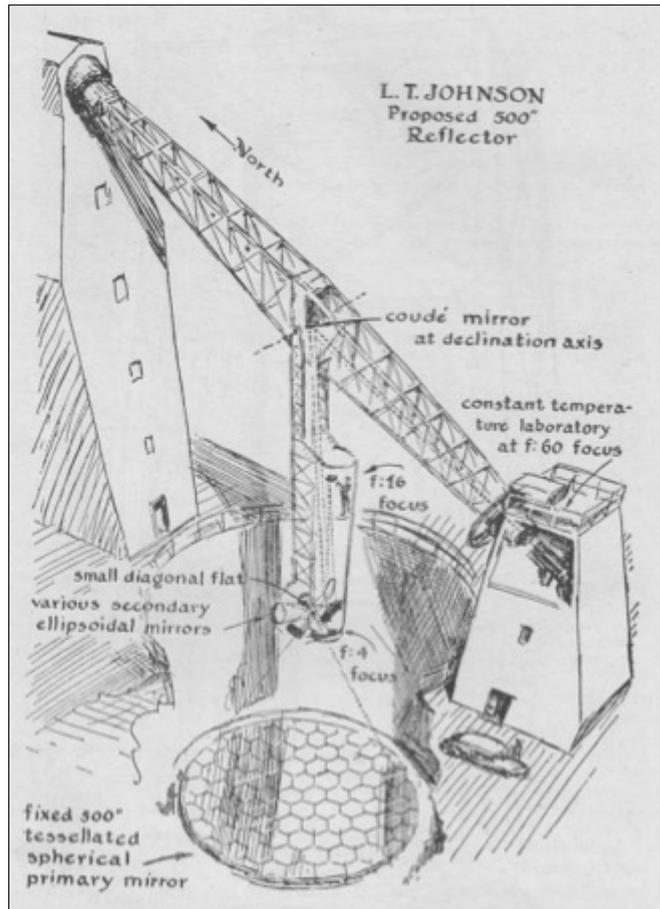


Figura 6.4: Disegno riportato da Ingalls su "Scientific American" del telescopio a tasselli ideato da Johnson con diametro di 12,5 m.

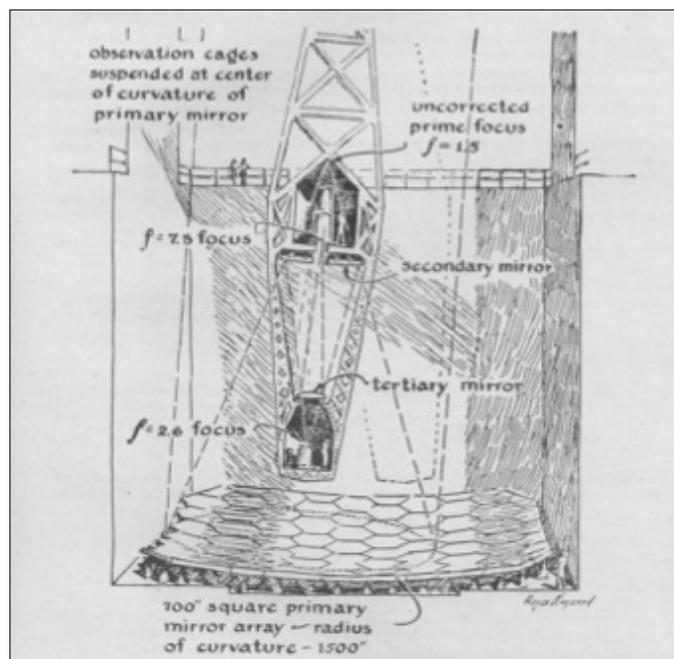


Figura 6.5: Disegno riportato da Ingalls su "Scientific American" del telescopio a tasselli ideato da Johnson con diametro di 17,5 m.

Concluse infatti l'argomento dicendo: «Purtroppo non basta ideare specchi grandissimi come pare sia il caso dei già ricordati Väisälä, Hamilton e Johnson, ma occorre cimentarsi con le difficoltà della levigazione e dell'aggiustamento, [...] speriamo che si estenda l'interesse per il problema di ottenere superficie a tasselli sempre più vaste, e conduca a qualche progresso sostanziale».<sup>184</sup> Horn era soddisfatto che la propria idea iniziasse ad essere presa sempre più in considerazione. Nel 1954 il proprio telescopio a tasselli era ancora l'unico effettivamente realizzato e funzionante. Tutti gli altri costruttori non parlarono mai di esperimenti fatti, ma solo ed esclusivamente di disegni, progetti. Bisognerà aspettare altri dieci anni per vedere qualche cambiamento e novità sostanziale da parte di altri costruttori. Nell'ultimo articolo<sup>185</sup> di Guido Horn d'Arturo, con oggetto lo specchio a tasselli, apparso sulla propria rivista *Coelum* nel 1966, l'astronomo cercò di riassumere tutte le applicazioni degli specchi a tasselli a livello internazionale. Nel 1964, in Australia, all'Osservatorio di Narrabri cominciarono ad utilizzare superfici frammentate ad uso di interferometro. È possibile dire che questo strumento fu il primo, dopo il telescopio a tasselli bolognese, ad essere realmente realizzato (Fig. 6.6). Esso era formato da due specchi a tasselli con un diametro totale di 6,5 m e disposti su un binario.

