



GIORNALE DI ASTRONOMIA

Rivista di informazione, cultura e didattica
della Società Astronomica Italiana

Atti del Convegno

Gli "ASTRI" di Horn.

L'astronomo che ha progettato il Futuro

Catania, 9-10 novembre 2018



A cura di **Rossella Spiga**



Fabrizio Serra editore
Pisa · Roma

Giugno 2019
Vol. 45° · N. 2

SOCIETÀ ASTRONOMICA ITALIANA

(già Società degli Spettroscopisti Italiani)

eretta Ente Morale con R. D. del 10 giugno 1939, n. 1229

Sede legale e segreteria: Largo E. Fermi 5, I 50125 Firenze, tel. +39 055 2752270

sait@arcetri.astro.it

www.sait.it

CONSIGLIO DIRETTIVO PER IL TRIENNIO 2017-2019

Presidente: Ginevra Trinchieri · *Vice Presidente:* Flavio Fusi Pecci

Consiglieri: Angelo Angeletti, Angelo Antonelli, Patrizia Caraveo, Giuseppe Cutispoto, Massimo Mazzoni, Angela Misiano

Segretario Amministratore: Agatino Rifatto · *Vice Segretario:* Mazzucconi Fabrizio

REVISORI DEI CONTI

Revisori effettivi: Alberto Righini, Giuseppe Del Grande

Le modalità e le quote di iscrizione alla Società Astronomica Italiana sono consultabili presso il sito Internet della Società www.sait.it.

I pagamenti possono essere effettuati con versamento sul c. c. postale n. 18575506 o con bonifico bancario sul conto IBAN IT3080616002839100000003642.

La Società Astronomica Italiana pubblica due periodici:

le «Memorie della Società Astronomica Italiana» dal 1920 e il «Giornale di Astronomia» dal 1975.

GIORNALE DI ASTRONOMIA

Amministrazione e abbonamenti:

FABRIZIO SERRA EDITORE®

Casella postale n. 1, succursale n. 8, I 56123 Pisa

tel. +39 050 542332, fax +39 050 574888

fse@libraweb.net · www.libraweb.net

Uffici di Pisa: Via Santa Bibbiana 28, I 56127 Pisa

Uffici di Roma: Via Carlo Emanuele I 48, I 00185 Roma

I prezzi ufficiali di abbonamento cartaceo e *Online* sono consultabili su www.libraweb.net.

Print and Online official subscription rates are available at www.libraweb.net.

I pagamenti possono essere effettuati con versamento sul c. c. postale n. 17154550 o tramite carta di credito (American Express, Carta Sì, Eurocard, Mastercard, Visa).

Pubblicità: per questo servizio rivolgersi alla *Fabrizio Serra editore®*. Le inserzioni pubblicitarie non implicano un giudizio di merito da parte della S.A.It.



Proprietà riservata · All rights reserved

© Copyright 2019 by

Società Astronomica Italiana

and

Fabrizio Serra editore®, Pisa · Roma.

A norma del codice civile italiano, è vietata la riproduzione, totale o parziale (compresi estratti, ecc.), di questa pubblicazione in qualsiasi forma e versione (comprese bozze, ecc.), originale o derivata, e con qualsiasi mezzo a stampa o internet (compresi siti web personali e istituzionali, academia.edu, ecc.), elettronico, digitale, meccanico, per mezzo di fotocopie, pdf, microfilm, film, scanner o altro, senza il permesso scritto della casa editrice.

Under Italian civil law this publication cannot be reproduced, wholly or in part (included offprints, etc.), in any form (included proofs, etc.), original or derived, or by any means: print, internet (included personal and institutional web sites, academia.edu, etc.), electronic, digital, mechanical, including photocopy, pdf, microfilm, film, scanner or any other medium, without permission in writing from the publisher.

GIORNALE DI ASTRONOMIA

Rivista di informazione, cultura e didattica
della Società Astronomica Italiana

**Pubblicato con il patrocinio
della Camera dei Deputati**

Direttore responsabile: Fabrizio Bònoli

Il Comitato di redazione è composto
dal Consiglio Direttivo della S.A.It

www.bo.astro.it/sait/giornale.html

Per informazioni rivolgersi alla Segreteria della
Società Astronomica Italiana
Largo E. Fermi 5, I 50125 Firenze
tel. +39 055 2752270
sait@arcetri.astro.it

I lavori sottoposti per la pubblicazione (redatti secondo le
istruzioni riportate in terza di copertina) devono essere
inviati direttamente al Direttore:

Fabrizio Bònoli, Dipartimento di Fisica e Astronomia
Via Ranzani 1, I 40127 Bologna
tel. +39 051 2095701, fax +39 051 2095700
fabrizio.bonoli@unibo.it

Aut. del Tribunale di Roma del 15/1/1975 n. 155756

Pubblicazione trimestrale
Vol. 45^o · N. 2 · Giugno 2019



Fabrizio Serra editore
Pisa · Roma

Sommario

- 3 Presentazione
R. SPIGA
- 4 Gli "ASTRI" di Horn. L'astronomo che ha progettato il
Futuro
G. TRINCHIERI, G. PARESCHI
- 5 Guido Horn d'Arturo e i primi telescopi *multi-mirror*:
1932-1952
F. BÒNOLI
- 19 Guido Horn d'Arturo e le ottiche cooperanti
R. RAGAZZONI
- 22 Cherenkov Telescope Array: 120 telescopi e 6500 specchi
a tasselli per esplorare l'universo ad altissima energia
A. FERNÁNDEZ-BARRAL, F. FERRINI
- 29 Il progetto ASTRI
S. SCUDERI
- 35 La luce Cherenkov per l'astronomia gamma e non solo
O. CATALANO
- 41 Dal telescopio a tasselli di Horn d'Arturo al telescopio
'ASTRI-HORN': tecnologie d'avanguardia e coinvolgi-
mento industriale per la strumentazione astronomica
G. PARESCHI
- 44 L'avventura di Guido Horn d'Arturo a fumetti
L. ZARANTONELLO, R. RAMPAZZO, V. ZANINI
- 53 Gli "ASTRI" di Horn: l'eredità scientifica dell'astronomo
che ha inventato il futuro
M. GARGANO
- 57 Guido Horn d'Arturo: le radici ebraiche di un astronomo
italiano
C. QUARENI
- 63 Guido Horn d'Arturo: il mondo, le passioni e gli interessi
di un umanista contemporaneo
S. SINICROPI

Cieli d'inchiostro (a cura di A. Mandrino, M. Gargano,
A. Gasperini)

- 70 Dalla "o" di Giotto alla "generatrice" di Morandi, attra-
verso lenti prismatiche e spettri di stelle cadenti, con
un *excursus* da Copernico a Janet Abramowicz e Teresa
Žarnower
F. BÒNOLI

In copertina

Immagine tratta dalla locandina del convegno *Gli "ASTRI" di Horn. L'astronomo che ha progettato il Futuro*, tenutosi a Catania il 9-10 novembre 2018, in occasione dell'intitolazione a Guido Horn d'Arturo del telescopio ASTRI-CTA, e della relativa mostra (grafica: © Fabio Balcon).



Gli "ASTRI" di Horn

L'astronomo che ha progettato il Futuro

Monastero dei Benedettini - Catania

9 novembre | 15 dicembre 2018

Mostra a cura di: **Stefano Nicola Sinicropi**, Università di Bologna
Caterina Quareni, Museo Ebraico di Bologna
Mauro Gargano, INAF - OACN
Sandra Caddeo, Ethnos

Comitato scientifico: **Fabrizio Bionoli**, Università di Bologna
Flavio Fusi Pecci, Società Astronomica Italiana
Angela Mangano, INAF - OACT
Giovanni Pareschi, INAF - OAB
Federica Santagati, Università di Catania
Ginevra Trinchieri, INAF - OAB
Grazia Maria Umana, INAF - OACT
Giovanni Zamorani, INAF - OAS

Orari di apertura **da lunedì a venerdì: 10.00 - 13.00/15.00 - 18.00**
sabato: 10.00 - 13.00
INGRESSO GRATUITO



Con il sostegno di

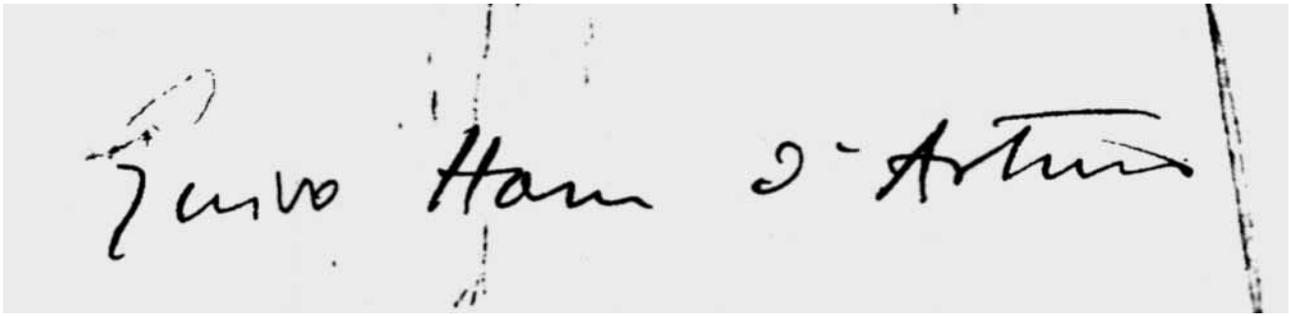


Con il patrocinio di



Sponsor tecnico





Presentazione

Rossella Spiga

Università degli Studi di Padova

ALL'OSSERVATORIO Astrofisico di Catania Guido Horn d'Arturo trascorse un soggiorno di tre anni da giovane ricercatore, ed è a Catania che il 10 novembre 2018 si chiude idealmente un cerchio con l'intitolazione del telescopio ASTRI all'astronomo italiano: spetta quindi al telescopio "ASTRI-Horn d'Arturo" portare con orgoglio il nome del padre di tutti gli specchi a tasselli.

Troppo a lungo dimenticato a causa di una memoria a volte distratta e quasi sempre ingrata, il nome di Horn d'Arturo è rimasto relegato troppo spesso ai soli confini nazionali. Nemmeno gli stessi astronomi italiani, anche svariati decenni dopo, diedero adeguato riconoscimento all'idea di Horn, come sottolinea amaramente Luigi Jacchia, suo allievo e amico – rivolgendosi peraltro finalmente a un pubblico internazionale – nell'articolo *Forefathers of the MMT* («Sky and Telescope», 1978):

In Italy Horn d'Arturo was considered an eccentric, and mention of his "specchio a tasselli" almost invariably caused shrugs and smiles.

Restituire alla memoria collettiva il legame tra il nome di Guido Horn d'Arturo e l'eredità scientifica e tecnologica della sua idea geniale – lo specchio a tasselli – è quindi un dovere tutto italiano. «Avviene di ricordarsi con più fervore del passato quando il presente acquista un'importanza maggiore» scrive Italo Svevo, amico di Guido, ne *La coscienza di Zeno*, nei primissimi anni Venti del secolo scorso. Parole che risuonano ora come un monito, rendendo ancora più compromettente il peso di una me-

moria avara, e che sembrano schiaccianti se ci soffermiamo a pensare che, tra il 1938 e il 1945, a causa delle leggi razziali, scienziati, intellettuali, artisti, ma anche innumerevoli persone comuni diventarono improvvisamente "diversi", fuggiaschi dalle persecuzioni fasciste o nei casi più fortunati solo emarginati dalle loro attività quotidiane. Un incubo apparentemente lontano, depositato nelle pagine di libri pieni di orrori, nelle memorie di chi c'era e nelle parole dei pochi che ancora possono raccontarlo, e infine nelle mani degli intellettuali di oggi che hanno il dovere di tenerlo sempre vivo nella coscienza di tutti. E affinché la memoria non diventi solo uno sterile esercizio di riproduzione dei ricordi, deve rendere le nuove generazioni pienamente coscienti dei valori dei propri padri, all'insegna di un'eredità intellettuale e culturale ricca del suo più profondo significato.

A seguito del convegno tenutosi a Catania – in apertura della mostra *Gli "ASTRI" di Horn. L'astronomo che ha progettato il futuro* – presso il Monastero dei Benedettini lo scorso venerdì 9 novembre 2018, dedicato alla figura di Horn d'Arturo e alla sua *legacy* scientifica nei confronti dei moderni progetti astronomici basati sugli specchi a tasselli, gli stessi relatori hanno accettato l'invito a contribuire a questo volume monografico come prezioso e sostanziale omaggio a un uomo geniale, un intellettuale precursore dei tempi a venire, l'astronomo che ha progettato il futuro e grazie al quale possiamo continuare a guardare molto lontano: Guido Horn d'Arturo.

Rossella Spiga si laurea in Astronomia all'Università di Padova, con una tesi sulla caratterizzazione ottica dei telescopi Cherenkov, e consegue il Master in Comunicazione Istituzionale e Giornalismo Scientifico all'Università di Ferrara, con una tesi sulle strategie di comunicazione delle agenzie spaziali. Attualmente lavora all'Università di Padova, collabora con l'Istituto Nazionale di Astrofisica anche per quanto concerne il progetto ASTRI e scrive per diverse testate giornalistiche tra cui «Media INAF», il «Giornale di Astronomia» della Società Astronomica Italiana e «Il Bo Live» dell'Università di Padova. Si interessa dei rapporti tra Scienza e Società.

Gli “ASTRI” di Horn.

L’astronomo che ha progettato il Futuro

Ginevra Trinchieri

Presidente Società Astronomica Italiana
INAF - Osservatorio Astronomico di Brera

Giovanni Pareschi

Principal Investigator Progetto ASTRI/CTA
INAF - Osservatorio Astronomico di Brera

NEL 2017 si celebrava la ricorrenza dei cinquant’anni della morte di Guido Horn d’Arturo, astronomo triestino di origini ebraiche e per questo vittima delle conseguenze delle infami leggi razziali del 1938.

Tra le moltissime importanti attività di Horn d’Arturo, sicuramente merita di essere ricordata la sua geniale invenzione del “telescopio a tasselli”. Dopo aver realizzato un prototipo da un metro di diametro agli inizi degli anni Trenta, Horn d’Arturo portò a termine, nel 1952, la costruzione di uno specchio da 1,8 m di diametro, composto da 61 specchi esagonali, ognuno dei quali regolabile per fornire la prevista curvatura e comporre l’insieme delle singole immagini nel piano focale. Con questo telescopio, allora il maggiore in Italia, in cinque anni furono esposte oltre 17.000 lastre fotografiche e, tra l’altro, scoperte una dozzina di stelle variabili.

Il telescopio a tasselli di Horn d’Arturo può certamente essere considerato il primo esemplare dei successivi moderni grandi telescopi, i *multi-mirror telescope* con “ottica attiva”.

L’invenzione di Horn d’Arturo è rimasta praticamente sconosciuta ai più, anche nel mondo degli astronomi professionisti. Solo Luigi Jacchia, nel

1978, in occasione della realizzazione del MMT in Arizona, ricordò su «Sky & Telescope» la paternità di tale invenzione.

Proprio per rendere all’astronomo italiano il dovuto merito, la SAIt ha ritenuto di farsi portavoce della comunità astronomica nazionale, in accordo con INAF, per perpetuare il ricordo di Guido Horn d’Arturo, con l’intitolazione di una delle importanti imprese tecnologiche italiane in corso, il prototipo ASTRI a Serra la Nave, uno dei telescopi proposti per il progetto CTA (che, ricordiamo, ha i propri uffici a Bologna dove Horn d’Arturo ha trascorso la vita lavorativa).

Ci sembra quindi doveroso voler mantenere un ricordo scritto di questo avvenimento, con la raccolta degli interventi e del materiale celebrativo usati in occasione della cerimonia di inaugurazione della mostra sulla vita e il percorso scientifico di Horn d’Arturo, a conclusione di un incontro scientifico sui progressi del progetto CTA, seguita dall’intitolazione del telescopio ASTRI a Serra La Nave – oggi telescopio Horn d’Arturo. Siamo anche contenti che in questa occasione si stia iniziando a pensare di proporre la ri-pubblicazione dei lavori originali di Horn d’Arturo, a quasi novant’anni dalla prima stesura.



FIG. 1. 10 novembre 2018: la targa che intitola ASTRI a Guido Horn d’Arturo, fissata ai piedi del telescopio, a Serra la Nave, su una base di pietra lavica dell’Etna.

Guido Horn d'Arturo e i primi telescopi *multi-mirror*: 1932-1952[★]

Fabrizio Bònoli

Alma Mater Studiorum · Università di Bologna

Questa presentazione nasce da numerosi lavori di ricerca – eseguiti negli anni e da diversi studiosi – sulle opere a stampa di Guido Horn d'Arturo e sull'Archivio storico del Dipartimento di Astronomia dell'Università di Bologna (AABO),¹ in particolare sul *Fondo Guido Horn d'Arturo*,² creato nel giugno 1999, a seguito della donazione, da parte dei pronipoti Maria Delia, Mario e Patrizia Horn, di 10 buste contenenti l'*Epistolario privato 1912-1939* e di alcuni altri documenti (per un totale di quasi settemila minute dattiloscritte).³ A questo primo nucleo è stato aggiunto, in seguito, altro materiale documentario reperito nel Dipartimento di Astronomia. Inoltre, gran parte della corrispondenza istituzionale di Horn d'Arturo si trova nella *Serie storica Specola*.

Grazie a questo vasto materiale, si è potuta seguire la vicenda umana e scientifica di un personaggio che ha avuto una grande influenza sull'astronomia bolognese (e non solo) e si è ricostruita la storia di una sua idea del tutto geniale e, come vedremo, anticipatrice degli sviluppi dei moderni telescopi.

Guido Horn d'Arturo

Anche se sulle pagine di questa rivista è stata esposta di recente e in dettaglio la biografia di Guido Horn d'Arturo,⁴ ritengo necessario spendere alcune parole per presentare qui sommariamente la figura del nostro protagonista.⁵

* Questo articolo è ampiamente tratto da precedenti lavori dell'autore sul personaggio di Guido Horn d'Arturo e sul suo specchio a tasselli.

¹ L'Archivio storico del Dipartimento di Astronomia (d'ora in avanti AABO), attualmente presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia, completamente riordinato e inventariato e in larga parte digitalizzato, è disponibile in rete all'indirizzo: <http://archivioistoricoastronomia.unibo.it/>.

² D'ora in avanti Fondo GHd'A, vedi <http://archivioistoricoastronomia.unibo.it/serie/figh>.

³ Cfr. ZUCCOLI (2000 e 2006).

⁴ PICAZZI, BÒNOLI (2017).

⁵ Per notizie dettagliate sulla vita e le opere di Horn d'Arturo, vedi BÒNOLI (2003 e 2007, e le referenze all'interno). Documentazione accademica ufficiale su Horn d'Arturo si trova presso l'Archivio storico dell'Università di Bologna, *Serie dei professori ordinari*, f. 244. Per una bibliografia completa delle opere di Horn d'Arturo, cfr. in rete M. ZUCCOLI (a cura di), *Bibliografia delle opere di Guido Horn d'Arturo*, www.bo.astro.it/~biblio/Archives/Galleria/hornbib.html.



FIG. 1. Guido Horn d'Arturo; la firma dell'autore del quadro non è riconoscibile. (Collezione privata)

Il 13 febbraio 1879, corrispondente al 20 *Schewat* 5639, nasce, dalla famiglia ebrea di origine olandese di Arturo Horn e Sabina Melli, Elhanan Gad detto Guido (FIG. 2).⁶ Terzo di quattro figli – Sara (morta pochi giorni dopo la nascita), Mario, Guido e Arrigo – il padre muore quando egli ha appena due anni e Guido e i fratelli crescono quindi in casa del nonno materno, Raffaele Sabato Melli, rabbino e autorevole personalità della comunità ebrea della città di Trieste.

Di nazionalità austriaca, Horn compie i suoi studi universitari prima a Graz – quattro anni di Matematica, Fisica e Astronomia – poi a Vienna, dove il 19 luglio 1902 consegue il titolo di “dottore in filoso-

⁶ Il pronipote Guido Horn ci ha cortesemente fornito copia di una pagina di un libro di preghiere e meditazioni ebraiche sulla quale il padre di Guido Horn d'Arturo, Arturo Horn, aveva annotato, con alcuni commenti, la data del matrimonio e le date di nascita dei figli con i rispettivi nomi ebraici; Elhanan significa “gentilmente donato da Dio” e Gad significa “fortuna, buona sorte”: entrambi i nomi fanno riferimento a personaggi biblici.