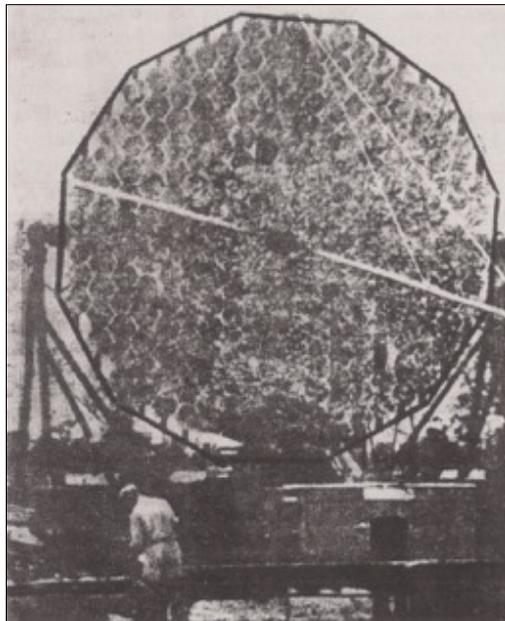


Figura 6.6: Interferometro di Narrabri.

Horn non era però completamente convinto dello strumento australiano: «Peccato che non sia detto come avvenga l'aggiustamento dei tasselli che deve essere rigorosissimo se lo

---

<sup>184</sup> Ibidem.

<sup>185</sup> G. Horn d'Arturo, *Applicazioni dello specchio a tasselli*, "Coelum", 1966.

specchio ha funzione di ottica e forse meno rigoroso se la luce convogliata ad esso viene a colpire il dispositivo elettrico come è il caso dell'impianto di Narrabri». <sup>186</sup> Infatti, lo strumento australiano, che funzionava come un interferometro, utilizzava come rivelatore un fotometro fotoelettrico. Non aveva quindi la necessità di fornire un'immagine ben risolta, come nel caso fotografico di Horn. L'evoluzione dei telescopi cominciò ad accelerare e si iniziò a pensare anche a telescopi con specchi a tasselli da mandare in orbita: «Leggiamo in un articolo di W. S. Beller che si sono consociate le grandi ditte costruttrici e cioè la Perkin Elmer, la Boeing Co. e l'American Optical Co. per allestire un telescopio extraterrestre che sarà messo in orbita nel 1979!» <sup>187</sup> (Fig. 6.7). Questo genere di strumento avrebbe reso tutta la struttura più leggera, opera difficilmente realizzabile con i vecchi specchi monolitici.

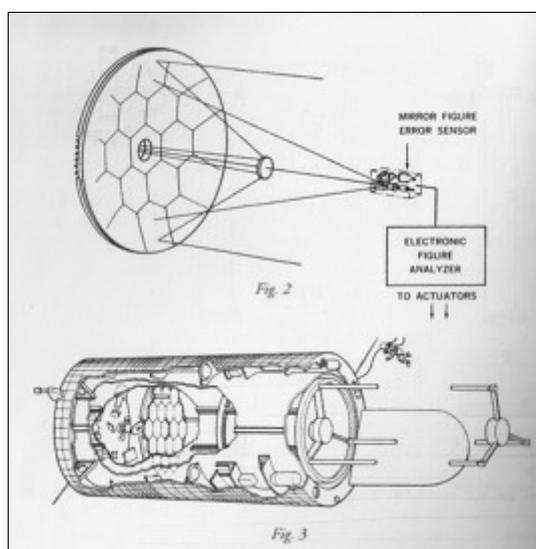


Figura 6.7: Primo progetto di telescopio a tasselli "extraterrestre".

Altro strumento che Horn nominò fu quello che era in progetto da parte dello *Smithsonian Astrophysical Observatory*. Il progetto in questione si riferiva ad un telescopio riflettore con diametro di 15 m e formato da uno specchio a tasselli.

Infine l'astronomo parlò anche di un progetto fatto dall'americano R. H. Miller. Egli aveva intenzione di creare un interferometro di Michelson con una base di un kilometro. Anche questo strumento non suscitò molta ammirazione da parte di Horn, era complesso da costruire e probabilmente le difficoltà incontrate sarebbero state numerose secondo l'astronomo italiano. Egli si ricollegò così alla sua idea dell'anno precedente, l'interferometro formato da due tasselli: «Chi scrive aveva

<sup>186</sup> Ibidem.

<sup>187</sup> Ibidem.

proposto un interferometro più modesto consistente due soli tasselli distanti fra loro dieci metri col quale sarebbe già possibile raccogliere una enorme quantità di osservazioni [...]».<sup>188</sup> L'articolo si concluse con il ricordo del proprio ultimo progetto mai costruito: «Di non difficile costruzione sarebbe invece l'interferometro composto di soli due tasselli distanti tra loro dieci metri, [...]; vagheggerei di vederlo costruito se tanti ostacoli non si opponessero»<sup>189</sup>

Horn nel 1966 aveva 87 anni e dopo pochi mesi dall'uscita dell'articolo morì, lasciando un'infinita eredità all'astronomia bolognese ma non solo. Tutto il panorama astronomico internazionale gli deve molto, il principio alla base di diversi telescopi oggi più importanti è lo stesso applicato da Guido Horn d'Arturo nel suo telescopio bolognese.

In risposta al titolo del capitolo possiamo ora confermare che si trattò di un progetto realmente originale, il primo telescopio creato con uno specchio "segmentato" è quello di Guido Horn d'Arturo visibile ancora oggi al Museo della Specola di Bologna (Fig. 6.8).

Lord Rosse, prima di lui, aveva trovato solo una soluzione al difetto dato dalla curvatura sferica. Horn cominciò ad utilizzare il suo telescopio in campo astronomico nel 1935 migliorandolo sempre più, fino agli anni '50. Gli altri progetti di telescopi formati da più specchi sono tutti successivi a quello dell'astronomo italiano.

---

<sup>188</sup> Ibidem.