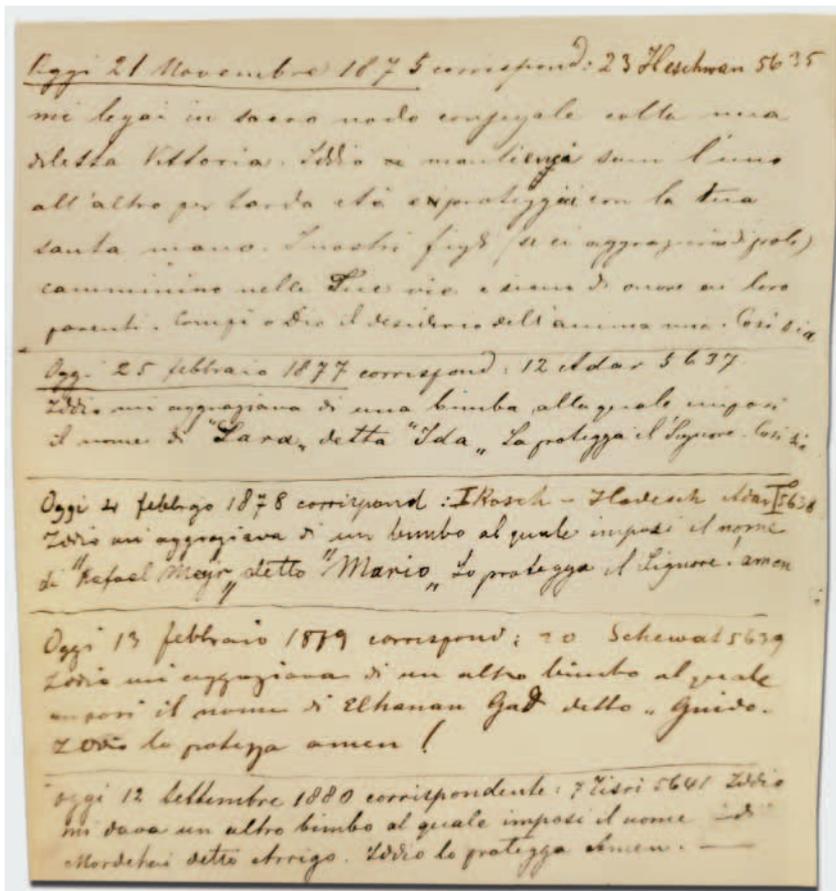


Fig. 2. Una pagina del libro di preghiere e meditazioni ebraiche di Arturo Horn, padre di Guido, nel quale si leggono la data del matrimonio e le date di nascita dei figli con i rispettivi nomi ebraici. (Cortesia Mario Horn)

fia” con una tesi discussa con J. Von Hepperger sullo studio dell’orbita della cometa 1889 IV, lavoro pubblicato nel 1904 negli atti della *Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften* (74, pp. 265-335) e anche su *Astronomische Nachrichten* (165, pp. 327-330) e *Memorie della Società degli Spettroscopisti Italiani* (33, pp. 95-99).

Questi sintetici dati biografici sottolineano il contesto culturale mitteleuropeo in cui Horn ha la sua formazione. Dapprima, la Trieste *fin de siècle*, asburgica ma profondamente italiana, patria o sede di personalità (contemporanee o quasi di Horn) quali Italo Svevo, Umberto Saba, Scipio Slataper, Giani Stuparich, James Joyce, Rainer Maria Rilke. In seguito, Vienna, capitale della *felix Austria*, così descritta pochi anni dopo da Karl Popper, anch’egli ebreo e suddito austriaco come Horn:⁷

Vienna era davvero una città incredibile, caratterizzata da una creatività ineguagliabile. Era una mistura feconda di quasi tutte le culture europee: il regime favoriva la libera espressione e l’incontro di queste diverse tradizioni.

Tutto questo lascia una forte impronta sulla sua personalità, rendendolo un intellettuale dai molteplici interessi, aperti al nuovo e alle altre discipline, non solo scientifiche, come dimostrano le amicizie

con Italo Svevo – insieme al quale prende alcune lezioni private di inglese da Joyce –, Umberto Saba, Arturo Castiglioni, Franco Savorgnan, Enrico Morpurgo e, in seguito, a Bologna, con Giorgio Morandi.

Nel 1903, dopo il servizio militare nell’esercito austriaco, Horn viene assunto presso l’I. R. Osservatorio Marittimo di Trieste, ma il suo sentimento profondamente italiano lo spinge, nel 1907, a chiedere di essere chiamato presso l’Osservatorio Astrofisico di Catania come primo assistente; qui si occupa della natura della luminosità delle comete, di astronomia di posizione, di osservazioni solari, di stelle variabili e collabora al grande progetto internazionale della *Carte du ciel*, per la mappatura fotografica e la catalogazione di stelle. Nel 1910 si trasferisce, come astronomo aggiunto, all’Osservatorio di Torino, dal quale è costretto ad allontanarsi per violenti disappoi con il direttore Giovanni Boccardi, passando l’anno successivo all’Osservatorio Astronomico della R. Università di Bologna, diretto da Michele Rajna, allievo di Giovanni V. Schiaparelli, dove, nel

1912, consegue la libera docenza in Astronomia, prospettandogli una brillante carriera.

Ma appena una settimana dopo l’entrata in guerra dell’Italia, del 23 maggio 1915, decide di arruolarsi come volontario nel Regio Esercito. Avendo già servito nell’esercito austriaco e per sfuggire alle rappresaglie in quanto “disertore”, Horn sostituisce il suo cognome con quello di “d’Arturo”, dal nome del padre: nel 1921, avendo già acquisito la cittadinanza italiana il 6 marzo 1919, otterrà l’autorizzazione di aggiungere il *nom de guerre* “d’Arturo” al proprio cognome “Horn”, divenendo così, ufficialmente, Guido Horn d’Arturo.⁸

Al termine della guerra riprende servizio a Bologna ma nel 1920 viene trasferito al R. Osservatorio Astronomico del Collegio Romano, dove rimane poco più di un anno, in quanto nel febbraio 1921 è richiamato a Bologna per la morte di Rajna, con l’incarico dell’insegnamento di Astronomia e della direzione dell’Osservatorio Universitario: nel 1925 vince il concorso per la cattedra di Astronomia.

Ora si può occupare interamente della rinascita scientifica dell’istituzione astronomica bolognese che dirigerà fino al 13 dicembre 1938, allorquando sa-

⁷ POPPER (2004, p. 58).

⁸ Comunicazione del cambio di nome al Rettore della R. Università di Bologna, in AABO, “Serie storica”, busta 52, 1.27, 9/07/1921.

rà “dispensato dal servizio in seguito ai provvedimenti sulla razza”; nel 1945, scampato alle persecuzioni, riottiene la direzione e la cattedra.⁹

Fra le altre numerose attività, Horn d'Arturo inizia la serie delle *Pubblicazioni dell'Osservatorio*, si occupa di astronomia di posizione e di astronomia statistica, di variabilità stellare e di distribuzione spaziale delle *nebulae*, di strumentazione e di ottica astronomica e fisiologia della visione, discipline, queste ultime, nelle quali era particolarmente esperto. Organizza e dirige due spedizioni per le osservazioni di eclissi solari: nel 1926 in Oltregiuba e nel 1936 nel Peloponneso, ottenendovi importanti risultati.

Sempre nel 1936, riesce a completare il progetto, iniziato sin dai tempi di Rajna, di portare le osservazioni astronomiche lontane dal centro della città, realizzando grazie alla donazione di Bianca Montanari – vedova del matematico Adolfo Merlani, appassionato di astronomia e amico di Horn d'Arturo – la Stazione osservativa di Loiano (a 40 km da Bologna), dotata di un eccellente telescopio riflettore delle officine Zeiss da 60 cm, il secondo in Italia all'epoca.

Fra l'altro, ha anche fatto parte della *Commission des notations, des unités et de l'économie des publications* dell'International Astronomical Union, presieduta da M. F. Schlesinger, direttore dell'Osservatorio di Yale, che il 13 luglio 1928 definì i moderni confini delle costellazioni, secondo la proposta dell'astronomo belga E. J. Delporte.

I suoi vasti interessi culturali, già ricordati, lo portano ad occuparsi dell'aggiornamento della biblioteca, anche con l'acquisto di un gran numero di importanti e rari testi storici, nonché del primo riordino dell'archivio che raccoglie oltre centomila documenti, sin dalla metà del Seicento, che costituiscono una fonte importante per lo studio dello sviluppo dell'astronomia negli ultimi trecento anni.

Si interessa anche di storia dell'astronomia, traducendo dal latino il *Poeticon Astronomicum* di Igino, compilando la *Piccola Enciclopedia Astronomica e Vita e opere degli astronomi: dai primitivi al sec. XIX* e numerose voci anche storiche sull'*Enciclopedia Italiana*, compresa la voce “Copernico” e quella “Astrologia”. Quest'ultima, tuttavia, comparve come “anonima” per sua espressa volontà, a seguito di un dissidio con lo stesso direttore dell'*Enciclopedia*, Giovanni Gentile, per alcune aggiunte, imposte dalla redazione, che tendevano a snaturare la netta condanna dell'astrologia, da parte di Horn d'Arturo, come disciplina assolutamente non scientifica, pur se storicamente importante.¹⁰

Nel 1931 fonda la rivista «Coelum» per la divulgazione dell'astronomia – un'alta divulgazione per sua stessa scelta – che ebbe grande diffusione anche all'estero e che cesserà le pubblicazioni nel 1986.

⁹ Per una storia degli astronomi italiani perseguitati dalle leggi contro la razza, vedi BÒNOLI, MANDRINO (2015).

¹⁰ Cfr. BÒNOLI (2015).

Il 1° novembre 1954, viene collocato a riposo: le sue ultime osservazioni astronomiche con il telescopio a tasselli sono della notte precedente, il 31 ottobre! Continua, tuttavia, a frequentare attivamente la Specola, proseguendo sia nella direzione di *Coelum* che nella cura della biblioteca e dell'archivio. Nel febbraio 1955 è nominato professore emerito della Facoltà di Scienze matematiche, fisiche e naturali, nel 1957 ottiene la nomina a commendatore al merito della Repubblica e nel 1958 il diploma di I classe con medaglia d'oro dei benemeriti della Scuola, della Cultura e dell'Arte. Infine, nel 1965, gli allievi gli donano una medaglia ricordo d'oro, durante la IX Assemblea della Società Astronomica Italiana.

La morte lo raggiunge a Bologna il 1° aprile 1967: è sepolto nella sezione ebraica del cimitero del Verano a Roma, accanto alla madre.

Anni Trenta: nasce il progetto del telescopio a tasselli

Sei milioni di dollari sono i fondi che la Rockefeller Foundation stanziò nel 1928 per la costruzione sul Monte Palomar, in California, del grande telescopio con uno specchio da 200 pollici (5 m). Il telescopio verrà completato solo nel 1949, per le enormi difficoltà incontrate, principalmente tecniche. Difficoltà che, da subito, Horn d'Arturo prevede che consistano soprattutto nella fusione del vetro (che infatti dovrà essere fatta due volte), nella levigazione della superficie parabolica a una frazione della lunghezza d'onda della luce visibile, nella flessione del pesante specchio, nella grande inerzia termica del vetro e nella sua fragilità complessiva, nella difficoltà della movimentazione delle pesanti parti meccaniche dello strumento e, più di ogni altra cosa, negli enormi costi.¹¹ Costi che certamente nell'Italia dell'epoca, sprofondata nella Grande depressione, sono del tutto impensabili.

Nasce così in Horn d'Arturo, all'inizio degli anni Trenta, l'idea geniale: invece di costruire un grande specchio come superficie riflettente di un telescopio, perché non costruirne tanti piccoli? Costano di meno ed è più semplice realizzarli, metterli insieme come in un mosaico, posizionarli opportunamente e farli funzionare come se fosse uno specchio unico.¹²

Ha quindi inizio, nel 1932, il progetto dello specchio a tasselli: 80 piccoli specchi trapezoidali, ca. 10 × 10 cm, con sezione di curvatura sferica, per un

¹¹ HORN D'ARTURO (1932a).

¹² HORN D'ARTURO (1932b). I documenti dell'Archivio storico del Dipartimento di Astronomia (vedi qui nota 1) hanno permesso di seguire con grande dettaglio lo sviluppo e le problematiche realizzative del progetto, dalla sua nascita fino alle vere e proprie osservazioni astronomiche e ai risultati scientifici: si veda sull'argomento la tesi di Laurea Magistrale in Astrofisica e Cosmologia di VALERIA PICAZZI (2017); si veda anche BÒNOLI, PICAZZI (2019). I più significativi articoli di Guido Horn d'Arturo sullo specchio a tasselli sono raccolti in ZUCCOLI, BÒNOLI (1999).

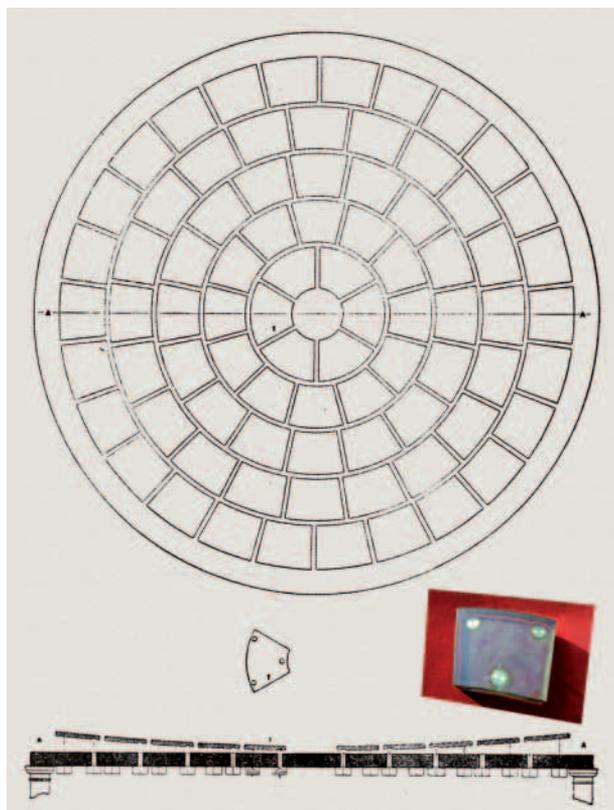


FIG. 3. Schema del prototipo dello specchio a tasselli, dalla domanda di brevetto del 1932; nella sezione in basso si vede la posizione dei tasselli con le viti di regolazione sottostanti al piano di marmo; al disegno è qui sovrapposta la foto (non in scala) di un tassello originale, non alluminato per consentire di vedere i tre supporti su cui agivano le viti di aggiustamento. (AABO, "Fondo GHd'A, Specchio a tasselli", Fh5.1.3, 21/06/1932)

metro di diametro complessivo, posti in montatura azimutale fissa (FIG. 3). Sotto ad ogni tassello sono collocate tre viti per movimentarli e allinearli. Il progetto è accompagnato da un dettagliato e complesso studio di ottica sulla generazione delle immagini da parte di specchi composti,¹³ volto a dimostrare, tra l'altro, 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 sia uguale al raggio di curvatura dei tasselli sferici.

Fatte le debite differenze, ovviamente dovute agli sviluppi tecnologici avvenuti in quasi novant'anni, possiamo dire che oggi si chiama *active optics* la possibilità, ideata sempre da Horn d'Arturo, di regolare i tasselli con le viti sottostanti per concentrare le singole immagini nello stesso piano focale e ottenere così un'immagine composita, formata da quelle dei singoli specchi. Il sistema consente anche di modificare l'altezza dei diversi anelli di tasselli e, sollevando opportunamente quelli esterni, di eliminare l'aberrazione sferica complessiva (FIG. 4); è anche

¹³ HORN D'ARTURO (1936).

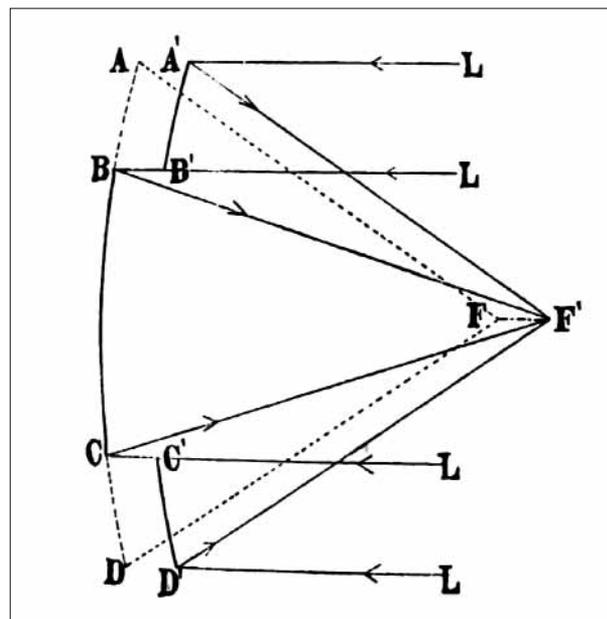


FIG. 4. Il disegno mostra il percorso dei raggi luminosi senza la correzione dell'aberrazione sferica (linee tratteggiate) e con la correzione dovuta all'innalzamento dei gironi esterni di tasselli, indicato dalle lettere con apice. CB rappresenta il tassello centrale, AB e CD i tasselli del primo girone, elevati in A'B' e C'D' per eliminare l'aberrazione. (HORN D'ARTURO 1935)

possibile correggere, in parte, le aberrazioni di astigmatismo e di coma.

La grande sala superiore della settecentesca torre della Specola è adatta al posizionamento dello specchio: l'altezza di 10,4 m è confrontabile con la lunghezza focale del sistema ottico e inoltre nella volta è presente un'apertura già utilizzata per osservazioni zenitali con gli antichi, lunghi telescopi aerei (FIG. 5).

Nascono le prime difficoltà con la necessità di ottenere dei tasselli che abbiano le stesse lunghezze focali e la stessa sezione di curvatura sferica lungo i due assi. Oltre a contattare un ottico di Firenze, Angiolo Ciabilli, esperto nella costruzione di strumenti scientifici, e l'ingegner Angelo Salmoiraghi della Filotecnica di Milano, Horn d'Arturo propone la costruzione dei primi tasselli alla Zeiss, in occasione di un viaggio a Jena, nel maggio del 1932, per controllare lo stato di costruzione del telescopio per Loiano.

Le prime prove eseguite a Jena dalla ditta tedesca non forniscono risultati soddisfacenti, ma la tenacia di Horn d'Arturo e, soprattutto, la sua grande preparazione in ottica convincono prima Salmoiraghi e poi il direttore della sezione di strumenti astronomici della Zeiss, Walter A. Villiger, della validità dell'idea e quindi a proseguire nella sperimentazione e infine nella realizzazione dei tasselli.

Inoltre, in occasione del suo viaggio negli Stati Uniti, per partecipare alla IV Assemblea generale dell'International Astronomical Union, svoltasi nel settembre 1932 a Cambridge (MA), Horn d'Arturo ha l'opportunità di discutere il progetto con Harlow Shapley e Frederick Stratton e con i ben noti

George Willis Ritchey e Henri-Jacques Chrétien, padri del sistema ottico Ritchey-Chrétien, attualmente il più diffuso tra i grandi telescopi.¹⁴ Si reca anche al Lick Observatory, dove, insieme al direttore Robert Aitken, esegue alcune prove con lo specchio del telescopio “Crossley” da 90 cm, opportunamente oscurato con una maschera di cartone per simulare i tasselli. Il campo stellare di NGC 7092 viene fotografato con successo in questo modo da Robert J. Trumpler, mostrando come gli effetti di diffrazione dovuti alle intersezioni tra le singole parti siano, tutto sommato, trascurabili.¹⁵ «La mia idea ha trovato molto plauso in America» scrive entusiasticamente Horn d’Arturo al cavalier Carlo Gobessi, della Lehmann-Meccanoptica di Milano, rappresentante Zeiss in Italia, sperando addirittura di poter presentare «uno specchio di 5 metri di diametro (a tasselli) all’esposizione di Chicago dell’anno venturo!».¹⁶

Nel frattempo, pensa di brevettare il suo progetto e di poterlo vendere alla Zeiss. Già nel 1911 aveva ottenuto un brevetto su “La sincronizzazione dei pendoli”¹⁷ e nel 1922 due brevetti per strumenti che velocizzassero la battitura sulle macchine da scrivere, “I pedali commutatori” e “Il ginocchiale”. Nel giugno del 1932 invia una “domanda di privativa industriale” al Ministero delle Corporazioni a Roma. Un anno più tardi il Ministero gli scrive chiedendogli di compilare la domanda su nuovi moduli e con modalità differenti. Risponderà pochi mesi dopo, nel febbraio del 1934, annunciando di voler ritirare la domanda, ma senza addurre alcuna giustificazione: Dai documenti d’archivio non se ne comprendono le motivazioni, ma si può immaginare che la difficoltà di ottenere tasselli soddisfacenti gli lascino ancora qualche dubbio: i primi, realizzati dal fiorentino Ciabilli, sono, infatti, mal costruiti e del tutto inutilizzabili.