<sup>189</sup> Ibidem.



*Figura 6.8: Specchio a tasselli di Guido Horn d'Arturo, Museo della Specola.*

# Capitolo 7

## “I Telescopi dell’avvenire”

Negli anni '60 il mondo della tecnologia astronomica si rese conto della possibilità di creare strumenti utilizzando superfici regolarmente frammentate, tralasciando i vecchi specchi monolitici, sempre più spessi e pesanti.

Guido Horn d'Arturo, già trent'anni prima, aveva intuito che la nuova strada dell'ottica astronomica sarebbe andata in quella direzione: «Il lettore si domanderà perché vogliamo comporre lo specchio a pezzi, quando si può avere integro: rispondo che oltre un certo diametro la fusione e la levigazione trascendono le forze umane, laddove, la confezione dei tasselli dello spessore di un centimetro e dell'area di circa un decimetro quadrato è impresa facilissima [...]. Ed è lecito pensare che, riuscendo nell'esperimento col diametro di un metro e dieci, senza soverchia difficoltà si possa arrivare ad aperture considerevolmente maggiori»<sup>190</sup> Oggi possiamo effettivamente dire che l'astronomo ha certamente anticipato e sperimentato la grande idea. Negli anni successivi, nonostante la diffusione internazionale da parte di Ingalls, non venne mai dato ad Horn né merito per tutto il lavoro fatto né un riconoscimento per il grande progetto portato a termine nella torre bolognese.

Horn fece solo in tempo a venire a conoscenza del telescopio di Narrabri (effettivamente utilizzato per la misura dei diametri stellari) e di qualche altro progetto non ancora però messo in pratica, ma il futuro seguì proprio le sue intuizioni. Peccato che nell'articolo che uscì su *Sky and Telescope*,<sup>191</sup> il costruttore australiano Robert Hanbury Brown descrisse il progetto da lui ideato, ma non citò mai i lavori di Horn e neanche fece riferimento a tutte le idee, precedenti alle sue, avute nello stesso campo da Hamilton, Johnson e Väisälä. L'idea di uno specchio a tasselli era comunque arrivata dieci anni prima nella terra

---

<sup>190</sup> G. Horn d'Arturo, *Telescopi dell'avvenire e specchi a tasselli*, “Coelum”, 1932.

<sup>191</sup> R. Hanbury Brown, *The Stellar Interferometer at Narrabri Observatory*, “Sky and Telescope”, agosto 1964.

australiana, visto che già Hamilton aveva cercato di ideare un telescopio quasi uguale a quello bolognese.

Un progetto che si avvicinava invece di più all'idea dell'astronomo italiano, ideato già negli anni '60, era quello dello Smithsonian Astrophysical Observatory, modificato nel tempo ed inaugurato solo nel 1979.

Un ruolo chiave del ricordo di Guido Horn d'Arturo, negli anni successivi alla sua morte, è sicuramente di Luigi Jacchia (1910-1996). L'astronomo, allievo di Horn negli anni '30, ebreo come lui, si trasferì ad Harvard nel 1939, sempre per fuggire alle persecuzioni razziali. Egli era presente alla nascita del progetto nel 1932 e rimase sempre aggiornato sulle evoluzioni degli anni seguenti. Il rapporto tra i due non si interruppe mai, fino al 1967. Nel 1978 Jacchia, scrisse l'articolo *Forefathers of the MMT* su *Sky and Telescope*<sup>192</sup> per sottolineare il collegamento tra il progetto dell'astronomo italiano e quello americano, la cui inaugurazione sarebbe avvenuta l'anno seguente. Nella pubblicazione Jacchia descrisse molto bene tutto il lavoro fatto all'Osservatorio bolognese e specificò la strada seguita da Horn per creare il telescopio a tasselli. Fatta una descrizione generale delle difficoltà incontrate per la costruzione dei telescopi in uso nella prima metà del 1900 (Hooker ed Hale) introdusse l'idea di Horn: «If it became impossible to cast larger mirrors, would it not be feasible to assemble smaller mirrors to form a reflecting surface of great size? Horn d'Arturo thought it would be possible».<sup>193</sup> Nell'articolo non potevano certo mancare i pregi del telescopio bolognese e gli inconvenienti dati dallo specchio frammentato ed immobile. Sono presenti anche brevi cenni a Lord Oxmantown ed al telescopio australiano di Hanbury Brown. Jacchia fece in realtà anche un collegamento ulteriore, tra Horn e il radiotelescopio di Arecibo, costruito negli anni '60. Egli rivide anche in quel progetto un'idea avuta da Horn: quella di sfruttare cavità naturali per posizionare i nuovi, grandi e importanti strumenti astronomici. Probabilmente, secondo Jacchia tutti i “nuovi” costruttori non erano a conoscenza dei lavori di Horn perché non venivano mai citati, ma è comunque difficile da credere o dimostrarne il contrario. L'astronomo fece riferimento anche a Väisälä, il cui progetto era quello più contemporaneo a quello di Horn, mettendo in risalto le differenze tra i due strumenti ideati dagli astronomi alla fine degli anni '40. Horn e Väisälä avevano però anche qualcosa in comune, non furono mai realmente presi in considerazione dai colleghi di quegli anni e la limitata diffusione dei loro lavori ne penalizzò il riconoscimento: «All of his (Horn) papers on the telescope were in Italian, except for a note in the *Journal of the British Astronomical Association* [...] so they were little read outside of Italy. As to Väisälä, his only article on his model telescope was that in *Urania*, a journal with

---

<sup>192</sup> L. Jacchia, *Forefathers of the MMT*, “Sky and Telescope”, 1978.

<sup>193</sup> Ibidem.

a limited circulation outside Spanish-speaking countries».<sup>194</sup> Jacchia concluse l'articolo con un ricordo personale sull'astronomo italiano: «In Italy Horn-d'Arturo was considered an eccentric, and mention of his "specchio a tasselli" almost invariably caused shrugs and smiles».<sup>195</sup> Ora, invece, possiamo affermare che Horn aveva ragione, Horn aveva capito prima di tutti gli altri. Come disse Jacchia: «All things considered, the MMT on the eve of completion in Arizona must be considered a descendant, along a cadet line, of Bologna telescope».<sup>196</sup> Il Multiple Mirror fu inaugurato il 9 maggio del 1979. Era composto da sei specchi circolari con diametro di 1,82 metri, equivalente ad una superficie riflettente con diametro di 4,45 metri. Nonostante, negli anni '70, il nome di Horn non sia mai stato citato, oggi sul sito<sup>197</sup> del MMT è possibile trovare un articolo<sup>198</sup> con riferimenti all'astronomo italiano. Particolarmente interessante è una tabella (Fig. 7.1) dove vengono elencati tutti gli strumenti composti da più specchi ed i relativi costruttori.

**Table 1** Other multiple objective telescopes

| Reference                                 | Type <sup>a</sup> | Objective type | Diameter element (cm) | Number of objectives | Total collecting area (cm <sup>2</sup> ) | Comments  |
|---|-------------------|----------------|-----------------------|----------------------|--|---|
| Oxmantown (1828)                          | A                 | Mirror         | ~ 10                  | 2                    | 180                                      | Goal was not large size but elimination of spherical aberration.  |
| Horn-d'Arturo (1935)                      | A                 | Mirror         | 10                    | 20                   | 2160                                     | Zenith pointed. Track by moving photographic plate.   |
| Vaisala (1949)                            | A                 | Mirror         | 32                    | 7                    | 5600                                     |   |
| Horn-d'Arturo (1950, 1951, 1955, 1956a,b) | A                 | Mirror         | 20                    | 61                   | 22000                                    | Zenith pointed. Track by moving photographic plate. 1955 article has sketch for 13- and 18-meter mirrors by L. T. Johnson |
| Hanbury Brown (1964)                      | A                 | Mirror         |                       | 252                  | 300000                                   | Angular resolution only 6 arcmin.   |
| Burke et al. (1968)                       | A                 | Mirror         | 60                    | 248                  | 780000                                   | Angular resolution only 0.5 deg.  |
| Fälter (1978)                             | B                 | Lens           | 19                    | 80                   | 23000                                    | ~ 3-arcsec resolution and field of view.  |
| Basov et al. (1979)                       | A                 | Mirror         | 40                    | 7                    | 11000                                    |   |
| Grainger (1979)                           | B                 | Mirror         | 38                    | 7                    | 8000                                     |   |
| MMT (Carleton & Hoffmann 1978)            | B                 | Mirror         | 180                   | 6                    | 150000                                   |   |

<sup>a</sup>Type A = segmented mirror telescope with prime images coincident.  
Type B = multiple telescope device with images combined by relay optics.

Figura 7.1

Nell'articolo venne poi brevemente descritto il lavoro di Horn fatto a Bologna, senza però mai esplicitare tutti i reali risultati

<sup>194</sup> Ibidem.

<sup>195</sup> Ibidem.

<sup>196</sup> Ibidem.

<sup>197</sup> <https://www.mmt.org/node/442>.

<sup>198</sup> Beckers et al., *The Multiple Mirror Telescope*, "Telescope for the 1980's", 1981.

osservativi ottenuti, come la scoperta delle stelle variabili, l'osservazione delle stelle doppie o di alcune galassie. Interessante è osservare i riferimenti degli articoli di Horn, tra questi sono presenti due dei tre che Horn fece in lingua straniera: quello in inglese nel 1953<sup>199</sup> e quello in tedesco del 1956.<sup>200</sup> L'idea di Jacchia riguardo la poca divulgazione dei lavori di Horn a causa della lingua, possiamo quindi considerarla corretta, questo articolo del 1981 ce lo dimostra. Il MMT fu utilizzato fino al 1998 (Fig. 7.2).

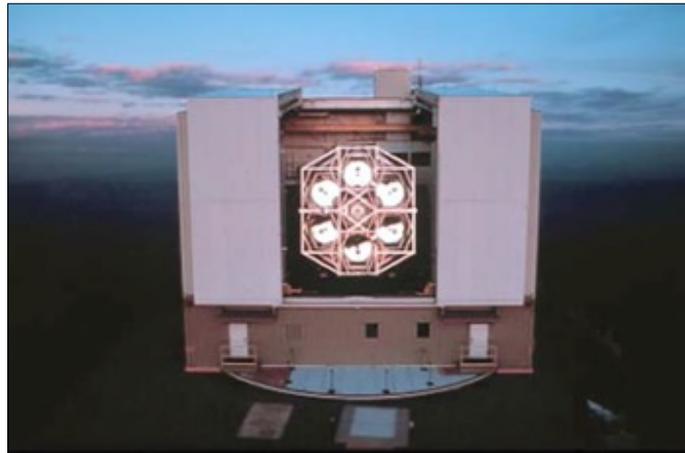


Figura 7.2 Multiple Mirror Telescope (MMT), Arizona, Stati Uniti.

I sei specchi del MMT sono stati sostituiti, nel 2000, da uno solo con un diametro di 6,5 metri, ma mantiene ancora oggi lo stesso nome.