Finalmente, grazie a 10 tasselli della Filotecnica, il progetto può realizzarsi: viene montato il primo, parziale, specchio composito e il 19 giugno 1935 si fanno le prime prove in cielo sulla qualità delle ottiche e sulle complicate procedure di allineamento. Il tempo complessivo per mettere a posto lo strumento è addirittura di 3-4 ore, ma con soli 10 tasselli si raggiunge già la magnitudine 10,5 con un tempo di esposizione di 3^m35^s. Essendo il telescopio fisso su di un piano di marmo, è necessario che sia il portastre a muoversi per seguire il moto del cielo zenitale sul piano focale. Dapprima il movimento è manuale e difficoltoso, ma in seguito si utilizza un motore

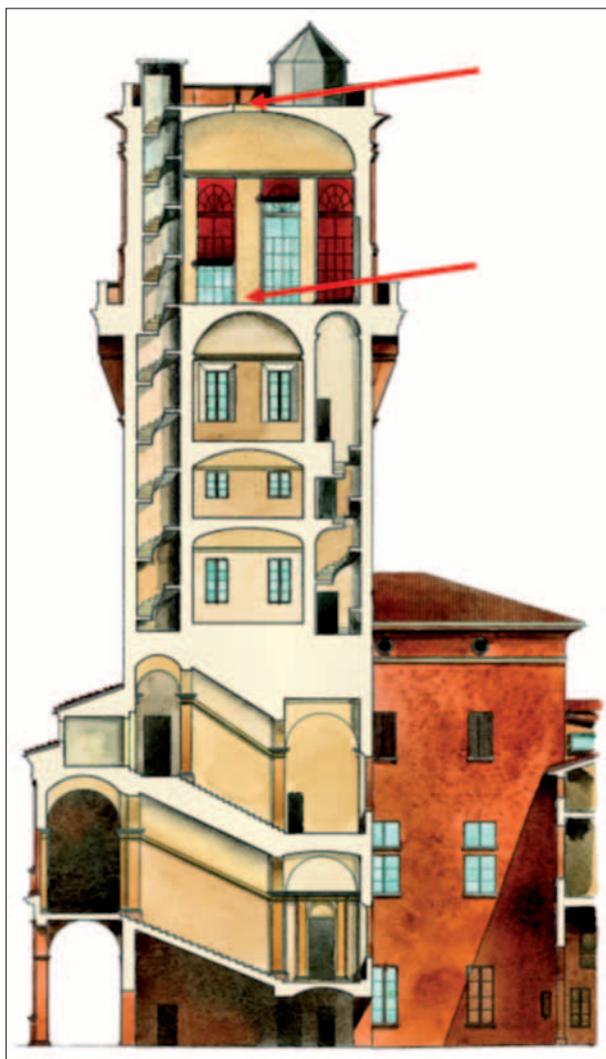


FIG. 5. Sezione della torre della Specola di Bologna. La freccia inferiore indica la prevista posizione del prototipo dello specchio a tasselli; quella superiore il piano focale dello strumento.

che sposti il portastre con l’opportuna velocità (FIG. 6).

Tra il 1936 e il ’37 il telescopio è ampliato a 20 tasselli, con i 10 ottenuti dalla Zeiss, e può così essere usato per osservazioni astronomiche.

Ma nell’autunno del 1938 entrano in vigore le leggi razziali e Horn d’Arturo viene rimosso dalla direzione e dalla cattedra e allontanato. Come mostra un lungo e triste carteggio, tenta disperatamente di proseguire il lavoro allo specchio a tasselli e alla sua amata rivista *Coelum*, ma il direttore che lo ha sostituito, Francesco Zagar, e il rettore dell’Università, Alessandro Ghigi, si rifiutano di concedergli alcuna possibilità. Scrive a Vito Volterra¹⁸ per cercare di essere assunto dall’Osservatorio del Cairo, a Helwan – «So che l’ingresso in Egitto ci è vietato (mentre trentatré secoli or sono c’era vietato l’uscirne!) ma ... potrebbe darsi che il Governo egiziano faccia

¹⁴ Lettera a Ritchey in AABO, “Fondo GHd’A, Epistolario privato”, Fh1, busta 7, lettera 188, 28/06/1932, e in “Fondo GHd’A, Specchio a tasselli”, Fh5.2.1, /06/1932; lettera a Chretien in AABO, “Fondo GHd’A, Epistolario privato”, Fh1, busta 9, lettera 679, 7/07/1937.

¹⁵ HORN D’ARTURO (1935).

¹⁶ AABO, “Fondo GHd’A, Epistolario privato”, Fh1, busta 7, lettera 242, 9/10/1932.

¹⁷ HORN D’ARTURO (1912).

¹⁸ AABO, “Fondo GHd’A, Epistolario privato”, Fh1, busta 10, lettera 498, 24/01/1939.

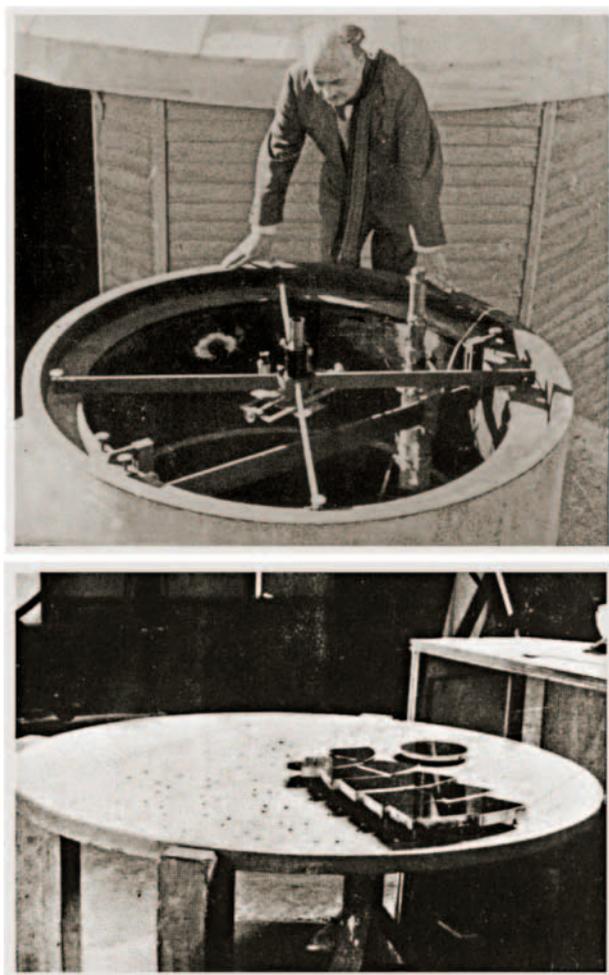


FIG. 6. In basso, i primi dieci tasselli del 1935 per il telescopio da 1 m, nella Sala della torretta della Specola. In alto: Horn d'Arturo sulla terrazza della Specola si affaccia all'apertura nel piano focale dello specchio a tasselli. Sulla crociera è montato il portalastre mobile e l'oculare per la guida durante l'esposizione; su una sbarra mobile, posta obliquamente all'apertura, si vede il collimatore che, opportunamente spostato, poteva controllare l'allineamento di ciascun tassello. (HORN D'ARTURO 1935)

un'eccezione» – e poi tenta anche di essere accolto dall'Osservatorio Vaticano, ma in entrambi i casi senza successo.

Dapprima, riesce almeno a rimanere a Bologna ma poi è costretto a rifugiarsi a Faenza, aiutato dall'amico e collega Giovanni Battista Lacchini, e in seguito a nascondersi nelle campagne vicine.¹⁹ A guerra finita, nella primavera del 1945 (il 4 maggio), torna definitivamente a rioccupare il suo ruolo a Bologna, pur costretto per qualche anno a una difficile condivisione della cattedra con colui che lo aveva sostituito, Zagar, fino a quando questi non viene nominato direttore dell'Osservatorio di Brera, nel 1949.

¹⁹ Un "colorito" riassunto delle sue traversie durante le persecuzioni e la guerra e subito dopo il ritorno a Bologna è in una lettera a G. B. Lacchini del 9 luglio 1945, gentilmente fornitaci, insieme ad altre, dalla nipote Maria Vittoria Lacchini che ha accuratamente riordinato la vastissima corrispondenza del nonno – uno dei fondatori dell'American Association for Variable Stars Observers (AAVSO) – e che qui ringraziamo per la cortesia e disponibilità.

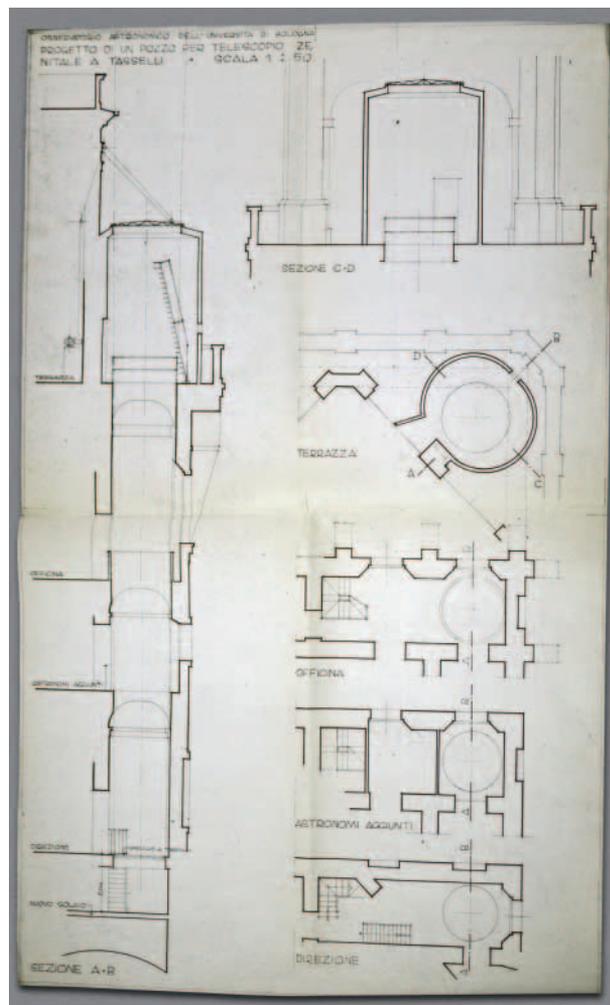


FIG. 7. Disegno esecutivo del pozzo realizzato nella torre per alloggiare il telescopio a tasselli da 1,80 m. È rappresentata in sezione e in pianta la perforazione attraverso quattro piani della Specola e si riconosce la stanza ovale in cui doveva essere posto il centro di curvatura dei tasselli. (AABO, "Fondo GHd'A, Specchio a tasselli", Fh5.3, 1951)

Anni Cinquanta: nasce il telescopio a tasselli da 1,80 m

Dopo la guerra, alla ripresa del suo ruolo all'Università, Horn d'Arturo scopre l'Osservatorio in condizioni drammatiche – condizioni purtroppo comuni a tutt'Italia e all'Europa – e si trova nella necessità di ricominciare dall'inizio il lavoro degli anni precedenti. La Stazione osservativa di Loiano è stata gravemente danneggiata dal passaggio del fronte, parzialmente bombardata, saccheggiate i locali e l'officina, trafugati i motori del telescopio (lo specchio era stato ricoverato a Bologna), manca l'energia elettrica. La rivista «Coelum» aveva interrotto le pubblicazioni nel '43, la biblioteca è gravemente in arretrato.

Riprendono anche i lavori allo specchio a tasselli che, grazie ad altri 60 tasselli, lavorati otticamente nell'officina dell'Osservatorio e che si aggiungono ai primitivi 20, viene completato per raggiungere le previste dimensioni complessive di un metro di diametro.

Ma negli anni d'esilio l'astronomo triestino non aveva cessato di pensare a come poter sviluppare il suo progetto: è opportuno che i tasselli siano più grandi ed esagonali (10 cm di apotema e $3,5 \text{ dm}^2$ ognuno, contro 1 dm^2 dei precedenti), per meglio comporli e soprattutto ridurre gli effetti di diffrazione negli interstizi. Inoltre, non del tutto soddisfatto delle lavorazioni ottiche dei tasselli del prototipo, si organizza per eseguire autonomamente, nelle officine dell'Osservatorio e grazie al valido tecnico Aldo Galazzi, la rifinitura di quelli commissionati alla Società Anonima Italiana del Vetro d'Ottica di Firenze (SAIVO): la gloriosa Zeiss, duramente colpita dalla guerra, è stata divisa tra le due Germanie.

È anche previsto che lo specchio abbia dimensioni maggiori e non è quindi più sufficiente lo spazio nella torretta della Specola, così Horn d'Arturo ottiene fondi dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per perforare, nel 1950, quattro piani nello spigolo occidentale della torre, con l'aiuto del Genio Civile (FIG. 7).

Nel 1952, finalmente, il grande specchio è completato con 61 tasselli, per un diametro complessivo di 1,8 m (FIG. 8).²⁰

Un piccolo ambiente per movimentare le 183 viti di regolazione è stato ricavato sotto al piano di marmo che sorregge lo specchio ed è stata ideata anche una nuova tecnica, molto più rapida, per la regolazione di tutto il sistema dal centro di curvatura e non più dal piano focale: ora sono "sufficienti" circa 45 minuti, rispetto alle 3-4 ore precedenti. Questa operazione, però, deve essere eseguita all'inizio di tutte le notti e spesso anche durante le osservazioni, a causa delle variazioni termiche che subiscono le ottiche.

La focale dello specchio è di 10,4 m e il rapporto di apertura è $f/5,7$. Il campo utile del telescopio è di $1,3^\circ$, la scala di $20''/\text{mm}$. Le dimensioni maggiori delle lastre utilizzate sono di $9 \times 24 \text{ cm}$, coprendo così un campo di cielo di $30'$ in ascensione retta e $80'$ in declinazione. Il potere risolutivo di ogni singolo tassello è $0,5''/\text{mm}$, mentre quello totale, teorico, di $0,05''/\text{mm}$. Che un limite dello specchio a tasselli dipenda dal fatto che il potere risolutivo è determinato da quello del singolo tassello, di molto inferiore quindi a quello di uno specchio monolitico di dimensioni pari a tutto il mosaico di tasselli, è ben chiaro a Horn d'Arturo che, già nel dicembre 1935, così aveva scritto a un «Carissimo amico» non meglio identificato, forse Lacchini:²¹

²⁰ HORN D'ARTURO (1955).

²¹ AABO, "Fondo GHd'A, Epistolario privato", Fh1, busta 8, lettera 882, 02/12/1935.



FIG. 8. Estate del 1952: Horn d'Arturo ammira il completato specchio a tasselli da 1,80 m. (HORN D'ARTURO 1955)

Più seria è la questione del potere risolutivo il quale dipende dalla grandezza non già dell'intero specchio, ma dei tasselli, così che la "definizione" delle immagini è quella somministrabile dall'area di un decimetro quadrato [si riferisce ovviamente al primo modello degli anni Trenta con i tasselli trapezoidali piccoli]. Negli specchi di maggior diametro anche i tasselli potranno essere maggiori, p.e. in un diametro di cinque metri i tasselli avranno i lati di cinquanta centimetri e via dicendo [ed è esattamente quello che avverrà poi con la costruzione dei moderni telescopi *multi-mirror*]. Io affermo però che neanche nei grandi specchi monojalici [i.e. monolitici] la definizione è quella che si aspetterebbe dal diametro, perché le deformazioni prodotte dalla temperatura sono tali che rende illusoria la definizione teorica.

Che poi, anche negli specchi monolitici, il potere risolutivo teorico sia limitato dalla *Point Spread Function* (PSF), cioè principalmente dall'immagine di *seeing*, gli è altrettanto chiaro:

difatti sulla puntiformità delle immagini poco si sarebbe potuto prevedere per via teorica ed è stato molto meglio eseguire intanto l'esperimento; il quale è incoraggiante.

"L'esperimento" consiste, molto praticamente, nel misurare la separazione angolare minima tra due stelle che, per lo specchio da 1,8 m, risulta di circa 5 secondi d'arco, un quarto di millimetro sulle lastre fotografiche. Al riguardo, riportiamo quanto ebbe a scrivere nel 1930 il fisico irlandese, Edward H. Synge, esperto in progettazione d'avanguardia di microscopi e telescopi (e del quale parleremo più avanti):

*It seems that $6''$ may be taken as the minimum angular diameter of the photographic image of a star, which can be obtained by any of the large telescopes in the United States ... This limit is imposed by the minimum of atmospheric disturbance over the area.*²²

²² SYNGE (1930).



FIG. 9. La lastra N. 2996, del 10 ottobre 1953, mostra la regione del cielo a nord della stella 56 Cygni, visibile al margine inferiore e di cui si apprezza la regolarità della figura di diffrazione. Le immagini sono circolari e completamente esenti da coma fino ai bordi del campo; alla scala dell'originale, 9×24 cm, $1' = 3$ mm.

Il portalastre è mosso da un motore a 12 volt DC con un passo di 1 mm ogni 1,852 s di tempo siderale; a causa del moto del cielo e del campo utile disponi-

bile, l'esposizione massima che si può effettuare è di 6^m45^s , su lastre Cappelli Ultrasensibili (le Kodak sono ancora troppo costose), appositamente preparate dalla Ferrania per Bologna nei formati 9×12 e 9×24 :

il tempo deve essere breve – spiega l'astronomo nella stessa lettera del 1935 – per non condurre la lastra in quella parte del campo in cui il fenomeno della “coma” è troppo sensibile.

In buone condizioni di cielo, si riesce a raggiungere la diciottesima magnitudine, il che, se si pensa che ci si trova nel centro di Bologna con i conseguenti inquinamenti atmosferici e luminosi, appare un risultato senz'altro eccellente (FIG. 9).

Ma un telescopio è fatto per le osservazioni astronomiche e queste ora si possono iniziare: nell'arco di sei anni, dal 1952 al '57, viene fotografato tutto il cielo zenitale di Bologna su oltre 17.000 lastre, oggi conservate nel Museo della Specola dell'Università di Bologna. Insieme a Giovanni Battista Lacchini e a diversi collaboratori, si studiano, tra l'altro, diverse stelle variabili e se ne scoprono 11 nuove, di magnitudine tra 14 e 16,²³ dimostrando così l'efficienza dell'ingegnoso strumento, costruito in grande economia, grazie alla mano d'opera tecnica locale e senza gli strumenti di verifica e controllo disponibili presso grandi industrie di ottica: solo con l'enorme competenza ottica e strumentale di Horn.

Il limite maggiore del progetto consiste nell'immobilità orizzontale dello specchio, limite oggi superato dai progressi tecnologici, ma già negli anni Trenta egli aveva pensato a come ovviarvi, disponendo vari telescopi a tasselli in più luoghi, per poter osservare zone di cielo diverse.²⁴ Propone di posizionarne una decina in tutt'Italia, da nord a sud, distanziati tra di loro di circa 150 km in latitudine geografica e in grado di coprire ognuno 80 primi d'arco di cielo in latitudine celeste, riuscendo così a osservare tutto il cielo nazionale. Per i soliti motivi di mancanza di fondi, Horn d'Arturo pensa di sfruttare dei luoghi già esistenti, idonei ad ospitarli: per esempio, il pozzo di San Patrizio a Orvieto o la Torre dei Francesi a Brescia o le Grotte di Castellana in Puglia. Per queste ultime, da poco scoperte, progetta addirittura uno strumento imponente, quello che lui chiama «la più grande superficie riflettente del mondo», con uno specchio composto da 217 tasselli e diametro complessivo di 5,10 m, superiore al telescopio del Monte Palomar.²⁵ Nonostante l'appoggio delle istituzioni locali pugliesi, il progetto, tuttavia, non viene mai avviato, per motivi che restano ancora da chiarire.

²³ HORN D'ARTURO, LACCHINI (1955a e 1955b). Per una descrizione delle osservazioni eseguite con lo specchio a tasselli, vedi PICCAZZI (2017, pp. 95-106 e in particolare Tab. 5.3, in cui sono riportate le stelle variabili osservate, con le rispettive variazioni di luminosità e la moderna classificazione dal *database* Simbad).

²⁴ HORN D'ARTURO (1932b).

²⁵ HORN D'ARTURO *et al.* (1957).

Non contento, con grande anticipazione sui tempi, considera anche di utilizzare due grandi tasselli, distanziati tra di loro di almeno dieci metri, come interferometro stellare.²⁶ E ancora, nel 1966 ha occasione di leggere un articolo su *Missiles and Rockets*, in cui si avanza l'ipotesi di lanciare nello spazio un telescopio da 3 m, con un *Saturn V*, addirittura nel 1979. La NASA, Perkin-Elmer, Boeing Co. e American Optical Co. stanno studiando la possibilità di realizzare allo scopo un'ottica attiva che agisca su uno specchio composto (ovviamente) da tasselli esagonali (FIG. 10):²⁷

The surface of an active optical mirror is made up of a number of "tiles", much like those on a bathroom floor.

E così, nel suo ultimo articolo su *Coelum*,²⁸ pochi mesi prima della morte, può scrivere – immagino con grande soddisfazione, ma anche con sicuro rammarico per non vedere mai ricordato il suo nome – che:

l'impossibilità di ottenere immagini meglio definite, finché si rimane dentro l'atmosfera della Terra... spinge l'astronomo a portare i mezzi ottici fuori dell'atmosfera; ... essendo uno degli ostacoli il gran peso dello specchio monojalisco... si finisce per ricorrere allo specchio a tasselli... relativamente poco pesante.

Gli sviluppi moderni del telescopio a tasselli

Altri parleranno qui più in dettaglio degli sviluppi moderni del progetto di Horn d'Arturo, per cui ci limitiamo a ricordare che si dovranno attendere oltre vent'anni dall'entrata in funzione dello specchio a tasselli da 1,8 m e quasi cinquanta dalla nascita del progetto, perché finalmente si costruisca un grande telescopio con la tecnica del mosaico di specchi: nel 1979 vede la luce il *Multiple Mirror Telescope* (MMT) su Mount Hopkins in Arizona, uno strumento formato da sei specchi circolari da 1,8 m di diametro ciascuno.

Passa ancora del tempo e l'idea geniale di Horn d'Arturo – aumentare le dimensioni degli specchi primari sfruttando l'unione di superfici più piccole – diventa la tecnica costruttiva della maggior parte di tutti i grandi moderni telescopi *multi-mirror*. I telescopi gemelli *Keck I* e *Keck II* sorgono sul Mauna Kea alle Hawaii nel 1993-97, ognuno con uno specchio primario da 10 m di diametro, costituito da 36 esagoni. Nel '97 è attivo l'*Hobby Eberly Telescope* del McDonald Observatory, con diametro da 10 m e formato da ben 91 esagoni; simile a questo è in Sudafrica il *Southern African Large Telescope*, del 2005, con uno specchio formato da 91 tasselli esagonali per un diametro totale di 9,2 m. Ci limitiamo a ricordare ancora il *Gran Telescopio Canarias* a La Palma, del

²⁶ HORN D'ARTURO (1965).