Nei testi di ottica è possibile trovare un cenno del lavoro di Horn nel libro di Raymond N. Wilson, *Reflecting Telescope Optics II*.<sup>201</sup> All'interno l'autore segnala inizialmente il lavoro fatto a Bologna come pionieristico ma non approfondisce, non descrive tutti gli esperimenti fatti da Guido Horn d'Arturo nella Torre. Successivamente vengono invece descritti i telescopi di ultima generazione, i "segmented mirror telescopes" strumenti con specchio primario segmentato, ciò che Horn chiamava più semplicemente tasselli.

Molti dei migliori telescopi ottici oggi utilizzati, o in fase di progettazione, si basano sullo stesso principio che Guido Horn d'Arturo sviluppò per il telescopio dell'Osservatorio di Bologna. Non approfondiamo le nuove tecnologie introdotte in questi nuovi strumenti perché la venuta dell'elettronica e della digitalizzazione ha cambiato totalmente il metodo di controllo

---

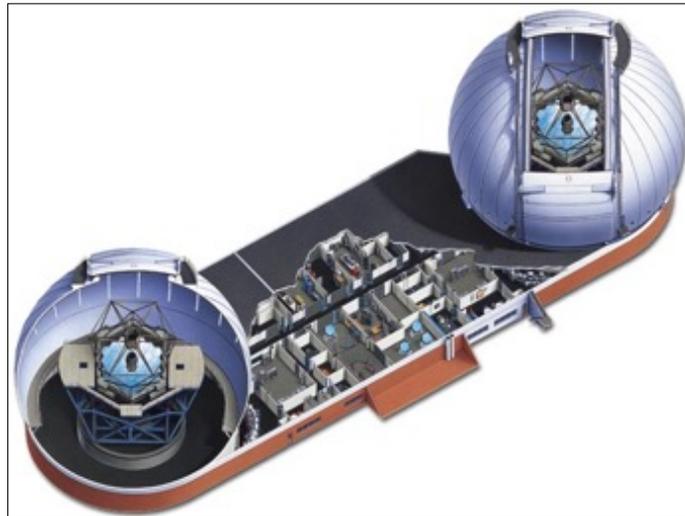
<sup>199</sup> G. Horn d'Arturo, *The tessellated mirror*, "Journal of British Astronomical Association", 63, 2 1953.

<sup>200</sup> G. Horn d'Arturo, *Über eine neue art von Teleskopspiegeln*, "Optik", XIII, 1956.

<sup>201</sup> R. N. Wilson, *Reflecting Telescope Optics II*, 1999, Springer, pp 175-176.

delle ottiche e di acquisizione delle immagini. Si vuole comunque fare una breve rassegna di tutti gli strumenti che hanno uno specchio con superficie segmentata, mantenendo sempre un ordine cronologico sulla effettiva messa in opera.

Il primo telescopio, dopo MMT, ad avere una superficie fatta da più specchi è il Keck 1 inaugurato nel 1993 a Mauna Kea (Isole Hawaii) e seguito dopo tre anni dal Keck II (Fig. 7.3). Lo specchio primario, di ognuno dei due telescopi, è formato da 36 esagoni e ha un'apertura totale di circa 10 metri.



*Figura 7.3: Keck I e Keck II, Mauna Kea, Isole Hawaii, Stati Uniti.*

Un altro telescopio, attivato sempre negli anni '90, è l'Hobby Eberly Telescope (HET, del 1997), situato in Texas, con un diametro sempre di 10 metri ma formato da ben 91 esagoni.

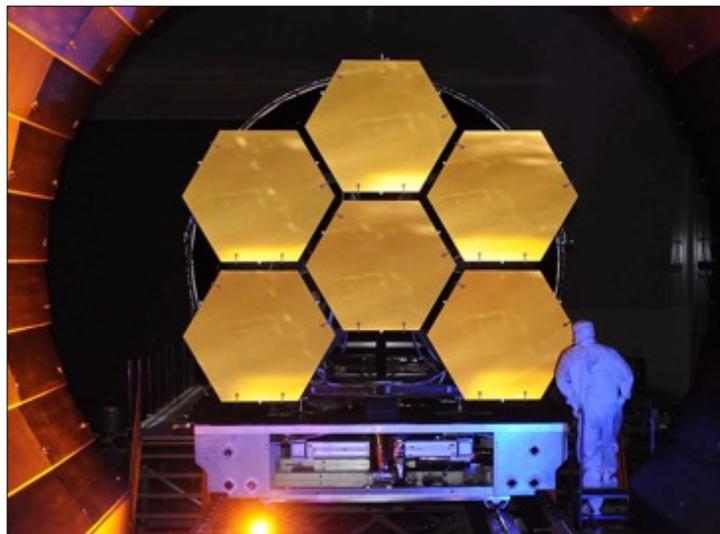
Altri telescopi più recenti sono il Southern African Large Telescope (SALT, del 2005), molto simile all'HET, situato in Sudafrica, composto da 91 esagoni e con un'apertura di 9,2 metri; il Gran Telescopio Canarias (GTC, del 2007) formato da 36 segmenti per un'apertura 10,4 metri e situato a La Palma, in Spagna; infine il Large Sky Area Multi-Object Fibre Spectroscopic Telescope (LAMOST, del 2008), composto da uno specchio primario dato da 24 esagoni e il secondario da 37, con un'apertura di circa 4 metri, situato in Cina.

Anche tra i telescopi in cantiere ve ne sono numerosi che avranno lo stesso principio del telescopio a tasselli. Tra questi spicca il Thirty Meter Telescope (TMT), avrà un diametro da 30 metri e sarà formato da 492 tasselli esagonali. Il luogo dove sorgerà è ancora da definire. Un telescopio già in costruzione è l'European Extremely Large Telescope (E-ELT), avrà un'apertura di 39,3 metri e sarà formato da 798 esagoni. Sarà il più grande creato con questa tecnica (Fig. 7.4). Verrà costruito in Cile.



*Figura 7.4: European Extremely Large Telescope (E-ELT).*

Anche nel campo dei telescopi spaziali si sta progettando uno specchio formato da esagoni, questo sarà il James Webb Space Telescope (JWST), formato da 18 segmenti, con un'apertura totale di 6,5 metri (Fig. 7.5). Il suo lancio è previsto per ottobre 2018.



*Figura 7.5: James Webb Space Telescope, in fase di produzione.*

Infine, l'ultimo telescopio formato da più specchi che vogliamo ricordare, in progettazione, è il Giant Magellan Telescope (Fig. 7.6). Questo strumento è quello che assomiglia più di tutti al MMT perché lo specchio primario sarà formato da sette specchi circolari anziché da esagoni e l'apertura totale sarà di 25,4 metri. Anch'esso sarà costruito in Cile.

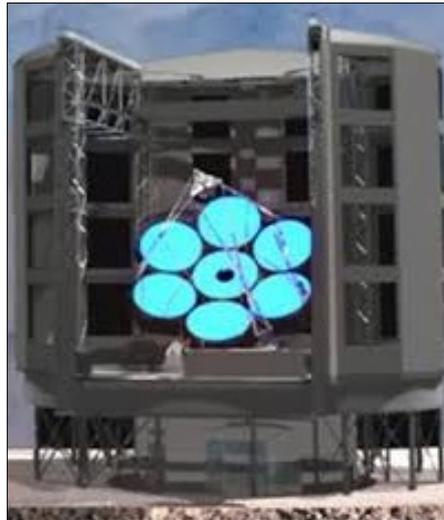


Figura 7.6 Giant Magellan Telescope.

Proviamo a fare un confronto grafico di tutte le evoluzioni dei telescopi, in termini di dimensioni di specchio primario, considerando anche quello di Horn degli anni '50. Nella Fig. 7.7 sono presenti tutti gli specchi degli strumenti di cui abbiamo parlato fino ad ora.

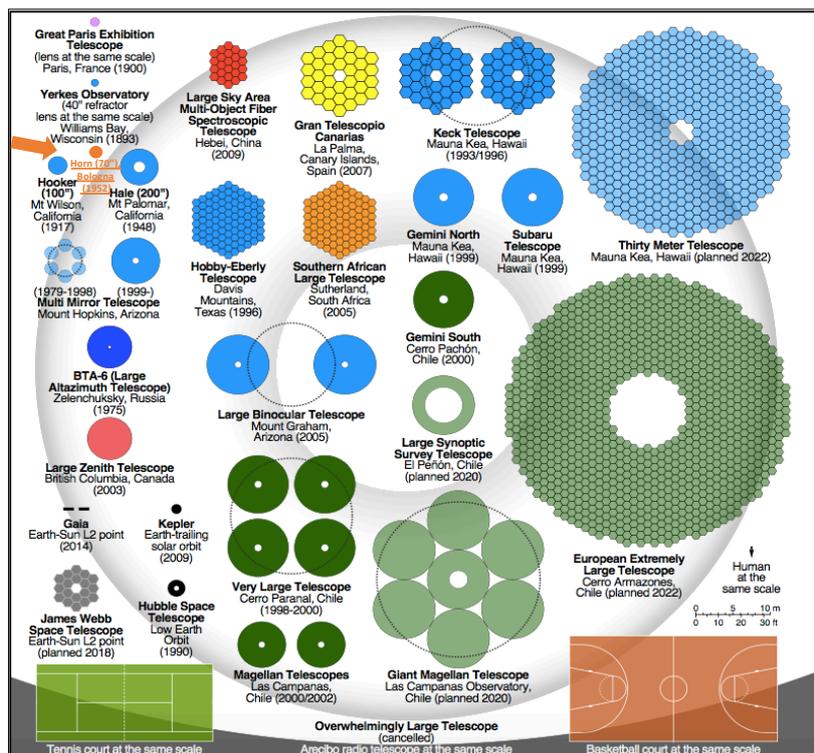


Figura 7.7: Confronto tra gli specchi primari segmentati del passato, del presente e del futuro.<sup>202</sup>

In alto, a sinistra, in arancione, è rappresentato il telescopio a tasselli di Guido Horn d'Arturo. Sembra piccolo se paragonato a quelli di oggi, ma l'ottica di fondo a tutti questi strumenti è quella ideata dall'astronomo italiano. Gran parte degli strumenti attuali più importanti ed in progettazione sono quindi basati sullo stesso principio dell'idea di Horn.

In conclusione, vorremmo riprendere l'ultima parte dell'articolo di Rosino, del 1952, egli concludeva così: «Saranno dunque a tasselli i telescopi dell'avvenire? Noi crediamo che gl'istrumenti d'ottica per lo studio del cielo si svilupperanno in diverse direzioni, a seconda delle esigenze della ricerca scientifica [...]. Ma insieme, costruiti sui medesimi principi, vedremo probabilmente gl'immensi specchi multipli, immobili e fissi allo zenit».<sup>203</sup> Questo è proprio quello che osserviamo oggi. L'astronomia ha subito varie ramificazioni e per ognuna di queste è presente uno strumento adeguato che possa aiutare il ricercatore nell'indagine scientifica. L'uomo, lo scienziato, ha bisogno di vedere sempre oltre per conoscere la realtà e l'astronomo ha bisogno di strumenti sempre più grandi e potenti per investigare a fondo la vera natura dell'Universo. La costruzione di grandi telescopi ha fatto passi da gigante nell'ultimo secolo, ma il primo ad avere avuto la grande intuizione, mettendola in pratica, fu Guido Horn d'Arturo.