²⁷ BELLER (1966).

²⁸ HORN D'ARTURO (1966).

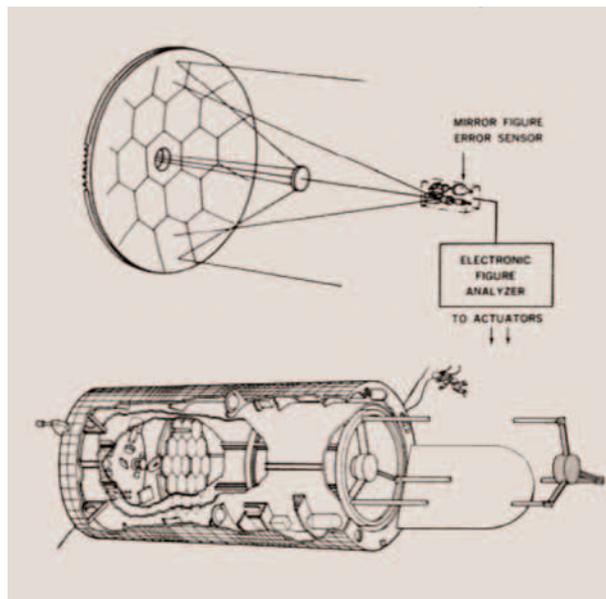


FIG. 10. In alto: il sistema di ottica attiva, in studio a metà degli anni Sessanta, per un telescopio orbitante dotato di «self-adjusting tiles». In basso: schema del progetto del grande telescopio spaziale con specchio a tasselli e dotato di ottica attiva. (Da: BELLER 1966)

2007, 36 tasselli e un'apertura di 10,4 m, e il *Large Sky Area Multi-Object Fibre Spectroscopic Telescope* dell'Accademia cinese delle scienze, composto da uno specchio primario con 24 esagoni per un totale di 5×4 m e un secondario con 37 segmenti per 6 m, a formare un'ottica molto complessa per osservazioni spettroscopiche.

Altri telescopi di questo tipo sono oggi in fase di costruzione o di progettazione: il *Thirty Meter Telescope*, con un diametro di 30 metri e con 492 tasselli esagonali e lo *European Extremely Large Telescope* (E-ELT) dell'ESO, con un'importante partecipazione italiana, previsto per i prossimi anni in Cile, formato da 798 esagoni con un'apertura di 39,3 m: sarà il più grande telescopio al mondo e, inutile dirlo, sarà realizzato secondo il progetto sviluppato dall'astronomo triestino.

E come se tutto ciò non bastasse, l'ultimo dei sogni avveniristici di Horn d'Arturo – un telescopio a tasselli anche fuori dall'atmosfera terrestre – si vedrà realizzato con il lancio del *James Webb Space Telescope*, in avanzato stato di costruzione, costituito da 18 specchi (ovviamente) esagonali, per un'apertura di 6,5 m.

La moderna tecnologia ha sviluppato oggi dei sistemi di aggiustamento dei singoli specchi – ottica attiva – e, per alcuni, anche di adattamento alle distorsioni provocate nelle immagini dalla turbolenza dell'aria – ottica adattiva – che operano in micro- o nano-secondi, abbattendo così quei 45 minuti che faticosamente impiegava Horn d'Arturo insieme ai suoi collaboratori.

Insomma, anche da un semplice confronto vivo con i vari specchi primari dei tanti telescopi *multi-mirror* realizzati e in progettazione, è impossibile non constatare la diretta discendenza dei nuovi stru-

menti da quello costruito e utilizzato scientificamente nella Specola bolognese.

Perché finora non è stato riconosciuto il merito di Horn d'Arturo?

Nel 1978, poco prima dell'entrata in funzione di MMT in Arizona, un allievo e amico di Horn d'Arturo, Luigi Jacchia²⁹ – fuggito negli USA per le leggi razziali e che diventerà un importante astronomo presso lo Smithsonian Astrophysical Observatory – scrive su *Sky and Telescope* un articolo dal titolo significativo, *Forefathers of the MMT*, in cui, giustamente, gli attribuisce la primogenitura dell'idea di uno specchio composito per i grandi telescopi e conclude affermando:³⁰

All things considered, the MMT on the eve of completion in Arizona must be considered a descendant, along a cadet line, of Bologna telescope.

Sembrava chiaro, quindi, fin dalla costruzione del primo moderno *multi-mirror telescope*, come l'idea originale fosse da attribuire all'astronomo triestino, ma come mai, allora, nella letteratura astronomica, soprattutto internazionale, si trovano pochissimi riferimenti al suo “telescopio a tasselli”?

È sempre stato, e continua a essere, fonte di discussione tra gli storici e tra i filosofi della scienza il processo “mentale” che porta a una scoperta scientifica o tecnica e, di conseguenza, “il se, il chi e il quando” se ne può attribuire, con maggiore o minore certezza, la primogenitura. La storia della scienza è ricca di attribuzioni assegnate, dibattute e poi rimesse in discussione. Sta di fatto che si può affermare, in generale e molto sinteticamente, che una nuova teoria scientifica o un nuovo sviluppo tecnologico nascono in un contesto di convinzioni, conoscenze, esperienze e valutazioni che non sono meramente scientifiche o solamente “personali”, bensì, in senso lato, del tutto “culturali”, per cui può non essere casuale che due o più persone giungano nello stesso tempo a formulare le stesse ipotesi o a sviluppare gli stessi strumenti. Come a dire che, quando l'ambiente è “caldo” e l'*humus* fertile, idee simili possono sbocciare contemporaneamente o quasi.

Tra i tanti esempi, si può ricordare l'interminabile vicenda, anche giudiziaria, relativa all'invenzione del telefono, tra Antonio Meucci e Alexander Graham Bell, conclusasi (forse) a favore dell'italiano solo nel 2002, addirittura con una risoluzione del Congresso degli Stati Uniti d'America. Per non parlare delle polemiche che nascono, con una certa frequenza, all'atto dell'assegnazione dei premi Nobel in diverse discipline. Per rimanere nel campo astronomico, si può far menzione della disputa sull'in-

²⁹ SALADYGA (2007); si veda anche la recente tesi di laurea di GIUSEPPE PISANA (2019), dove sono esaminate in dettaglio le sue vicende umane e la brillante carriera scientifica negli Stati Uniti.

venzione del cannocchiale, tutt'oggi irrisolta, tra Hans Lippershey, Jacob Metius e Zacharias Janssen (e perché non anche Giovanbattista Della Porta?) o di quelle tra Galileo e Simon Mayr (Marius), per la priorità della scoperta dei satelliti di Giove, e tra lo stesso Galileo e Christoph Scheiner, riguardo all'osservazione delle macchie solari, o della lunga polemica tra Angelo Secchi e Lorenzo Respighi sulla priorità dell'utilizzo del prisma obiettivo. Un esempio recentissimo è la decisione presa dall'International Astronomical Union di cambiare il nome dell'universalmente nota “legge di Hubble” in quello di “legge di Hubble-Lemaître”, riconoscendo così anche all'abate belga la priorità nella scoperta della relazione tra lo spostamento verso il rosso degli spettri delle galassie e la loro distanza; il tutto avvenuto con un ampio dibattito e a seguito di un voto espresso dai suoi membri nell'ottobre 2018.³¹

Al di là, quindi, della nostra certezza riguardo all'attribuzione a Guido Horn d'Arturo della priorità nell'idea e nella realizzazione e nell'utilizzo di un telescopio a tasselli – certezza, come abbiamo visto, suffragata dall'autorevole parere di un importante astronomo come Luigi Jacchia – può essere interessante vedere se e come, nella letteratura specializzata internazionale, abbia circolato e sia stata discussa, accettata o respinta, o addirittura ignorata, l'idea di Horn d'Arturo. Senza entrare troppo nei dettagli, proponiamo allora di ripercorrere cronologicamente e sinteticamente quanto siamo riusciti a trovare.

La prima testimonianza compare nel 1951 su «Scientific American», ad opera di Albert Graham Ingalls, esperto in strumentazione astronomica.³² Il lavoro che Horn d'Arturo stava portando a compimento nell'antica Specola di Bologna e iniziato già nel 1932 viene presentato mettendolo in confronto con i contemporanei progetti di sviluppo dei telescopi monolitici ed evidenziando come potesse essere una soluzione ai problemi presentati dagli altri telescopi, sottolineandone, inoltre, la convenienza economica. Tre anni più tardi, Ingalls lo ricorda ancora, sempre sulla stessa rivista, presentando anche altri progetti che si muovono nella stessa direzione degli specchi segmentati: si tratta di quelli di Y. Väisälä, direttore dell'Osservatorio di Turku, in Finlandia,³³ di J. P. Hamilton, della Astronomical Society of Victoria, Australia, e di L. T. Johnson di La Plata nel Maryland. Correttamente, anche Horn d'Arturo ne parla nei suoi articoli, pur facendo presente che, mentre gli altri progetti erano rimasti solo al livello di un disegno schematico, il suo è stato costruito, funziona e ottiene risultati scientifici.

³⁰ JACCHIA (1978).

³¹ Cfr. www.iau.org/static/archives/announcements/pdf/ann18029e.pdf; anche www.iau.org/news/pressreleases/detail/iau1812/?lang. Per discussioni molto critiche della decisione dell'IAU, vedi KRAGH (2018) e ELIZALDE (2018) e le referenze al loro interno.

³² INGALLS (1951 e 1954).

³³ VÄISÄLÄ (1949).

Nel 1967, nel necrologio di Horn d'Arturo su «Sky and Telescope»,³⁴ Jacchia ricorda ancora il telescopio a tasselli e altrettanto fa Giorgio Abetti, direttore dell'Osservatorio di Arcetri, nella relativa voce sul *Dictionary of Scientific Biography*, anche se, apparentemente, senza troppo entusiasmo.³⁵ Si deve infatti ricordare come, tra gli astronomi italiani, il progetto di Horn d'Arturo non abbia goduto di ampi riconoscimenti, come amaramente sottolineava Jacchia nell'articolo su MMT, sostenendo che:

In Italy Horn d'Arturo was considered an eccentric, and mention of his "specchio a tasselli" almost invariably caused shrugs and smiles [spallucce e sorrisetti!].

Qualche anno più tardi, nel 1972, Cesare Barbieri, dell'Università di Padova, aggiungendo tra parentesi il nome di Guido Horn d'Arturo al suo come autore (certamente con cortesia e affetto), presenta il *Tessellated mirror* su «Optical Sciences Center Newsletter»; una rivista, tuttavia, non molto diffusa nell'ambiente astronomico.³⁶

Bisogna aspettare la costruzione del *Multiple Mirror Telescope* su Mount Hopkins perché ritorni un po' "di moda" il ricordo dei precedenti progetti di specchi segmentati e, oltre a quello già citato di Jacchia del 1978, un corposo articolo di Jacques M. Beckers *et al.*, su un volume del 1981 interamente dedicato ai telescopi degli anni Ottanta, presenta in dettaglio il nuovo MMT e fa una storia accurata degli «early multiple objective telescopes», suddividendoli in due tipi, presentati in due distinte tabelle:³⁷

Table 1 summarizes the literature describing devices that were constructed and tested. Some of these consist of arrays of single mirror segments, which combine to form effectively a single objective in the sense that a single image is formed (Type A). Others, like the MMT, form initially separate images, which are combined by means of relay optics or electronics into one final image (Type B). Table 1 excludes multiple aperture devices aimed at interferometric studies only.

Di tutti i precedenti progetti di specchi segmentati discussi, l'unico che sia stato effettivamente costruito e abbia osservato il cielo appare quello di Bologna. E infatti, nel ricordare il «pioneering work by Horn d'Arturo», gli autori riconoscono finalmente che:

By far the greatest early effort was that by Guido Horn d'Arturo who, as the director of the Bologna Observatory in Italy, pursued the construction of the so-called "tessellated mirror" from 1932 to 1953 with major interruptions caused by the Second World War.

In realtà, le interruzioni erano state causate soprattutto dalle leggi razziali, ma tralasciamo.

Uno scarso accenno al telescopio a tasselli si trova poi in un volume illustrato del 1990, *The visible universe*,³⁸ in cui però compare solo nella didascalia

³⁴ JACCHIA (1967).

³⁵ ABETTI (1981).

³⁶ (D'ARTURO), BARBIERI (1972).

³⁷ BECKERS (1981).

³⁸ AA.VV. (1990), p. 112.

di una foto di Horn d'Arturo chinato sullo specchio da 1,80 m, presentato come

A little-known forerunner of modern segmented telescope mirrors was the mosaic-like reflector conceived in 1932 by Italian astronomer Guido Horn d'Arturo ... Screws attached to the underside of each tile allowed the astronomer to tilt the mirrors ... eliminating spherical and other types of optical aberrations.

Poche parole, ma estremamente chiare nel descrivere i pregi dello strumento e anche nel dichiararlo *forerunner* ... e certamente *little-known*.

Infine, in un recente libro di David Leverington del 2017 sui moderni telescopi, si trova solo un veloce accenno a quello di Horn d'Arturo.³⁹

Tutto qui e, come si può vedere, non gran che, mentre in molte altre pubblicazioni è Jerry Nelson che viene presentato come «inventor of the segmented-mirror primary telescope mirror» e «father of the large segmented telescopes»:

Instead of a single, gigantic reflecting mirror, Nelson proposed constructing a parabolic or bowl-shaped reflecting surface out of many thin mirror segments. He argued that if the technology of a segmented mirror could be mastered, there would be no inherent limit to the size of a reflecting surface.⁴⁰

Indubbiamente, qui non si vuole affatto diminuire il merito di uno scienziato come Jerry Nelson che ha genialmente realizzato il progetto dei telescopi Keck sul Mauna Kea e dell'ottica adattiva, ottenendo per questo nel 2010 il prestigioso *Kavli Prize in Astrophysics* dell'Accademia di Scienze e Lettere di Norvegia, ma è curioso che il modo in cui qui sopra è ricordata l'idea di Nelson suoni molto simile alle parole usate da Horn d'Arturo nel suo articolo del 1932 di presentazione dei vantaggi di un mosaico di specchi rispetto a uno specchio monolitico.

Qualcun altro prima di Horn d'Arturo?

Tornando ai lavori pionieristici sulla possibilità di combinare più specchi a formare un'immagine unica, ci sembra comunque interessante fare un passo indietro nel tempo, in quanto talora sono stati presentati come precursori di questa tecnica sia Lord Rosse, nel lontano 1828, che Edward H. Synge, nel 1930 (si vedano p.e. le tabelle nel citato articolo di Beckers *et al.*).

Nel caso del primo, William Parsons – Lord Oxmantown, divenuto III Earl of Rosse, da cui il nome di Lord Rosse con il quale è universalmente noto – si tratta di un astronomo irlandese che non ha bisogno di alcuna presentazione, in quanto uno dei maggiori costruttori di telescopi dell'Ottocento, in particolare del gigantesco riflettore da 72 pollici (1,83 m) del 1845, noto come «*the Leviathan of Parson-*

³⁹ LEVERINGTON (2017), p. 71.

⁴⁰ YARRIS (1992).



FIG. 11. Lo specchio a tasselli oggi, ricollocato nella sua sede originaria e visitabile all'interno del percorso del Museo della Specola che occupa tutta l'antica torre. (Foto: F. Bònnoli)

stown”, il telescopio più grande del mondo fino agli inizi del secolo successivo. Nel 1828, Lord Rosse pubblicò sul «Journal of Science» di Edimburgo un articolo su di un nuovo telescopio riflettore nel quale descriveva come poter diminuire l'aberrazione sferica e discuteva i limiti dei due metodi allora in uso.⁴¹ Il primo metodo consisteva nel lavorare la superficie sferica fino a renderla parabolica o quasi: operazione di estrema delicatezza e difficoltà per chi doveva levigare manualmente lo *speculum*, come si chiamava la lega di rame e stagno, talora con parti di piombo, argento e arsenico, che costituiva l'obiettivo dei riflettori prima che si passasse all'utilizzo del vetro ottico argentato. Il secondo consisteva nell'aumentare la lunghezza focale in proporzione all'apertura, con il limite di ottenere un telescopio estremamente ingombrante e complicato da utilizzare. Il nuovo metodo, testato da Lord Rosse su un prototipo in ottone da 6 pollici (15 cm), consisteva nel montare intorno allo specchio un anello dello stesso materiale e con la stessa sezione sferica: lo specchio centrale poggiava su tre viti e poteva essere abbassato in modo che l'immagine formata sul piano focale, a 2 piedi (61 cm) di distanza, fosse esente da aberrazione sferica. Lord Rosse si riproponeva nell'articolo di costruirne in seguito un modello da circa 50 cm: non ci risulta sia mai stato realizzato.

⁴¹ OXMANTOWN (1828).

Horn d'Arturo è a conoscenza di questo esperimento di Lord Rosse e ne discute diffusamente con l'ingegner Villiger della Zeiss.⁴² Sta di fatto che, mentre l'idea dell'irlandese è volta solo alla correzione dell'aberrazione sferica mediante una sola superficie riflettente circondata da un anello, riflettente anch'esso, quella dell'italiano prevede un mosaico di specchi molto più sottili e più leggeri e semplici da costruire e con tutti i vantaggi che abbiamo descritto. Infatti, lo stesso Beckers, nell'articolo citato, sostiene, a proposito dell'idea di Lord Rosse, che «Goal was not large size but elimination of spherical aberration».

Il secondo personaggio che abbiamo riportato è il fisico irlandese Edward H. Synge che nel 1930 presentò sul «Philosophical Magazine and Journal of Science» una proposta per un «very large telescope».⁴³ Anche in questo caso, l'idea di Synge non è del tutto confrontabile con quella di Horn d'Arturo e infatti, sempre Beckers lo pone in una tabella differente da quella dello specchio a tasselli di Bologna, in quanto lo strumento proposto non è costituito da un mosaico di specchi combinati a formare un singolo obiettivo e un'unica immagine focale, bensì da un insieme di telescopi veri e propri, le cui immagini sono raccolte e combinate da opportune ottiche secondarie, preferibilmente lenti e con una certa complessità, come descritto dallo stesso Synge:

The design consists essentially in the assemblage of a number of similar reflecting telescopes pointed in the same direction, the images from which are ultimately superimposed in the focal plane of another reflector or lens, the resultant image containing the aggregate light of all ... The whole assemblage forms a sort of «battery» of 1-meter telescopes, all pointing in the same direction [where there] is a large lens, or reflector, of, say, 1 meter in diameter.

Emerge, quindi, come entrambe le idee – quella di Lord Rosse del 1828 e quella di Synge del 1930 – fossero sostanzialmente differenti da quella dello specchio a tasselli di Horn d'Arturo e, inoltre, come nessun altro, prima di lui, abbia mai costruito e utilizzato scientificamente un telescopio *multi-mirror*.

Un ultimo aspetto va aggiunto e cioè che Horn d'Arturo ha sempre pubblicato i suoi accurati lavori di ottica in italiano, con solo un paio di eccezioni per un breve articolo in inglese, nel 1953, sul «Journal of the British Astronomical Association» – rivista sicuramente molto diffusa, ma non certo tra le più rilevanti in astronomia – e due in tedesco, nel 1956 e '57, su «Optik» e su «Sterne».⁴⁴ Questo certo non ha contribuito a diffondere le sue idee, anche se, come abbiamo appena visto, chi avesse voluto avrebbe potuto prenderne assoluta conoscenza sin dagli articoli di Ingalls e di Jacchia.

⁴² AABO, “Fondo GHd'A”, “Epistolario privato”, Fh1, busta 7, lettera 154, 14/5/1932.

⁴³ SYNGE (1930).

⁴⁴ HORN D'ARTURO (1953, 1956, 1957).

Conclusioni

Mentre rimane ancora il rammarico che ai suoi tempi l'astronomia italiana facesse "spallucce e sorrisetti" a sentir parlare dello specchio a tasselli – come amaramente ricordava Jacchia – finendo nel tempo con il dimenticare il nome di Guido Horn d'Arturo, non possiamo fare altro che congratularci con quanti, oggi, ne hanno finalmente riconosciuto il merito e le abilità pioneristiche, decidendo di intitolare al suo nome il moderno telescopio ASTRI (di cui altri parlano qui ampiamente).

In particolare, voglio qui ringraziare Giovanni Pareschi dell'Osservatorio di Brera e Principal Investigator del progetto ASTRI, che per primo lo ha proposto, e il presidente della SAI, Ginevra Trinchieri che, interpretando il desiderio della comunità astrofisica nazionale, ha rivolto la proposta all'Istituto Nazionale di Astrofisica. Un grande ringraziamento, inoltre, a tutti quanti, nell'ambito del progetto nato un paio di anni orsono per la realizzazione di una mostra al Museo Ebraico di Bologna per i cinquant'anni della morte di Horn d'Arturo, hanno stimolato un importante studio delle opere e dei documenti dello scienziato, studio che ha portato a questa intitolazione e a queste giornate: Vincenza Maueri, direttore della Fondazione Museo Ebraico, Caterina Quareni dello stesso Museo Ebraico, Sandra Caddeo, dell'Osservatorio di astrofisica e scienza dello spazio di Bologna, Stefano Sinicropi, del Dipartimento di Storia Culture Civiltà dell'Università di Bologna.

E infine tutta la grande famiglia Horn che è sempre stata estremamente disponibile per le nostre ricerche e ci ha messo a disposizione tutto il materiale di cui disponeva sul lontano parente Guido.

Mi piace terminare ricordando le parole di Horn d'Arturo che concludevano la sua unica pubblicazione in inglese sull'argomento, del 1953, sessantasei anni or sono:

We think the tessellated-mirror system will find its most useful employment not with mirrors two or three metres in aperture, which can be effectively constructed in single pieces, but with much greater mirrors, and perhaps a day will come in which tessellated mirrors five metres in diameter will be counted among the small ones.

Possiamo dire che mai parole furono più dimenticate, ma più profetiche.

Referenze bibliografiche

- AA. VV. (1990), *The visible universe*, Time-Life Books Eds., 1990.
- ABETTI G. (1981), *Horn d'Arturo, Guido*, in *Dictionary of scientific biography*, Ch. C. Gillispie Ed., 6, New York, Charles Scribner's Sons, 1970-1980, pp. 507-508.
- BEEKMAN G. (2000), *Oudste facettenpiegel in ere hersteld*, «Technisch Weekblad», 24.5.2000.



FIG. 12. Sul soffitto del piccolo locale, posto sotto allo specchio a tasselli da 1,80 m, si può vedere il complesso meccanismo di 183 viti che consentivano di regolare i 61 tasselli. (Foto: F. Bònoli)

- BEEKMAN G. (2000), *De vader van de mozaïekspiegeltelescoop*, «Zenit», Sept. 2000, pp. 382-385.
- BECKERS J. M. et al. (1981), *The Multiple Mirror Telescope*, in *Annual Review Monograph: Telescopes for the 1980s*, G. Burbidge, A. Hewitt Eds., Annual Reviews Inc., 1981, pp. 63-128.
- BELLER W. S. (1966), *'Live' Mirror Adapts Itself to Space*, «Missiles and Rockets», 18 (17), Apr. 25, pp. 24-25.
- BÒNOLI F. (2003), *Horn d'Arturo, Guido*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. 61, Roma, Istituto della Enciclopedia Italiana Treccani, 2003, pp. 729-730.
- BÒNOLI F. (2007), *Horn d'Arturo, Guido*, in *Biographical Encyclopedia of Astronomers*, Th. Hockey Ed., Springer, 2007, pp. 525-526.
- BÒNOLI F. (2015), «Caro, vecchio Maestro». *La storiografia dell'astronomia: un caso bolognese*, in *Una scienza bolognese? Figure e percorsi della storiografia della scienza*, a cura di A. Angelini et al., Bologna, Bononia University Press, 2015, pp. 71-84.
- BÒNOLI F., PICAZZI V. (2019), *Il telescopio a tasselli di Guido Horn d'Arturo è realmente il progenitore dei moderni grandi telescopi multi mirror?*, in *Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia - Atti del XXXVII Convegno annuale - Bari 2017*, Pavia University Press (in stampa).
- BÒNOLI F., MANDRINO A. (2015) (a cura di), *Atti del convegno "Sotto lo stesso cielo? Le leggi razziali e gli astronomi in Italia" (Bologna 26 gennaio 2015)*, «Giornale di Astronomia», 41 (2), 2015.
- CHIANURA A. (1998), *Ricerca di controparti ottiche di GRB sulle lastre dello specchio a tasselli*, Tesi di laurea in Astronomia, Università di Bologna, a.a. 1998-99.
- ELIZALDE E. (2018), *Reasons in favor of a Hubble-Lemaître-Slipher's (HLS) law*, arXiv:1810.12416v2 [physics.hist-ph], submitted on 29 October 2018.
- FERRARINI, M. (1999), *La biblioteca «Guido Horn d'Arturo» dell'Università di Bologna*, «Giornale di Astronomia», 25 (2), 1999, pp. 9-10.
- HORN D'ARTURO G. (1912), *La sincronizzazione elettrica ordinaria usata intermittenemente per subordinare un pendolo oscillante secondo il tempo medio ad uno oscillante secondo il tempo siderale*, «Rendiconti della Regia accademia dei Lincei», XXI, serie 5, 1912, pp. 179-181.
- HORN D'ARTURO G. (1932a), *Strumenti e progressi dell'astronomia*, «Coelum», 2 (2), 1932, pp. 25-27.

- HORN D'ARTURO G. (1932b), *Telescopi dell'avvenire e specchi a tasselli*, «Coelum», 2 (3), 1932, pp. 49-52.
- HORN D'ARTURO G. (1935), *Primi esperimenti con lo specchio a tasselli*, «Memorie della Società Astronomica Italiana», 9 (2), 1935, pp. 133-146.
- HORN D'ARTURO G. (1936), *Immagini stellari extrassiali generate dagli specchi paraboloidici, sferici ed a tasselli*, «Pubblicazioni dell'Osservatorio Astronomico della R. Università di Bologna», 1936, 3 (5).
- HORN D'ARTURO G. (1953), *The tessellated mirror*, «Journal of the British Astronomical Association», 63 (2), 1953, pp. 71-74.
- HORN D'ARTURO G. (1955), *Il compiuto specchio a tasselli di metri 1,80 d'apertura collocato nella Torre dell'Osservatorio astronomico universitario di Bologna*, «Coelum», 23 (5-6), pp. 65-68.
- HORN D'ARTURO G. (1956), *Über eine neue art von Teleskopspiegeln*, «Optik», 13, 1956, pp. 254-258.
- HORN D'ARTURO G. (1957), *Der Facettenspiegel-Plan*, «Sterne», 32, 1957, pp. 129-133.
- HORN D'ARTURO G. (1965), *Interferometro stellare costituito da due soli tasselli speculari distanti tra loro quanto si voglia*, «Pubblicazioni dell'Osservatorio Astronomico di Bologna», IX (1) 1965, e «Coelum», 23 (3-4), 1965, pp. 33-39.
- HORN D'ARTURO G. (1966), *Applicazioni dello specchio a tasselli*, «Coelum», 24 (11-12), 1966, pp. 164-167.
- HORN D'ARTURO G., LACCHINI G. B. (1955a), *Variazioni luminose di quattro stelle scoperte fotograficamente con lo specchio a tasselli*, «Pubblicazioni dell'Osservatorio Astronomico universitario di Bologna», VI (7), 1955.
- HORN D'ARTURO G., LACCHINI G. B. (1955b), *Variazioni luminose di altre sette stelle fotografate con lo specchio a tasselli*, «Pubblicazioni dell'Osservatorio Astronomico universitario di Bologna», VI (13), 1955.
- HORN D'ARTURO G., ROTOLO N., FANTASIA M., GIANNOCCARO G. (1957), *La più grande superficie riflettente del mondo nelle Grotte di Castellana, specchio a tasselli di 5,10 m di diametro*, Putignano, Edizioni del comune di Castellana Grotte, 1957.
- (HORN D'ARTURO G.), BARBIERI C. (1972), *Guido Horn d'Arturo and his Tessellated Mirror*, «Optical Sciences Center Newsletter», 6, 1972, pp. 20-21.
- INGALLS A. G. (1951), *The amateur astronomer*, «Scientific American», 184 (1), 1951, pp. 60-63.
- INGALLS A. G. (1954), *The amateur scientist*, «Scientific American», 190 (4-5), 1954, pp. 99-102, e 190 (6), 1954, p. 102.
- JACCHIA L. (1967), *An Italian Astronomer*, «Sky and Telescope», 33 (6), 1967, p. 93.
- JACCHIA L. (1978), *Forefathers of the MMT*, «Sky and Telescope», 55 (2), 1978, pp. 99-101.
- KRAGH H. (2018), *Hubble Law or Hubble-Lemaître Law? The IAU Resolution*, arXiv:1809.02557 [physics.hist-ph], submitted on 7 September 2018.
- LEVERINGTON D. (2017), *Observatories and Telescopes of Modern Times*, Cambridge University Press, 2017.
- MARRA, M. (2000), *New astronomy library in Bologna is named after Guido Horn d'Arturo: a forefather of modern telescopes*, «Journal of the British Astronomical Association», 110 (2), 2000, p. 88.
- OXMANTOWN LORD (1828), *Account of a new reflecting telescope*, «Edinburgh Journal of Science», IX (17), 1828, pp. 25-30.
- ROSSI, A. (1954), *Guido Horn d'Arturo: astronomo e uomo di cultura*, Bologna, CLUEB, 1994.
- PICAZZI V. (2017), *Il progetto di telescopio a tasselli di Guido Horn d'Arturo: forefather of the new generation multi-mirror telescopes*, tesi di Laurea Magistrale in Astrofisica e Cosmologia, Università di Bologna, a.a. 2015-16, 2017.
- PICAZZI V., BÒNOLI F. (2017), *Perché non intitolare E-ELT a Guido Horn d'Arturo, forefather of the multi-mirror telescopes?*, «Giornale di Astronomia», 43 (2), 2017, pp. 2-23.
- PISANA G. (2019), *Luigi G. Jacchia, un triestino a Bologna: dai cieli di Lojano all'esplorazione spaziale americana*, tesi di Laurea Magistrale in Astrofisica e Cosmologia, Università di Bologna, a.a. 2017-18, 2019.
- POPPER K. (2004), *Come io vedo il Duemila. Sedici interviste: 1983-1994*, Roma, Armando Edit., 2004.
- SALADYGA M. (2007), *Jacchia, Luigi Giuseppe*, in *Biographical Encyclopedia of Astronomers*, Th. Hockey Ed., Springer, 2007, p. 582.
- SYNGE E. H. (1930), *A design for a very large telescope*, «The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science», Series 7, 10 (63), 1930, pp. 353-360.
- VÄISÄLÄ Y. (1949), *A new procedure for constructing gigantic telescopes*, «Urania», 220, 1949, pp. 89-93.
- YARRIS L. (1992), *Revolution in telescope design debuts at Keck after birth here*, da «Sciencebeat» Winter 1992, publ. Berkeley Lab, www2.lbl.gov/Science-Articles/Archive/keck-telescope.html (Reprinted from the Fall/Winter 1992 Research Review Magazine).
- ZUCCOLI M. (2000), *Guido Horn d'Arturo: un astronomo e la sua biblioteca*, «Annali di storia delle università italiane», 4, 2000, pp. 163-172.
- ZUCCOLI M. (2006), *Fondo Horn d'Arturo: lettere dal 1912 al 1939*, «Annali di storia delle università italiane», 10, 2006, pp. 401-406.
- ZUCCOLI M., BÒNOLI F. (1999) (a cura di), *Guido Horn d'Arturo e lo specchio a tasselli*, Bologna, CLUEB, 1999.

Fabrizio Bònoli, già professore associato, è attualmente professore a contratto di Storia della cosmologia presso l'Alma Mater Studiorum - Università di Bologna.

Guido Horn d'Arturo e le ottiche cooperanti

Roberto Ragazzoni

INAF - Osservatorio Astronomico di Padova

NELLO sviluppo della strumentazione astronomica da Galileo ad oggi, non è sempre stato ovvio, e in parte non lo è tuttora, che – parafrasando una vecchia pubblicità – un grande telescopio possa necessariamente fare grandi scoperte. Si pensi, ad esempio, all'apertura di nuove finestre di esplorazione: la radioastronomia o le onde gravitazionali, tanto per fare esempi prolifici che hanno dominato lo sviluppo dell'astrofisica da quando entrambe, in momenti molto differenti, hanno cominciato a produrre un qualche nuovo tipo di osservazione con strumentazione risibile rispetto allo standard del momento nelle lunghezze d'onda dominanti. Non è neanche ovvio quale parametro attribuire alla "grandezza" di un telescopio. Se nel primo secolo post-galileiano la dimensione di riferimento era la lunghezza focale (non dobbiamo scordare che ancora oggi il visitatore profano a un qualche grande telescopio pone la domanda su quanti ingrandimenti sia capace lo strumento), è oggi universalmente riconosciuto che il parametro determinante, a parità di altre condizioni, sia piuttosto il diametro del telescopio. Ma se uno analizza criticamente le spiegazioni didascaliche che generalmente vengono offerte, deve realizzare che, almeno nel periodo in cui Guido Horn d'Arturo ha prodotto la sua vasta letteratura in materia di strumentazione ottica, quello della risoluzione angolare rappresenta un argomento poco applicabile.

Sono infatti generalmente due i motivi collegati al diametro di un telescopio. Uno rappresenta la quantità di luce raccogliabile che scala ovviamente con il quadrato del diametro, ed il secondo rappresenta la risoluzione angolare che scala inversamente con il diametro del telescopio. Alle lunghezze d'onda nel visibile, un telescopio da dieci centimetri di diametro offre un potere separatore di un secondo d'arco. Scalando in modo inversamente proporzionale questo implica una risoluzione di un decimo di secondo d'arco per un telescopio da un metro, un centesimo per un telescopio da dieci metri di diametro e così via. Va anche ricordato che il telescopio di Monte Palomar, terminato nel 1949, col suo diametro di poco più di cinque metri (e quindi con un potere risolutivo teorico di circa 0,02 secondi d'arco) ha rappresentato un balzo notevole rispetto ai telescopi esistenti e che per quasi mezzo secolo non ha avuto rivali di classe superiore (cosa che è avvenuta con i telescopi della classe degli otto metri di diametro al volgere del millennio).

Nel periodo di maturità scientifica e professionale di Guido Horn d'Arturo e comunque anche nella

parte finale della sua carriera, pertanto, un "telescopio di grandi dimensioni" ha un diametro dell'ordine di pochi metri di diametro. In questo regime, la turbolenza atmosferica – la cui conoscenza rimane lacunosa fino agli anni '60 con le ricerche portate avanti per primo da Fried, che dà il nome al parametro che caratterizza la turbolenza atmosferica per quello che compete al potere risolutivo di un telescopio immerso nell'atmosfera terrestre – appiattisce, per così dire, le prestazioni dei telescopi maggiori di una qualche decina di centimetri. L'astronomia spaziale, poi, muove i suoi primi vagiti quando Guido Horn d'Arturo lascia questo pianeta e comunque vengono – giustamente – sfruttate per prime le possibilità di aprire nuove finestre (nell'infrarosso o nell'ultravioletto) su cui qualche razzo parabolico aveva già fatto alcune sperimentazioni. I grandi telescopi dallo spazio come l'Hubble Space Telescope o quelli per l'astronomia X, per tacere di tecniche come l'interferometria *speckle* (Labeirye la concepirà all'inizio degli anni Settanta) o delle ottiche adattive che, sebbene fossero nella mente di qualche manipolo di scienziati all'avanguardia, rimanevano lontane dallo *zeitgeist* in cui era immerso Guido Horn d'Arturo. Infine, il calcolo numerico rimaneva un affare troppo complesso e lontano per giocare un ruolo importante nel disegno di qualsivoglia telescopio. I primi esperimenti in questo senso vedevano la luce in quegli anni, ma erano confinati a casi di applicazione industriale o al massimo di rilevanza strategica (come è stato inizialmente per tutta la trattazione della formazione dell'immagine attraverso la turbolenza atmosferica).

Questo quadro, forse noioso, è indispensabile per comprendere parecchi degli approcci indicati negli articoli di Horn d'Arturo e anche per discernere quella parte di lungimiranza che avrebbe portato la tecnologia degli specchi a tasselli a essere dimenticata per essere reinventata in un'epoca in cui le capacità tecnologiche erano ben differenti.

Colpisce al riguardo anche il fatto che gli articoli dell'astronomo triestino-bolognese relativi alla strumentazione astronomica, anche quando sono corredati da rigorose trattazioni e dimostrazioni matematiche quasi al limite della pedanteria accademica, non siano tradotti in inglese e per questo motivo siano rimasti di diffusione modesta a livello internazionale. Da un lato, uno può tracciare esempi simili per la Francia e la Germania; dall'altro, può intuire un pudore, di cui si intravedono le tracce ancora oggidì, di una specie di retaggio di impostazione gentiliana, per cui "il fare" gli strumenti sia un'ar-

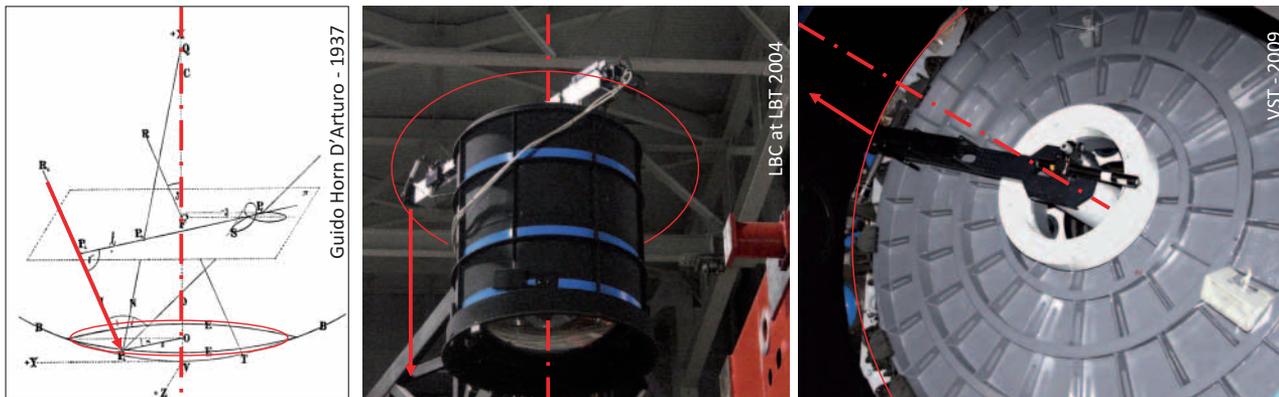


FIG. 1. Diverse epoche, diversi telescopi, lo stesso principio per l'allineamento. Guido Horn d'Arturo, nel 1937, esplora il comportamento di un raggio stellare (la freccia rossa) isolato da un grande schermo con un foro di dimensioni opportune che ruota (cerchio rosso) attorno all'asse ottico (la linea di simmetria). Settant'anni dopo, utilizzando lo stesso principio, il raggio viene materializzato da un fascetto laser per l'allineamento di alcuni tra i telescopi più blasonati in cui è coinvolta quell'Italia per la quale Guido Horn d'Arturo ha combattuto un secolo addietro.

te minore rispetto a cogliere le leggi che stanno alla base di ciò che con questi strumenti si può "vedere". Una specie di ulteriore ramificazione nella dialettica (o assenza di questa) tra le culture scientifiche e umanistiche così magistralmente descritte nelle «due culture» di Charles P. Snow.

Concentrandoci, però, sulla parte squisitamente ottica, vediamo in Horn d'Arturo uno sforzo notevole nel tracciare soluzioni chiuse al problema della formazione di immagini con specchi a tasselli che cooperino a formare un'unica immagine. In un mondo ideale non ci sarebbe bisogno di costruire nessuna nuova teoria ottica. Semplicemente lo specchio di un telescopio newtoniano, poniamo, formato in realtà da un numero – grande o piccolo – di segmenti, la cui superficie è accomunata da una superficie nominale di riferimento, è formato da elementi costruttivi differenti soggetti a una descrizione in gran parte completamente sviscerata dai vari Cassegrain, Newton e Schwarzschild in forma classica.

È quindi, a mio modesto avviso, di grande interesse vedere come Horn d'Arturo, in una serie molto interessante di articoli, affronta il problema della descrizione dell'immagine, rimanendo in un'approssimazione rigorosamente geometrica, da due punti di vista intimamente connessi con i problemi pratici legati alla costruzione di un simile strumento. Sono individuabili con chiarezza tre linee d'attacco, per così dire, che spesso si intersecano all'interno dei suoi articoli:

- Guido Horn d'Arturo si rende conto che, con le tolleranze meccaniche in gioco e con il tipo di meccaniche semplici e poco costose che lui immagina di utilizzare, questi telescopi possono essere utilizzati solo per un uso zenitale, come telescopi di transito, e quindi è di rilievo descrivere la formazione dell'immagine in "intorni" dello zenit, ovvero dell'asse ottico dello strumento.
- I tasselli, o segmenti, che costruiscono idealmente la superficie di riferimento, non saranno certo tutti corrispondenti al loro valore nominale. Horn d'Arturo ricerca i parametri liberi che possono quindi compensare piccole imprecisioni, ad esempio nella lunghezza

focale di singoli tasselli, e come sia impostabile e tollerabile la loro cooperazione all'immagine finale, ad esempio accettando un termine di scala che deteriora le immagini al bordo del campo visivo, oppure un termine di sfuocamento che salvi il campo di vista a spese di un accettabile deterioramento della qualità dell'immagine, a questo punto complessiva ed uniformemente distribuita sul campo.

- Infine, identifica quali siano gli osservabili durante le fasi di messa a punto e allineamento del telescopio e descrive equazioni e metodologie per la loro risoluzione che possano essere di utilità operativa nel momento in cui i segmenti, o tasselli, del suo telescopio devono essere messi in azione per formare, appunto in modo cooperativo, un'immagine complessiva di un campo di vista attorno allo zenit.

Quest'analisi, portata avanti in modo rigoroso (d'Arturo 1937ab) ricorda – e per certi versi ne è antesignano – il modo con cui si allineano i moderni telescopi singoli con ottiche centrate su montature altazimutali (p.e., il Telescopio Nazionale Galileo e il VST Survey Telescope). Le tecniche di correzione delle immagini fuori asse per un telescopio zenitale ricordano invece alcuni disegni di correttore che, oltre un secolo dopo, sono stati ipotizzati per essere usati con specchi di grande diametro realizzati mediante specchi al mercurio da Borra e collaboratori.