Lo specchio a tasselli formato da esagoni lo possiamo considerare il primo telescopio di quelli di "nuova generazione", il primo strumento di una grande serie che ancora è in evoluzione.

Lo specchio a tasselli trapezoidali lo possiamo ricordare come un ibrido, una via di mezzo tra i vecchi telescopi monolitici ed i nuovi segmentati. Quell'idea di Horn partì proprio dalla suddivisione in tasselli di una superficie integra, il cui progetto, per cause non ancora totalmente chiare, non ottenne il degno e meritato attestato di privativa industriale.

---

<sup>203</sup> L. Rosino, Il telescopio verticale a tasselli dell'Osservatorio universitario di Bologna, Sapere, 421/422, 1952.





# Appendice

## Articoli di G. Horn d'Arturo sullo specchio a tasselli

Riportiamo qui tutti gli articoli di Horn relativi allo specchio a tasselli. La bibliografia completa delle opere di Guido Horn d'Arturo (a cura di Marina Zuccoli) è nel sito della biblioteca del Dipartimento di Fisica e Astronomia (DIFA) all'indirizzo: <http://www.bo.astro.it/~biblio/Archives/Galleria/hornbib.html>

1932

- ◇ *Strumenti e progressi dell'Astronomia (Coelum, II, 1932, 2, pp. 25-27);*
- ◇ *Telescopi dell'avvenire (Coelum, II, 3, pp. 49-52);*
- ◇ *Telescopi dell'avvenire e specchio a tasselli (Coelum, II, 1932, 6, pp. 121-124).*

1935

- ◇ *Il cielo fotografato con lo specchio a tasselli (Coelum, V, 1935, 11, pp. 233-236);*
- ◇ *Primi esperimenti con lo specchio a tasselli (Memorie della Società Astronomica Italiana, IX, 1935, pp. 133-146; Pubbl. Oss. Astron. Di Bologna, III, 1935, n.3).*

1936

- ◇ *Immagini stellari extrassiali generate dagli specchi paraboloidici, sferici ed a tasselli (Pubbl. Oss. Astron. di Bologna, III, 1936, n.5).*

1937

- ◇ *La deformazione delle immagini stellari generate dagli specchi parabolici (Coelum, VII, 1937, 4, pp. 67-68);*
- ◇ *La deformazione delle immagini stellari detta "coma", scomposta nei suoi elementi (Pubbl. Oss. Astron. Di Bologna, III, 1937, n.6).*

- 1938
- ◇ *La curva trifoliare generata dagli specchi paraboloidici nelle immagini stellari (Pubbl. Oss. Astron. Di Bologna, III, 1938, n.7).*
- 1950
- ◇ *Altri esperimenti con lo specchio a tasselli (Pubbl. Oss. Astron. di Bologna, V, 1950, n.11);*
  - ◇ *Comunicazione sullo specchio a tasselli letta alla radio di Bologna il giorno 16 aprile 1950 (Coelum, XVIII, 1950, 5-6, pp. 67-68).*
- 1952
- ◇ *L'aggiustamento dello specchio a tasselli effettuato dal centro di curvatura (Pubbl. Oss. Astron. di Bologna, V, 1952, n.17);*
  - ◇ *Lo specchio a tasselli dell'Osservatorio Astronomico di Bologna (Coelum, XX, 1952, 5-6, pp. 65-68).*
- 1953
- ◇ *The tessellated mirror (Journal of the British Astron. Ass, 63, 2, 1953, pp. 71-74).*
- 1955
- ◇ *Lo specchio a tasselli di metri 1,80 d'apertura collocato nella Torre dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna (Pubbl. Oss. Astron. di Bologna, VI, n.6, 1955);*
  - ◇ *Il compiuto specchio a tasselli di metri 1,80 d'apertura collocato nella Torre dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna (Coelum, XXIII, 1955, 5-6, pp.65-68);*
  - ◇ *Variazioni luminose di quattro stelle scoperte fotograficamente con lo specchio a tasselli (con G. B. Lacchini, Pubbl. Oss. Astron. di Bologna, VI, n.7, 1955);*
  - ◇ *Variazioni luminose di altre sette stelle fotografate con lo specchio a tasselli (con G. B. Lacchini, Pubbl. Oss. Astron. di Bologna, VI, n.13, 1955).*
- 1956
- ◇ *Über eine neue art von Teleskopspiegeln (Optik, XIII, 1956, pp. 254-258)*
- 1957
- ◇ *La figura di diffrazione circondante le immagini stellari fotografate con lo specchio a tasselli (Coelum, XXV, 1957, 7-9, pp. 102-106);*
  - ◇ *Storia dello specchio a tasselli (in La più grande superficie riflettente del mondo nelle grotte di Castellana, Putignano, Ed. del comune di Castellana Grotte, 1957, pp. 5-10)*
  - ◇ *Der Facettenspiegel-Plan (Sterne, XXXIII, 1957, pp. 129-133)*

1965

- ◇ *Interferometro stellare costituito da due soli tasselli speculari distanti tra loro quanto si voglia (Pubbl. Oss. Astron. di Bologna IX, n.1, 1965 e Coelum, XXXIII, 1965, 3-4, pp. 33-39).*

1966

- ◇ *Applicazioni dello specchio a tasselli (Coelum, XXXIV, 1966, 11-12, pp. 164-167).*