Il grado di approssimazione geometrica non tiene ovviamente conto dei fenomeni ondulatori che contribuiscono alla formazione dell'immagine vera. Per quanto indicato in premessa, questa è una approssimazione comprensibile in una epoca in cui il secondo d'arco – di quello che poi si sarebbe chiamato *seeing* – è considerato un valore fortuitamente piccolo. Il problema viene affrontato da Horn d'Arturo in modo qualitativo in un articolo del 1957 (vedi cit.) in cui viene utilizzato, senza mai essere esplicitato direttamente, il principio di Babinet. L'immagine con i sei baffi dovuti ai bordi, coerenti tra di loro, dei tasselli esagonali, viene riconosciuta correttamente, ma – come peraltro si potrebbe dedurre dalle citazioni degli autori, noti per le approssimazioni a campo lontano – non viene affrontato il problema

della formazione del nucleo dell'immagine e quindi della sua eventuale dipendenza dall'imperfetto allineamento dei segmenti. Una questione che si evidenzia molto bene nella FIG. 2, ripresa da un suo articolo precedente del 1950 (vedi cit.), in cui sembra ignorare (cosa corretta in approssimazione geometrica) quello che oggi verrebbe chiamato il problema del *co-phasing*, risolto brillantemente nei telescopi a tasselli per osservazione astronomica convenzionale e ignorabile bellamente nei telescopi per le alte energie che utilizzano la tecnologia per la sola raccolta di fotoni Cherenkov, senza velleità di raggiungere risoluzioni angolari neppure vagamente vicine a quelle offerte dal *seeing*.

Guido Horn d'Arturo viene però a sapere dell'interferometro di Michelson e subito ipotizza una soluzione triviale con una sola coppia di tasselli, corretta in linea di principio ma che ignora ovviamente il problema anzidetto. Il campo di vista dove le frange apparirebbero (e dove quindi sarebbero diluite), inoltre, diventerebbe enorme se, come nel titolo, la coppia di tasselli si ponesse a distanza qualsivoglia. Ma qui l'astronomo ha 87 anni e lascerà di lì a poco il nostro mondo, avvolto dalla sua turbolenta atmosfera che gli ha dato piena ragione delle approssimazioni utilizzate nei suoi dettagliati e sopraffini calcoli di quasi trent'anni (e una guerra mondiale) prima.

Voglio infine permettermi una nota personale, dal momento che, da giovane astrofilo, ho avuto la fortuna di chiacchierare con Ferdinando Caliumi, uno dei tecnici che avevano lavorato a Bologna allo specchio a tasselli, e anche per aver speso nottate nella biblioteca dell'Osservatorio Astrofisico di Asiago a leggere gli ambiziosi ma realistici progetti di una rete di telescopi zenitali sparsi lungo la penisola, spesso utilizzando caverne naturali dove alloggiare i fantastici telescopi a segmenti. Horn d'Arturo non aveva a disposizione sensori di fronte d'onda né attuatori piezoelettrici e bisognerà aspettare un quarto di secolo dalla sua dipartita per vedere usata, con il primo dei telescopi Keck, la sua tecnologia, nata in quell'Italia anche del boom economico che lui aveva vissuto, e ideata non soltanto per realizzare con poca spesa quanto altri avevano fatto con dispendio inarrivabile.

Guido Horn d'Arturo aveva avuto idee mezzo secolo avanti nel tempo e le immaginava per riscattare la nazione per la quale aveva rischiato la vita nel primo conflitto mondiale e che forse solo il caso lo

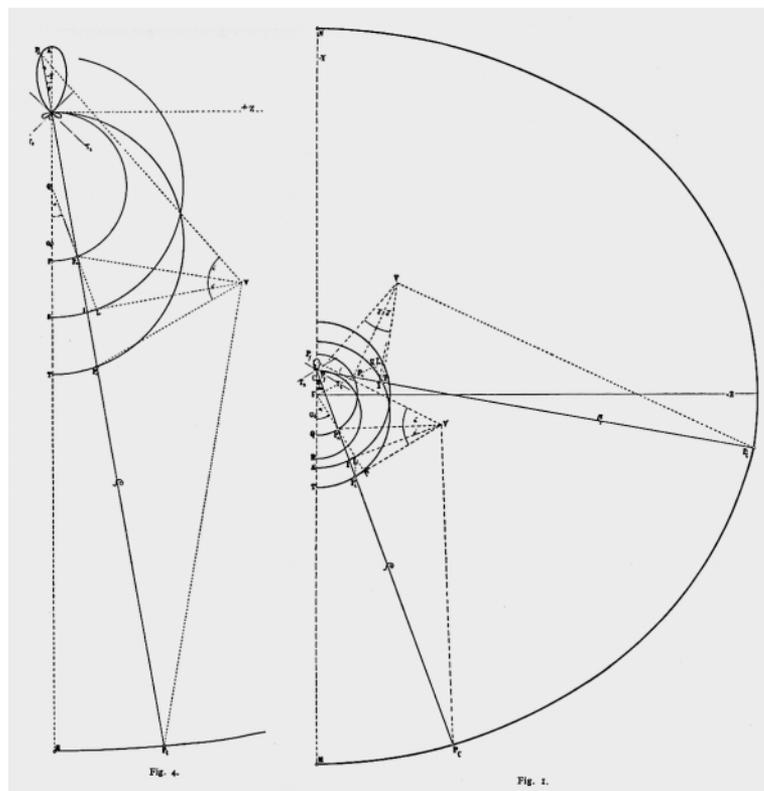


FIG. 2. Pure se il paragone è probabilmente eccessivo, anche Guido Horn d'Arturo deve "inventare" nuovi metodi matematici come già prima di lui ha fatto chi si occupava di relatività. In questi schemi illustra il modo di risolvere equazioni di quarto ordine in modo grafico.

aveva risparmiato nel secondo. E voglio pensare che la sua scelta di scrivere solo in italiano le sue idee potenzialmente rivoluzionarie sia stata rivoluzionaria a modo suo, quasi patriottica, per dare all'astronomia italiana quel "quanto" di vantaggio per poter riscattare il nome di Galileo, di Secchi, dei suoi e dei nostri padri.

Referenze bibliografiche

- GUIDO HORN D'ARTURO, 1937a, *Immagine stellari extrasiali generate dagli specchi parabolici*, «Pubblicazioni dell'Osservatorio Astronomico di Bologna», III (5).
- GUIDO HORN D'ARTURO, 1937b, *La curva trifoliare generata dagli specchi parabolici nelle immagini stellari*, «Pubblicazioni dell'Osservatorio Astronomico di Bologna», III (7).
- GUIDO HORN D'ARTURO, 1950, *Altri esperimenti con lo specchio a tasselli*, «Pubblicazioni dell'Osservatorio Astronomico di Bologna», III (11).
- GUIDO HORN D'ARTURO, 1957, *La figura di diffrazione circondante le immagini stellari fotografate con lo specchio a tasselli*, «Coelum», 7-8, pp. 102-106.
- GUIDO HORN D'ARTURO, 1966, *Interferometro stellare costituito da due soli tasselli speculari, distanti tra di loro quanto si voglia*, «Coelum», 3-4, pp. 33-39.

Roberto Ragazzoni è direttore dell'Osservatorio Astronomico di Padova. Ha lavorato anche a Tucson, San Diego e Arcetri allo sviluppo di strumentazione ottiche adattive e a grande campo, da terra e dallo spazio. Vince il premio «Wolfgang Paul» della Fondazione von Humboldt nel 2000 e il premio Feltrinelli dell'Accademia dei Lincei nel 2016.

Cherenkov Telescope Array: 120 telescopii e 6500 specchi a tasselli per esplorare l'universo ad altissima energia

Alba Fernández-Barral · Federico Ferrini

Cherenkov Telescope Array Observatory

NEL corso della storia, l'Uomo ha sempre guardato il cielo cercando di comprendere i misteri dell'Universo, tendendo a una conoscenza irraggiungibile sulla Terra. Con il tempo, oltre a una crescente comprensione del Cosmo stesso, l'uomo ha sviluppato nuovi strumenti che hanno permesso di approfondire molteplici aspetti delle questioni legate alla fisica, ma che hanno comportato uno sviluppo della scienza in generale e della società. Nell'era tecnologica in cui viviamo, il Cherenkov Telescope Array (CTA), che rappresenta la prossima generazione di telescopii per l'osservazione di raggi gamma da terra, è nato con lo scopo di fare luce sui misteri legati alle sorgenti astronomiche più violente ed esotiche, rivoluzionando la nostra concezione di universo alle energie più alte.

Nel 1912, il fisico austriaco Victor Hess scoprì, attraverso diversi voli in mongolfiera, che la densità delle particelle ionizzate aumentava con l'altitudine.¹ A seguito di questa indagine, Hess concluse che l'aumento della ionizzazione era dovuto a particelle cariche provenienti dall'esterno dell'atmosfera terrestre. A quel tempo, la natura di queste particelle era ancora sconosciuta e, di conseguenza, il fisico Robert Millikan decise di chiamarle raggi cosmici.² Oggi sappiamo che non si tratta di veri e propri raggi ma di particelle cariche estremamente energetiche provenienti dall'universo, dotate di energie generalmente molto più alte di quelle raggiungibili con gli acceleratori di particelle costruiti a terra. I raggi cosmici sono costituiti per il 99% da protoni e nuclei di elio, mentre il restante 1% è costituito da elettroni, positroni, nuclei più pesanti ecc. Nonostante l'innegabile importanza dell'analisi fisica svolta osservando tali particelle, esse non sono in grado di fornire alcuna informazione sulle sorgenti cosmiche da cui hanno avuto origine. Infatti, a causa della loro carica elettrica, nel viaggio verso la Terra vengono deviate dai campi magnetici interstellari cancellando ogni possibilità di rintracciarne l'origine. Per poter scoprire quali sorgenti siano in grado

di accelerare le particelle a energie simili, è necessario studiare i prodotti neutri dei raggi cosmici, come la luce che emettono quando sono accelerati o quando interagiscono con la materia all'interno delle sorgenti: è questa la radiazione gamma che osserviamo. I raggi gamma costituiscono la radiazione più energetica dello spettro elettromagnetico, coprendo un intervallo di energia dei fotoni così vasto da non avere limite superiore ben definito a partire da energie di circa un megaelettronvolt (MeV). Energie così elevate non possono essere spiegate attraverso l'emissione termica, e quindi, per spiegare l'origine dei raggi gamma, è necessario riferirci a processi di natura non termica: i fotoni che noi studiamo sono prodotti da raggi cosmici che interagiscono con la materia, con campi magnetici o con altri fotoni in condizioni turbolente e addirittura esplosive. Per poter osservare la radiazione gamma è necessario che ci siano sorgenti estremamente energetiche, come le esplosioni dei resti di supernova che hanno luogo quando il materiale espulso si scontra con l'ambiente circostante, oppure le nebulose con venti stellari prodotti da stelle ultra-dense in rapidissima rotazione, note come *pulsar* formatesi a seguito della morte di una stella massiccia, o di buchi neri supermassicci al centro di altre galassie che divorano la materia circostante ed espellono raggi di particelle relativistiche che si muovono a velocità prossime a quelle della luce.

I raggi gamma che osserverà CTA avranno un'energia diecimila miliardi di volte superiore rispetto alla luce che i nostri occhi sono in grado di percepire, da circa 20 gigaelettronvolt (GeV) a 300 teraelettronvolt (TeV). Una parte della radiazione elettromagnetica, come la luce visibile, può attraversare l'atmosfera terrestre arrivando fino al suolo; al contrario, i raggi gamma interagiscono con i nuclei atomici presenti nell'atmosfera e vengono così bloccati, impedendo alla radiazione elettromagnetica più energetica di raggiungere la superficie del nostro pianeta. Per rilevare i raggi gamma ad alta energia, gli scienziati possono utilizzare i satelliti, i quali, tuttavia, hanno un'area di raccolta limitata e quindi possono rivelare solo i raggi gamma con energia fino al GeV. A energie più elevate la tecnica di elezione per l'osservazione dei raggi gamma è detta IACT (Imaging Atmospheric Cherenkov Te-

¹ V. F. HESS, *Penetrating Radiation in Seven Free Balloon Flights*, «Zeitschrift für Physik», 1912, p. 13.

² R. A. MILLIKAN, G. H. CAMERON, *High Frequency Rays of Cosmic Origin III. Measurements in Snow-Fed Lakes at High Altitudes*, «Physical Review», 1926, 28, pp. 851-868.

chnique). Questa tecnica, che sarà utilizzata da CTA, consiste nella rivelazione indiretta dei raggi gamma che, quando entrano in contatto, con un'energia superiore a 20 MeV, con l'atmosfera terrestre e interagiscono con i nuclei presenti, producono una coppia di particelle cariche, elettrone-positrone. Se queste particelle possiedono un'energia sufficientemente alta (superiore a un'energia detta «energia critica» pari a 86 MeV), daranno origine a fotoni i quali, a loro volta, potranno produrre un'altra coppia di particelle cariche che potranno emettere altri fotoni, e così via, innescando una vera e propria cascata di particelle. È noto che nell'universo non c'è nulla che possa viaggiare con una velocità superiore a quella della luce nel vuoto. Tuttavia, in altri mezzi come l'acqua o anche l'aria, la luce si muove più lentamente e quindi ci possono essere particelle, sufficientemente energetiche, in grado di superare la velocità della luce in quei mezzi. Quando questo accade, succede qualcosa di «magico»: quando le particelle cariche, formatesi nella cascata, si muovono più velocemente della velocità della luce nell'aria, producono un flash di luce bluastro, chiamato luce Cherenkov. Questa luce, la cui esistenza è stata scoperta dal fisico Pavel A. Cherenkov,³ presenta lunghezze d'onda tra 300 e 500 nm, con un picco a circa 320 nm, e dura solo pochi nanosecondi, il che impedisce all'occhio umano di poterla percepire. Infatti, il nostro cervello non è in grado di elaborare un segnale così veloce, pertanto, per rilevarlo, è necessario usare telecamere estremamente rapide e precise. Attorno alla traccia della particella, il fascio di luce Cherenkov forma una struttura a forma di cono, simile a quello che si forma a seguito del boom ultrasonico. La combinazione di tutti i contributi delle particelle produce un cerchio completo di luce Cherenkov che raggiunge il suolo e viene catturato dai telescopi, rapidamente elaborato dall'elettronica della fotocamera dei telescopi che decide se registrarlo o meno, seguendo una serie di algoritmi pre-programmati. La forma che la luce lascia sui rivelatori della telecamera fornisce preziose informazioni sul raggio gamma primario che ha avviato la cascata di particelle, come la sua energia e la sua direzione (FIG. 1). Pertanto, rilevando la luce Cherenkov, gli scienziati possono ottenere informazioni sui raggi gamma e quindi sulle fonti che li hanno emessi. CTA applicherà questa tecnica sfruttando 118 telescopi suddivisi in due array: uno, CTA-nord, nell'emisfero settentrionale all'Osservatorio El Roque de los Muchachos (La Palma, Spagna) dell'Istituto di Astrofisica delle Canarie (IAC); l'altro, CTA-sud, nell'emisfero australe all'Osservatorio Paranal (ESO), nel Deserto di Atacama in Cile. Pertanto, con due siti in entrambi gli emisferi, CTA avrà accesso all'intero cielo ad alta energia. (FIG. 2)

³ P. CHERENKOV, *Visible emission of clean liquids by action of γ radiation*, «Doklady Akademii Nauk SSSR», 1934, 2, p. 451.

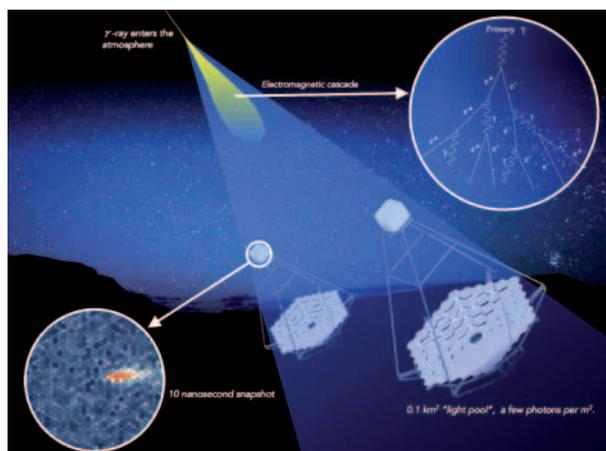


FIG. 1. Cascata di particelle e luce Cherenkov catturata dai telescopi CTA. Viene anche mostrata l'immagine della luce Cherenkov prodotta dalle camere. (Crediti: CTA Observatory)

La cosiddetta astronomia gamma da terra, ovvero lo studio dei raggi gamma per mezzo di telescopio posizionati al suolo, è in realtà un campo giovane che ha ancora molto da esplorare. Sono passati solo trent'anni da quando il telescopio Whipple da 10 m, collocato presso l'osservatorio precedentemente chiamato "Mount Hopkins", ha rilevato, per la prima volta, un'emissione di raggi gamma alle energie del TeV provenienti dalla Nebulosa del Granchio. Dal 1989 l'osservazione gamma da terra ha fatto grandi passi in avanti diventando una nuova disciplina. Con la rilevazione di oltre 150 nuove sorgenti astrofisiche è stato possibile ottenere importanti risultati nel campo dell'astronomia gamma e della fisica in generale, grazie soprattutto all'utilizzo di molteplici strumenti per l'osservazione di tale radiazione: HESS (con cinque telescopi vicino al monte Gamsberg in Namibia), MAGIC (con due telescopi a La Palma in Spagna) e VERITAS (con quattro telescopi in Arizona). CTA farà crescere ulteriormente tale disciplina sia da un punto di vista scientifico che tecnologico, sviluppando telescopi e strumentazione all'avanguardia; sarà in grado anche di lavorare in un intervallo di energie molto ampio, da 20 GeV a 300 TeV, che consentirà sia di raggiungere i *redshift* più elevati che di studiare gli acceleratori cosmici più estremi. Con un numero di telescopi almeno 24 volte superiore rispetto ai precedenti osservatori, CTA aumenterà significativamente l'area di rilevazione, aumentando così il numero di fotoni raccolti e permettendo l'osservazione di fenomeni temporali più brevi. Collocato in due siti, l'osservatorio avrà accesso all'intero cielo e migliorerà la capacità di osservazione e di monitoraggio e la flessibilità delle operazioni; presenterà una migliore risoluzione angolare e un campo visivo più ampio (FoV), permettendo di analizzare sorgenti estese; avrà una risoluzione energetica migliore dei precedenti strumenti dedicati alla radiazione gamma, permettendo così la ricerca di caratteristiche spettrali fino ad ora sconosciute. CTA migliorerà le prestazioni complessive degli strumenti attuali,

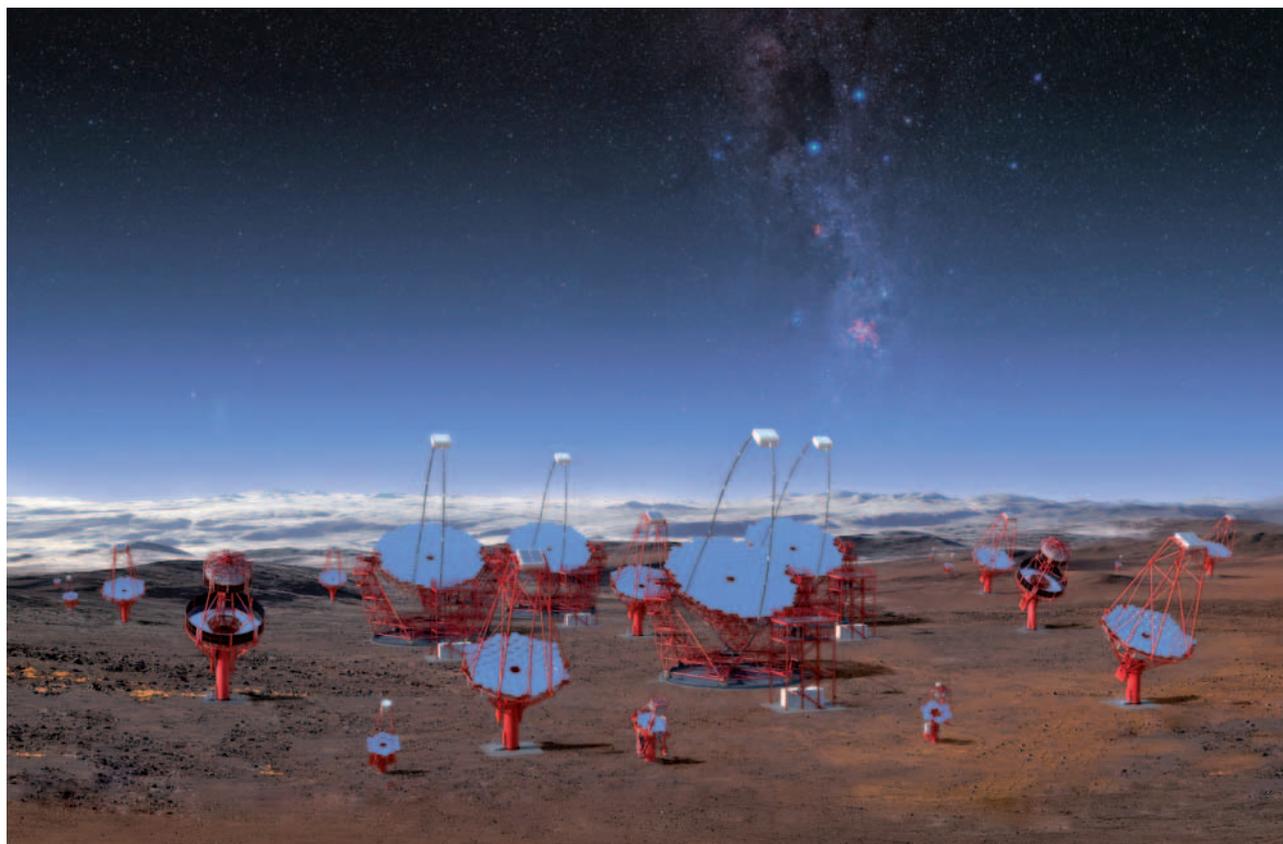


FIG. 2. Rendering del centro sud del CTA all'Osservatorio Paranal dell'ESO. L'illustrazione non è un'accurata rappresentazione dell'array finale, ma rende l'idea dell'enorme scala dei telescopi CTA. (Crediti: CTA/M-A. Besel/IAC (G. P. Diaz)/ESO)

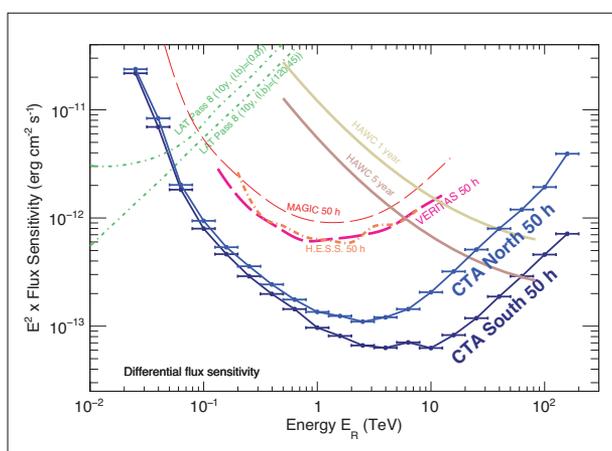


FIG. 3. Flusso di sensibilità differenziale del CTA rispetto agli attuali strumenti gamma. (Crediti: CTA Collaboration)

grazie ad una sensibilità 10 volte superiore (FIG. 3). Con una precisione e una sensibilità senza precedenti, CTA sarà in grado sia di aumentare la lista di oggetti celesti noti con 1.000 nuove sorgenti gamma che di rispondere ad alcune delle domande più affascinanti dell'astrofisica. Inoltre, CTA non solo fornirà una visione completamente nuova del cielo ad alta energia, ma sarà anche il primo osservatorio mondiale aperto alle comunità di astronomi e di fisici delle particelle, mettendo a disposizione anche ad utenti non esperti una vastissima banca-dati.

Con le sue elevate prestazioni, ci si aspetta che il Cherenkov Telescope Array estenda, come già

accennato, il catalogo di sorgenti gamma di almeno dieci volte, consentendo ai ricercatori di affrontare una vasta gamma di problemi su tre grandi tematiche di studio dell'astrofisica e della fisica fondamentale.⁴

– Origine e ruolo delle particelle cosmiche relativistiche

Hess si rese conto che siamo costantemente bombardati da particelle cariche. Tuttavia, manca ancora una completa comprensione della loro origine e provenienza. CTA avrà l'obiettivo di far luce su quali sono i siti e quali sono i meccanismi di accelerazione delle particelle cosmiche nell'universo, oltre a comprendere il loro ruolo nella formazione delle stelle e nell'evoluzione delle galassie. Uno dei principali *target* osservativi per rispondere a queste domande è il piano galattico (vedi una simulazione in FIG. 4). Gli scienziati stimano che CTA otterrà più di 400 singole sorgenti gamma, la maggior parte delle quali saranno sorgenti nuove, mai viste prima dai precedenti strumenti terrestri o spaziali. Si potranno così ottenere informazioni di valore inestimabile sulla fisica e sui meccanismi di accelerazione delle particelle ad altissime energie e, con un così vasto catalogo di oggetti celesti, sarà possibile comprendere finalmente l'origine dei raggi cosmici. Ad esempio, si potrà rispondere alla domanda se siano i resti di supernova i responsabili dei raggi cosmici di energie dell'ordine dei petaelettronvolt (PeV)

⁴ THE CTA CONSORTIUM, *Science with the Cherenkov Telescope Array*, Singapore, World Scientific, 2019, p. 364.

nella nostra galassia. Particolarmente importante per questo impegno sarà l'ampia copertura energetica CTA e la risoluzione angolare che permetterà di mappare il cielo con una precisione senza precedenti.

– *Esplorazione di ambienti estremi*

Le radiazioni elettromagnetiche e i raggi cosmici più energetici possono essere originati solo all'interno delle sorgenti più violente dell'universo, come ad esempio i buchi neri o le stelle di neutroni. Questi oggetti compatti sono noti per essere originati dalla morte di stelle massicce a seguito dell'esplosione di supernova e si sa che i raggi gamma sono emessi nelle loro vicinanze, per esempio all'interno di getti relativistici. Tuttavia, i meccanismi che regolano l'emissione di raggi gamma non sono ancora completamente noti. CTA studierà sia oggetti noti emettitori di raggi gamma, sia altri che li generano in modo imprevedibile, i cosiddetti «transienti», per i quali è fondamentale una rete di analisi a più lunghezze d'onda. Infatti, sorgenti transienti galattiche in grado di emettere getti sono state rilevate nella banda GeV ma non ad energie più alte, cosa che potrà essere fatta grazie alla sensibilità di CTA.⁵

– *Esplorazione delle frontiere della fisica*

Grazie ad un notevole miglioramento della sensibilità e dell'intervallo di energia, CTA sarà in grado di studiare la fisica fondamentale, incluso uno dei più grandi misteri della scienza: la materia oscura. Nonostante costituisca una grande parte della massa totale dell'universo, la materia oscura si manifesta solo per i suoi effetti gravitazionali, poiché ha un'interazione molto piccola o nulla con la luce elettromagnetica o la materia barionica. CTA cercherà di scoprire la sua natura e la sua distribuzione nel nostro universo guardando i raggi gamma prodotti quando particelle di materia oscura (ritenute particelle massive debolmente interattive o WIMP) interagiscono e si annichilano reciprocamente, mostrando un andamento particolare all'interno dello spettro gamma. Alcune delle attuali teorie ritengono probabili queste interazioni e indicano le migliori regioni dell'universo in cui effettuare osservazioni con telescopi sensibili come CTA. Inoltre, gli scienziati cercheranno di fare luce su alcuni punti ancora oscuri della teoria della relatività speciale di Einstein, così come di provare o meno l'esistenza di particelle simili agli assioni, postulata nel 1977⁶ ma non ancora dimostrata. Nuove informazioni su uno di questi argo-

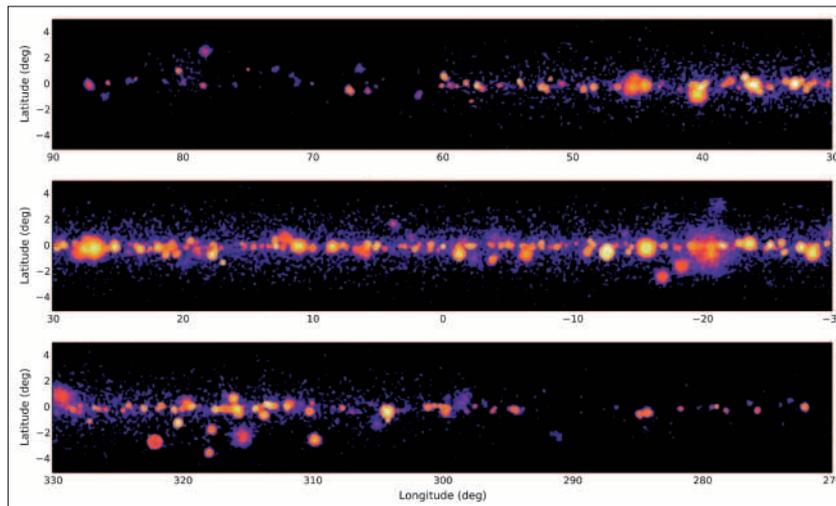


FIG. 4. Simulazione della mappa della regione interna del piano galattico osservata con CTA. (Crediti: CTA Collaboration)

menti porterebbero ad una rivoluzione non solo nell'astronomia dei raggi gamma, ma anche nella fisica delle particelle, nella cosmologia e nella fisica in generale.

Al fine di raggiungere questi obiettivi scientifici, sono tre le classi di telescopi del Cherenkov Telescope Array che dovranno operare nel range energetico previsto tra 20 GeV e 300 TeV: Large-Sized Telescope, Medium-Sized Telescope e Small-Sized Telescope (FIG. 5). Quattro LST sono posizionati al centro di ciascun array, per osservare sotto i circa 150 GeV. Ogni LST è alto 45 metri e pesa circa 100 tonnellate, essendo così il più grande telescopio Cherenkov mai costruito. Nonostante le loro dimensioni, gli LST saranno estremamente agili e veloci, in grado di riposizionarsi e ripuntare un qualsiasi punto del cielo osservabile in 20 secondi, caratteristica fondamentale per evitare di perdere qualsiasi fenomeno gamma transitorio. La loro superficie riflettente, di forma parabolica, è costituita da una serie di specchi di forma esagonale e ha un diametro complessivo di 23 m, mentre la sua fotocamera ha un FoV di 4,5°. Quest'ultimo è formato da 1855 fotomoltiplicatori (PMT), dispositivi che trasformano la luce in ingresso in segnale elettrico da analizzare e memorizzare. Il prototipo di LST, LST-1, è stato ufficialmente inaugurato nel sito CTA-nord di La Palma nell'ottobre 2018, in una cerimonia che ha riunito più di 200 ospiti provenienti da tutto il mondo, con relatori illustri come il Premio Nobel per la fisica del 2015 Takaaki Kajita e il primo astronauta spagnolo e ministro della Scienza, Innovazione e Università, Pedro Duque. LST-1 è l'unico prototipo installato in uno dei siti del progetto CTA e dopo una revisione critica del progetto attualmente in corso, dovrebbe diventare il primo telescopio di CTA. D'altra parte, per osservare nel range energetico principale di CTA (tra 150 GeV e circa 5 TeV), CTA-nord sarà composto da 15 MST, mentre CTA-sud ne ospiterà 25. Con meno di 30 metri di altezza e un peso di 82 tonnellate, MST avrà

⁵ W. BEDNAREK, *High energy gamma-ray emission from compact galactic sources in the context of observations with the next generation Cherenkov Telescope Arrays*, «Astroparticle Physics», 2013, 43, p. 81; E. DE OÑA WILHELMI *et al.*, *Prospects for observations of pulsars and pulsar wind nebulae with CTA*, «Astroparticle Physics», 2013, 43, p. 287; J. M. PAREDES *et al.*, *Binaries with the eyes of CTA*, «Astroparticle Physics», 2013, 43, p. 301.

⁶ R. D. PECCEI, H. R. QUINN, *CP Conservation in the Presence of Pseudoparticles*, «Physics Review Letters», 1977, 38, p. 1440.

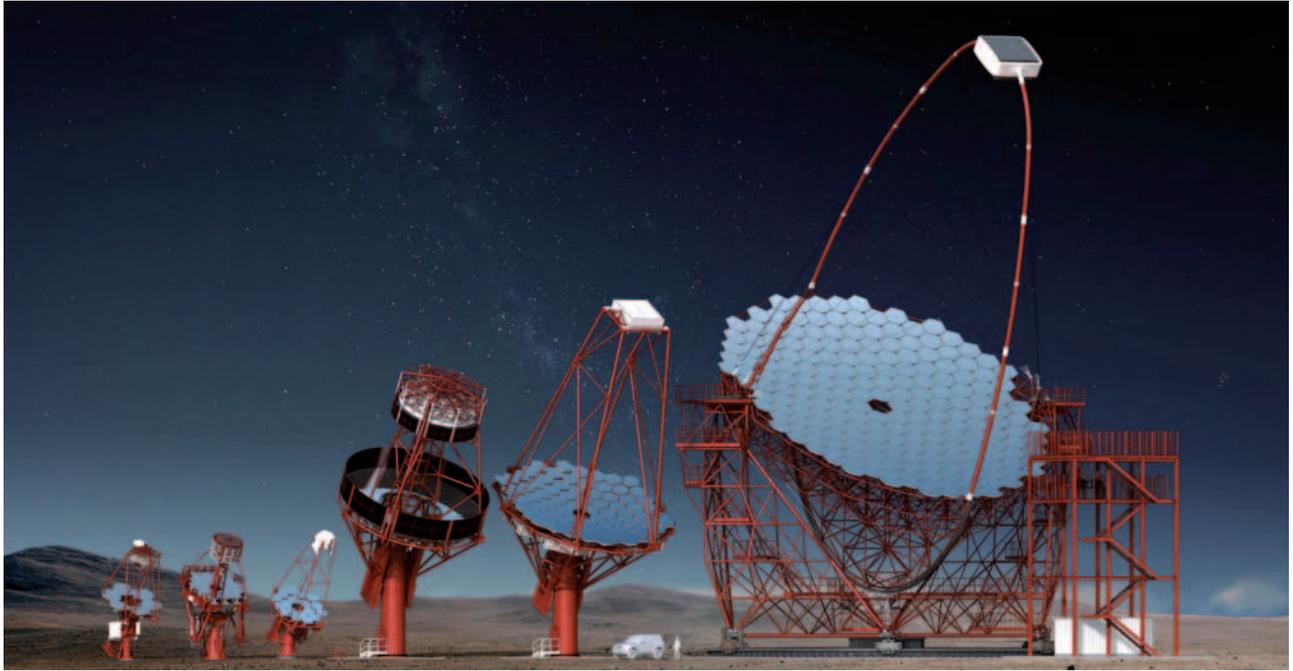


FIG. 5. Rendering di tutte le proposte progettuali dei telescopi CTA. Da sinistra a destra: SST-2M GCT, SST-2M ASTRI, SST-1M, MST-psCT, MST e LST. (Crediti: Gabriel Pérez Díaz/IAC)

un sistema ottico di tipo Davies Cotton modificato da 12 m per una fotocamera PMT. Finora sono state progettate due camere per osservare nelle energie medie: la FlashCam con circa 1750 PMT e $\sim 7,5^\circ$ di FoV, e la NectarCam con ~ 1850 PMT che coprono un FoV di 8° . Un prototipo MST è stato installato vicino a Berlino nel 2012 ed è attualmente in fase di test. Un secondo modello di MST costituito da uno specchio primario e da uno secondario, il cosiddetto prototipo Schwarzschild-Couder Telescope (psCT), è stato proposto come alternativa a quello tedesco in questa banda energetica. Ci si aspetta che il sistema a doppio specchio fornisca una migliore messa a fuoco della luce e, di conseguenza, maggiori dettagli, migliorando il rilevamento soprattutto di sorgenti deboli. Il prototipo del telescopio SCT è stato inaugurato nel Whipple Observatory in Arizona nel gennaio del 2019.

Infine, le energie più elevate, al di sopra di 5 TeV, saranno coperte da 70 SST, collocati solo nell'array del sito sud, e distribuiti su diversi chilometri quadrati. Ci sono tre proposte per il design di SST, una a specchio singolo e due a doppio specchio. L'SST-1M presenta un design a specchio singolo con un riflettore Davies-Cotton di 4 metri di diametro, pesa circa 9 tonnellate e copre un FoV $\sim 9^\circ$ con una fotocamera di fotomoltiplicatori al silicio (SiPM) composta da 1296 pixel. I SiPM, come i PMT, sono rivelatori incaricati di trasformare la luce che colpisce la camera in un segnale elettrico. L'SST-2M GCT (Gamma-ray Cherenkov Telescope), presenta un design a massa ridotta pari a solo ~ 8 tonnellate, presenta uno specchio primario con un diametro di 4 metri e uno specchio secondario di 2 metri. La sua fotocamera è anch'essa composta da SiPM, con un totale di 2048 pixel, che copre un FoV di $\sim 9,2^\circ$. Infine, il te-

lescopio ASTRI si avvale di una configurazione Schwarzschild-Couder a doppio specchio, pesa 19 tonnellate e ha una fotocamera di 2368 SiPM, che gli consente di coprire un FoV di $\sim 10^\circ$. Lo specchio primario ha un diametro di 4,3 metri mentre il secondario ha un diametro di 1,8 metri. Era il 1905, quando il fisico tedesco Karl Schwarzschild propose un progetto per un telescopio a due specchi in grado di eliminare gran parte dell'aberrazione ottica. Sebbene questa idea fosse stata migliorata da André Couder nel 1926, non fu mai usata poiché era considerata troppo complicata. Quasi 80 anni dopo, nel 2007, uno studio dell'Università della California di Los Angeles ha dimostrato che questo progetto poteva essere utilizzato per gli IACT. Così, l'idea di Schwarzschild e Couder è stata utilizzata per la realizzazione del telescopio ASTRI, inaugurato a settembre 2014 presso il sito osservativo di Serra La Nave sull'Etna, diventando il primo telescopio Schwarzschild-Couder. Nell'ottobre 2016, il design ottico del prototipo ASTRI si è dimostrato all'altezza delle aspettative, mostrando una Point Spread Function di pochi primi d'arco costante a diversi offset (da 0° a $4,5^\circ$) rispetto all'asse ottico centrale del telescopio (FIG. 6): le immagini ottenute hanno le stesse dimensioni angolari, a conferma che la PSF rimane invariante. Queste caratteristiche (altezza, peso, tipo di rivelatori, FoV, design) consentiranno ai telescopi CTA di osservare il cielo ad altissima energia in un modo coordinato senza precedenti. Un elemento rimane costante per tutti i prototipi: lo specchio a tasselli. Il riflettore del diametro di 23 m di LST è formato da più di 200 tasselli esagonali; lo specchio primario da 12 metri di MST è costituito da 90 segmenti esagonali, mentre il psCT alternativo utilizza 48 moduli esagonali per lo specchio princi-

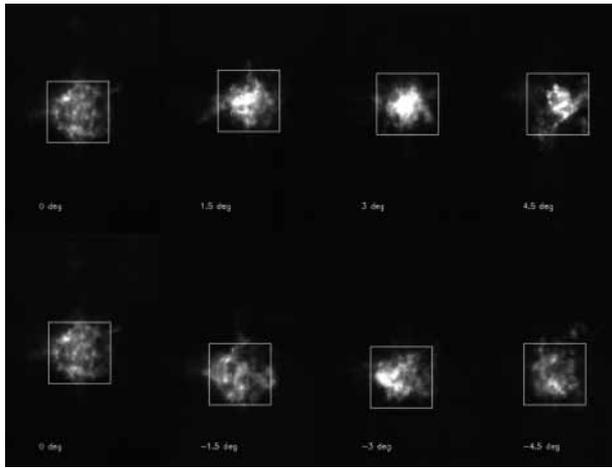


FIG. 6. Immagini della Stella polare osservate da ASTRI con diversi offset dall'asse ottico del telescopio. (Crediti: E. Giro, R. Canestrari, S. Scuderi, G. Sironi, INAF-Padova, Brera e Catania)

pale e 24 per il secondario; lo specchio di SST-1M è composto da tasselli esagonali, gli specchi primari e secondari di SST-2M GCT sono divisi in 6 segmenti a forma di petalo ciascuno. Infine, ASTRI presenta il suo specchio principale da 4,3 m composto da 18 tasselli esagonali, mentre lo specchio secondario da 1,8 m è l'unico monolitico. L'Osservatorio CTA gestirà in totale oltre 6500 tasselli.

Le domande che si potrebbero porre sono le seguenti: perché i telescopi CTA non fanno uso di specchi singoli? Chi ha avuto l'idea di «rompere» gli specchi?

Nell'astronomia gamma abbiamo bisogno di grandi telescopi in quanto i raggi gamma di bassa energia producono una piccola cascata di particelle con una conseguente ridotta quantità di luce Cherenkov. Pertanto, è necessario costruire grandi specchi capaci di catturare ogni singolo fotone Cherenkov, in modo da avere abbastanza informazioni. Inoltre, i progressi nella tecnologia dei rivelatori, fanno sì che lo strumento diventi molto più sensibile alle sorgenti più deboli. Questa condizione non si applica solo alla banda gamma: nella banda visibile, ad esempio, se si raddoppiano le dimensioni dello specchio del telescopio, lo strumento sarà in grado di osservare oggetti, a pari luminosità, due volte più lontani. Pertanto, specchi più grandi svolgono un ruolo chiave nell'astronomia. Tuttavia, la costruzione di specchi di grandi dimensioni presenta problemi molto complessi. Non si tratta solo di creare una lastra di vetro, ma questa deve avere una certa curvatura, adattata all'ottica del telescopio, inoltre deve essere fabbricata, testata, spedita e installata, prevenendo eventuali danni su tutta la superficie riflettente. Lo specchio da 23 m di diametro di LST, ha una superficie riflettente di 400 m², che corrisponde a quasi due volte l'area di un campo da tennis. Costruire e spostare uno specchio monolitico di tali dimensioni è semplicemente inconcepibile.