## Bibliografia (AA. VV.)

- ◇ AA. VV., *La più grande superficie riflettente del mondo nelle Grotte di Castellana* (Putignano, Ediz. del Comune di Castellana Grotte, 1957);
- ◇ AA. VV., *The visible universe* (Alexandria, Time-Life Books, 1990, pp. 112-113);
- ◇ Baruzzi M., *Moto conico della Torre universitaria rilevato con lo specchio a tasselli* (*Pubbl. Oss. Astron. di Bologna*, VI, 8, 1955);
- ◇ Beckers et al., *The Multiple Mirror Telescopes* (*Journal of British Astronomical Association*, 63, 2 1953, pp. 71-74);
- ◇ Betti A., *Studi astronomici a Bologna* (*Emilia*, II, sett. 1950, pp. 287-288);
- ◇ Bònoli F., “Caro vecchio Maestro” *La storiografia dell’astronomia: un caso bolognese* (*Una scienza bolognese? Figure e percorsi della storiografia della scienza*, 2015, Ed. Bononia University Press);
- ◇ Bònoli F., *Horn d’Arturo Guido* (*Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. 61, Istituto della Enciclopedia Italiana Treccani, 2003, pp. 729-730);
- ◇ Bònoli F., Mandrino A., *Sotto lo stesso cielo? Le leggi razziali e gli astronomi in Italia* (“Giornale di Astronomia”, vol 41, n.2);
- ◇ Bònoli F., Zuccoli M., *Guido Horn d’Arturo e lo specchio a tasselli* (Ed. Clueb, Bologna, 1999);
- ◇ Brown H., *The Stellar Interferometer at Narrabri Observatory* (*Sky and Telescope*, Agosto 1964, pp. 64-69);
- ◇ Ingalls A., *The amateur astronomer* (*Scientific American*, 1, 1951, pp. 60-63);
- ◇ Jacchia L., *Forefathers of the MMT* (*Sky and Telescope*, vol.55, n.2, 1978, pp. 99-101);
- ◇ Jacchia L., *Ricordi di Guido Horn d’Arturo* (*Coelum*, XXXV, 1967, pp. 68-72);
- ◇ Lord Oxmantown, *Account of a new reflecting telescope* (*Edinburgh Journal of Science*, 1828, vol. IX, n. 17, pp. 25-30);

- ◇ Rizzo N., *Un grande osservatorio nelle grotte di Castellana (Rivista semestrale del museo speleologico Franco Anelli e delle grotte di castellana, n. 14, dicembre 2007)*;
- ◇ Rosino L., *Il telescopio verticale a tasselli dell'Osservatorio Universitario di Bologna (Sapere, 421/422, 1952, pp. 250-253)*;
- ◇ Rosino L., *Ricordo di Guido Horn d'Arturo (Coelum, XXXV, 1967, pp. 68-72)*;
- ◇ Rossi A., *Guido Horn d'Arturo, astronomo e uomo di cultura (Ed. Clueb, Bologna, 1994)*;
- ◇ s.a.; rubrica *Spulciando in biblioteca*, in "Speleologia", giugno 2008, p.81
- ◇ Tabarroni G., *Il regolatore automatico del moto della lastra del piano focale dello specchio a tasselli (Pubbl. Oss. Astron. di Bologna, VI, 9, 1955)*;
- ◇ Väisälä Y., *A New Procedure for Constructing Giganting Telescopes (Urania, 1949, 220, pp. 89-93)*;
- ◇ Wilson R. N., *Reflecting Telescope Optics II (Springer, 1999, pp. 175-176)*;
- ◇ Zuccoli M., *Guido Horn d'Arturo: un astronomo e la sua Biblioteca (Annali di Storia delle Università Italiane, 4/2000, pp.163-172)*;

# Sitografia

- ◇ <https://www.mmta.org/node/442>
- ◇ [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_largest\\_optical\\_reflecting\\_telescopes](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_optical_reflecting_telescopes)
- ◇ <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-fcoo>
- ◇ [https://en.wikipedia.org/wiki/MMT\\_Observatory](https://en.wikipedia.org/wiki/MMT_Observatory)
- ◇ [https://en.wikipedia.org/wiki/W.\\_M.\\_Keck\\_Observatory](https://en.wikipedia.org/wiki/W._M._Keck_Observatory)
- ◇ [https://en.wikipedia.org/wiki/Hobby–Eberly\\_Telescope](https://en.wikipedia.org/wiki/Hobby–Eberly_Telescope)
- ◇ [https://en.wikipedia.org/wiki/Hobby–Eberly\\_Telescope](https://en.wikipedia.org/wiki/Hobby–Eberly_Telescope)
- ◇ <https://en.wikipedia.org/wiki/LAMOST>
- ◇ [https://it.wikipedia.org/wiki/Thirty\\_Meter\\_Telescope](https://it.wikipedia.org/wiki/Thirty_Meter_Telescope)
- ◇ [https://it.wikipedia.org/wiki/European\\_Extremely\\_Large\\_Telescope](https://it.wikipedia.org/wiki/European_Extremely_Large_Telescope)
- ◇ [https://it.wikipedia.org/wiki/Telescopio\\_spaziale\\_James\\_Webb](https://it.wikipedia.org/wiki/Telescopio_spaziale_James_Webb)
- ◇ [https://it.wikipedia.org/wiki/Giant\\_Magellan\\_Telescope](https://it.wikipedia.org/wiki/Giant_Magellan_Telescope)
- ◇ [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_largest\\_optical\\_reflecting\\_telescopes#/media/File:Comparison\\_optical\\_telescope\\_primary\\_mirrors.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_optical_reflecting_telescopes#/media/File:Comparison_optical_telescope_primary_mirrors.svg)