Fortunatamente, nel 1932, un astronomo italiano trovò una soluzione al problema, inventando gli



FIG. 7. Guido Horn d'Arturo con uno dei suoi specchi segmentati. (G. HORN D'ARTURO, «Coelum», 1955)

specchi segmentati: il suo nome era Guido Horn d'Arturo. Guido Horn nasce nel 1879 nella città costiera di Trieste e nel 1902 si laurea presso l'Università di Vienna; inizia poi la sua carriera di ricercatore prima presso l'Osservatorio di Trieste, successivamente a Catania, a Torino e infine a Bologna, dove dal 1921 diventa direttore dell'Osservatorio e professore di Astronomia nell'università. Ricoprì questi incarichi per più di trent'anni, lavorando su diversi progetti, tra cui la costruzione di una grande superficie riflettente costituita da un mosaico di specchi esagonali. Questo strumento, il cui progetto fu avviato nel 1932, si trova ancora nella Torre della Specola a Bologna. Questa fruttuosa attività scientifica fu interrotta solo per sette anni, tra il 1938 e il 1945, a causa della vergognosa persecuzione ebraica vissuta durante la Seconda guerra mondiale.

In uno dei suoi lavori, pubblicato nel 1950,⁷ Guido Horn evidenzia come il problema principale nella costruzione di grandi superfici riflettenti fosse nello spessore dello specchio che doveva essere proporzionale al diametro: negli specchi di grandi dimensioni, se lo spessore è troppo sottile si perderà la forma conferitagli dalla levigatura, mentre se lo specchio è troppo spesso potrebbero formarsi deformazioni sulla superficie riflettente, a prescindere dal tipo di materiale utilizzato. Problemi che la nuova astronomia che stava nascendo non poteva tollerare. Il suo «Telescopio a tasselli» del 1952, come Guido Horn d'Arturo chiamava il suo telescopio segmentato composto da 61 tasselli esagonali per circa 1,8 metri di diametro (FIG. 7), fu un'indubbia rivoluzione per l'astronomia. Non solo CTA farà uso di questa tecnica, ma altri grandi progetti come i telescopi Keck, il futuro TMT e persino i telescopi spaziali come il James Webb già utilizzano o utilizzeranno tale tecnologia. Inoltre, tutti i precedenti

⁷ G. HORN D'ARTURO, *Altri esperimenti con lo specchio a tasselli*, «Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico della R. Università di Bologna», 1950, p. 11.

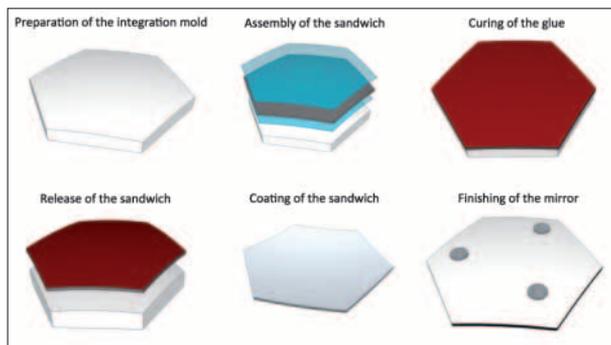


FIG. 8. Processo di produzione degli specchi segmentati di ASTRI. (Crediti: CANESTRARI *et al.* 2013)

telescopi Cherenkov a terra hanno fatto uso o funzionano ancora grazie a specchi segmentati, il che ha permesso agli scienziati di migliorare la tecnica osservativa. In realtà, la tecnologia utilizzata per la produzione di ogni segmento di specchi di ASTRI è una versione modificata del cosiddetto processo di vetro a freddo⁸ già sviluppato anni fa per il secondo telescopio MAGIC e adottato anche per lo specchio di MST. In questo delicato processo, le sottili lastre di vetro vengono prima piegate attraverso processi di termoformatura e poi assemblate in una struttura «a sandwich» rigida e leggera con l'aiuto di un'anima a nido d'ape, infine il tutto viene rivestito con uno strato altamente riflettente (FIG. 8).⁹

All'inizio, Horn dovette affrontare alcuni problemi con il suo «Telescopio a tasselli». Primo fra tutti l'aberrazione sferica, un problema ottico con cui le parti esterne di uno specchio sferico tendono a focalizzare i raggi luminosi più vicino di quanto dovrebbero, di un fattore pari a metà del raggio dello specchio. Per superare questo problema fu necessa-

⁸ G. PARESCHI *et al.*, *Glass mirrors by cold slumping to cover 100 m² of the MAGIC II Cherenkov telescope reflecting surface*, «The International Society for Optics and Photonics Proceedings», 2008, p. 7018, oW.

⁹ R. CANESTRARI *et al.*, *The ASTRI SST-2M Prototype: Structure and Mirror*, in *The International Cosmic Ray Conference 2013 Proceedings*, 2013.

rio sollevare alcuni anelli esterni di specchi, al fine di rendere i piani focali di tutti i tasselli coincidenti tra loro, correggendo così l'aberrazione sferica e ottenendo immagini di stelle con una buona definizione. La riduzione di questa aberrazione era infatti possibile solo perché si stava lavorando con uno specchio a mosaico.

Oggi dobbiamo affrontare questa e molte altre sfide, come ad esempio i disallineamenti degli specchi che potrebbero peggiorare la qualità delle immagini, dovuti a cause diverse, come condizioni meteorologiche estreme (ad esempio, raffiche di vento ad alta velocità, ghiaccio tra le sfaccettature, sbalzi di temperatura) o addirittura il peso proprio della struttura in alcune posizioni zenitali. Fortunatamente, la tecnologia si è evoluta dall'epoca di Guido Horn d'Arturo e molte funzioni sono ora automatizzate: ad esempio, per risolvere il disallineamento, gli attuatori posizionati sotto ad ogni tassello possono essere movimentati con una precisione inferiore a decine di micrometri.

Il contributo di Guido Horn d'Arturo è stato riconosciuto dal team ASTRI, guidato dall'Istituto Nazionale di Astrofisica, in una cerimonia tenutasi il 10 novembre 2018 in cui il prototipo del telescopio è stato dedicato all'astronomo, su proposta della Società Astronomica Italiana. In questa occasione si sono riuniti i membri della famiglia di Horn, le autorità locali e numerosi ospiti che hanno commemorato il lavoro di Guido Horn d'Arturo, ricordando la sua rilevanza nel campo dell'astronomia e l'eredità che ha lasciato ispirando le successive generazioni di astronomi. La scienza progredisce grazie alla creatività e agli sforzi di un gran numero di ricercatori in tutto il mondo in campi diversi, che condividono i loro risultati per superare nuove sfide. CTA, una collaborazione globale orgogliosa della sua complessità, con più di 200 istituti di 31 paesi, mira a svolgere un ruolo importante nello sviluppo dell'astronomia gamma e della fisica in generale, a partire da importanti precedenti scoperte e verso futuri eccezionali risultati. Tocca a noi ora ispirare le nuove generazioni di scienziati.

Alba Fernández-Barral entra a far parte delle collaborazioni MAGIC e CTA durante il dottorato di ricerca a Barcellona con il gruppo di ricerca per astronomia gamma IFAE. La sua tesi di dottorato è stata selezionata dall'Università Autonoma di Madrid con la menzione speciale per l'attività di ricerca sviluppata durante il dottorato, ed è stata pubblicata dalla Springer nel 2018. In seguito, vince un assegno di ricerca post-dottorato all'Università di Padova. Dal 2018 è la coordinatrice delle attività educative e di *outreach* del progetto CTA.

Federico Ferrini è Direttore Generale dell'Osservatorio Cherenkov Telescope Array da marzo 2018. Vanta una lunga esperienza sia nel campo dell'astrofisica che nella gestione di progetti scientifici internazionali. Ha dedicato più di trent'anni all'attività di ricerca e all'insegnamento all'Università di Pisa, dove ha diretto il gruppo di ricerca di astronomia e astrofisica. Nel 2011 è stato nominato Direttore dell'European Gravitational Observatory (EGO), promuovendo la collaborazione con l'antenna interferometrica per la rilevazione delle onde gravitazionali VIRGO. Nel 2018 è stato insignito del titolo di Commendatore dell'Ordine al Merito della Repubblica Italiana. È stato membro del Consiglio Direttivo della Società Astronomica Italiana.

Traduzione dall'inglese a cura di **Federico Di Giacomo**, INFN-Osservatorio Astronomico di Padova.

Il progetto ASTRI

Salvatore Scuderi

INAF - Osservatorio Astrofisico di Catania

Introduzione

IL progetto ASTRI nasce come progetto bandiera, finanziato dal Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca e guidato dall'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF), finalizzato allo sviluppo tecnologico della prossima generazione di telescopi IACT (Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope) per astronomia in raggi gamma da terra. In questo contesto, ASTRI è inserito a pieno titolo nel progetto CTA (Cherenkov Telescope Array), un'iniziativa internazionale con l'obiettivo di realizzare un osservatorio da terra per raggi gamma aperto alla comunità astrofisica internazionale.

Oltre a migliorare di più di un ordine di grandezza la sensibilità in flusso rispetto agli attuali telescopi Cherenkov (HESS, MAGIC e VERITAS), CTA coprirà un intervallo di energia molto ampio, da alcune decine di GeV a oltre 100 TeV. Per questo scopo verranno costruiti più di cento telescopi distribuiti in due siti osservativi, uno nell'emisfero sud in Cile e uno nell'emisfero nord nelle Isole Canarie. L'osservatorio CTA utilizzerà tre diverse classi di telescopi:

- Large Size Telescope (LST - 23 m di diametro, 4 unità per sito), per la rilevazione dei raggi gamma a energie più basse;
- Medium Size Telescope (MST - 12 m di diametro, 24 unità per sito), dedicati alla rilevazione dei raggi gamma a energie medie;
- Small Size Telescope (SST - 4 m di diametro, 70 unità solo per il sito sud), che studieranno i raggi gamma alle energie più alte.

Il progetto coinvolge 1400 ricercatori distribuiti in più di 32 nazioni e 210 istituti di ricerca ed università.

L'interesse dell'INAF nell'astrofisica delle alte energie, di cui lo studio dei raggi gamma è parte integrante, è sempre stato molto elevato e affonda le sue radici più recenti nella partecipazione dei propri ricercatori in progetti di astronomia come i satelliti FERMI e AGILE e il telescopio Cherenkov MAGIC.

INAF partecipa sin dall'inizio alle attività preparatorie del progetto CTA, appunto tramite il progetto ASTRI. L'acronimo ASTRI sta per "Astronomia a Specchi a Tecnologia Replicante Italiana" e fu coniato dall'allora presidente dell'INAF Nanni Bignami che fino alla fine è stato un convinto ed entusiasta sostenitore del progetto.

Informazioni sul progetto

Il progetto bandiera del MIUR aveva lo scopo di progettare, realizzare e mettere in opera un prototipo (ASTRI-Horn) di un telescopio della classe SST (4-m di diametro dello specchio principale) per l'osservatorio CTA, da testare in condizioni operative alla stazione osservativa INAF dell'Osservatorio Astrofisico di Catania sull'Etna. Ovviamente, lo scopo finale del progetto ASTRI è invece quello di contribuire alla costruzione dei 70 telescopi della classe SST per il sito sud di CTA.

Il progetto vede coinvolti più di 100 ricercatori degli istituti INAF di Milano, Padova, Bologna, Roma, Palermo, Catania. Inoltre, partecipano al progetto anche le università di Perugia, Padova, Catania, Genova, il politecnico di Milano e le sezioni INFN di Roma Tor Vergata e Perugia. Partner internazionali del progetto sono l'Università di Sao Paulo in Brasile e la North Western University in Sud Africa. Infine, al progetto partecipano attivamente parecchie aziende italiane e straniere. In particolare, la struttura elettromeccanica è stata realizzata dal consorzio di ditte italiane GEC (Galbiati ed EIE), le ottiche sono state realizzate con il contributo di Media Lario, ZAOT e la ditta tedesca Flabeg SE. Infine, alla realizzazione della camera Cherenkov hanno partecipato la ditta francese Weeroc, l'inglese Thermacore, la giapponese Hamamatsu e le italiane Mindway, Novasis.

Il telescopio prototipale ASTRI-Horn è nato essenzialmente come un dimostratore tecnologico, infatti, è il primo telescopio per astronomia Cherenkov ad aver adottato la configurazione ottica a due specchi ed è uno tra i primi a utilizzare i Silicon Photomultiplier o fotomoltiplicatori al silicio (SiPM) come rivelatori. L'approccio con cui però è stato pensato e realizzato è di tipo *end-to-end*. Questo significa che la dimostrazione della sua funzionalità è stata ottenuta non esclusivamente attraverso prove tecniche, ma tramite osservazioni scientifiche di un numero selezionato di sorgenti astrofisiche. Per questo è stato necessario realizzare l'intera catena (da cui il termine *end-to-end*), che va dalla "cattura del fotone" alla sua analisi, costituita non solo dal telescopio e dalla camera Cherenkov ma anche dal sistema di calibrazione interno ed esterno, dal *software* e l'*hardware* di controllo, dal *software* di riduzione e analisi dati fino al sistema di archiviazione. Per questo stesso motivo si è deciso di installare il telescopio prototipale ASTRI-Horn in un sito astronomico, la stazione 'M.G. Fracastoro' dell'INAF - Os-



FIG. 1. Il gruppo ASTRI fotografato davanti al telescopio prototipale ASTRI-Horn durante la cerimonia di inaugurazione il 24 settembre 2014.

servatorio Astrofisico di Catania, situata a una quota di 1725 metri all'interno del parco regionale dell'Etna.

La costruzione del telescopio prototipale ASTRI-Horn è avvenuta a partire dalla primavera del 2014 e la sua installazione nell'estate dello stesso anno.



FIG. 2. Il telescopio prototipale ASTRI-Horn durante un'osservazione tecnica notturna.

L'inaugurazione ufficiale si è tenuta il 24 settembre 2014 durante il CTA Consortium Meeting (FIG. 1).

Caratteristiche del prototipo ASTRI-Horn

Rispetto ai telescopi Cherenkov esistenti, il prototipo ASTRI-Horn presenta due soluzioni innovative: la configurazione ottica e lo strumento di rilevazione denominato "camera Cherenkov".

Il telescopio prototipale ASTRI-Horn è il primo telescopio per astronomia Cherenkov ad aver adottato una configurazione ottica a due specchi denominata Schwarzschild-Couder modificata. Autore del disegno ottico è Paolo Conconi già dell'Osservatorio

di Brera. Tale disegno prevede una doppia riflessione su due specchi con profilo polinomiale a simmetria radiale. Uno dei vantaggi di tale disegno è di essere aplanatico, che vuol dire che permette di correggere allo stesso tempo aberrazione sferica, astigmatismo e coma in maniera da avere una qualità ottica uniforme su un campo di vista molto grande mantenendo una buona risoluzione angolare. Inoltre, la presenza dello specchio secondario riduce la lunghezza focale equivalente del telescopio, il che, alla fine, si traduce in un telescopio molto compatto: infatti, la distanza dello specchio primario dal secondario è di 3 metri e la distanza di quest'ultimo dalla camera Cherenkov è di soli 0,52 metri (FIG. 2).

La struttura meccanica adottata è altazimutale con un design che consente al telescopio di ruotare attorno all'asse di azimut per ± 270 gradi. La cella dello specchio primario è montata su una forcella che permette all'asse di elevazione di ruotare tra -1 e 90 gradi. Il telescopio pesa intorno alle 19 tonnellate e ha un'altezza che varia tra i 7,5 e gli 8,5 metri a seconda che punti l'orizzonte, quando è in posizione di parcheggio, o osservi allo zenit. La sua struttura rigida gli permette di avere ottime prestazioni nel puntamento e nell'inseguimento degli oggetti celesti.

Lo specchio primario è a tasselli e ha un diametro di 4,3 metri mentre il diametro del secondario, che invece è monolitico, è di "solo" 1,8 metri.

Altro "effetto collaterale" del disegno ottico tipo Schwarzschild-Couder è che la camera Cherenkov è molto compatta e leggera (70 kg circa con dimensioni di poco superiori al mezzo metro). La camera Cherenkov del telescopio ASTRI-Horn è stata progettata dagli istituti INAF di Palermo e Catania e integrata a Palermo. Due sono gli elementi innovativi che la caratterizzano: i rivelatori e l'elettronica di lettura.

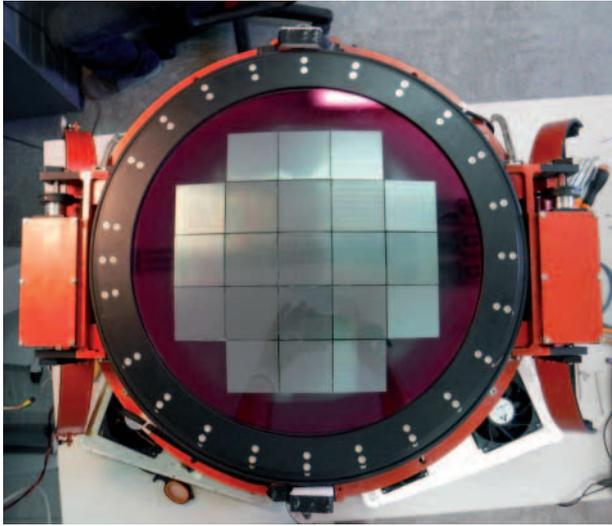


FIG. 3. Il piano focale della camera Cherenkov prototipale ricoperto con le 21 matrici di rivelatori SiPM.

I rivelatori utilizzati nella camera Cherenkov, i SiPM, sono molto sensibili ed estremamente veloci, in grado di catturare il lampo di luce Cherenkov prodotto dall'interazione dei raggi gamma con l'atmosfera terrestre. Ogni SiPM è un quadrato (pixel) di 7×7 mm. Il piano focale della camera Cherenkov può contenere fino a 2400 SiPM anche se in realtà, dato che è un dimostratore, ne ospita solo 1344 distribuiti in 21 matrici da 8×8 pixel (FIG. 3). Le dimensioni dei singoli pixel si accoppiano perfettamente con la risoluzione lineare generata dal telescopio e accoppiate con le dimensioni fisiche della camera permettono di coprire una regione di cielo, il campo di vista, fino a 10,4 gradi di diametro (8,4 nella camera Cherenkov prototipale). Tanto per dare un riferimento la Luna piena ha un diametro di 0,5 gradi.

L'altro elemento innovativo della camera è la modalità con cui il segnale Cherenkov prodotto da un raggio gamma che interagisce con l'atmosfera viene rilevato ed elaborato attraverso l'elettronica di lettura. Essa è basata su un circuito integrato realizzato appositamente per questo scopo e sviluppato in collaborazione da INAF e dalla ditta francese Weeroc. Le caratteristiche e i modi operativi dell'elettronica sono descritti in dettaglio nell'articolo di Osvaldo Catalano in questo stesso numero del «Giornale di Astronomia». Qui ci basterà ricordare che l'acquisizione dell'impulso generato dal segnale Cherenkov utilizza un metodo di integrazione del segnale in ingresso, piuttosto che il metodo di campionamento normalmente utilizzato in queste applicazioni, il che garantisce le stesse prestazioni ma anche vantaggiosi effetti collaterali in termini di quantità di dati prodotta e potenza dissipata dall'elettronica.

Concludiamo la breve descrizione delle peculiarità della camera Cherenkov citando un particolare modo operativo, definito metodo della varianza, che permette alla camera Cherenkov di acquisire

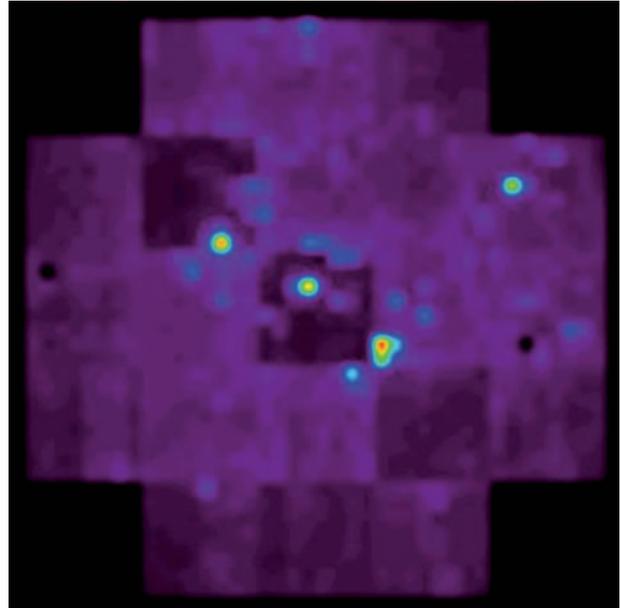


FIG. 4a. La cintura di Orione ottenuta con la camera Cherenkov ASTRI e il metodo della varianza.

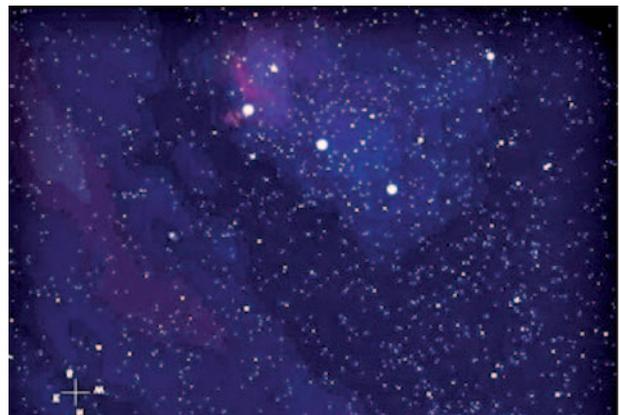


FIG. 4b. Immagine ottica della cintura di Orione.

immagini del cielo come una normale macchina fotografica digitale (vedi FIGG. 4a e 4b). Le immagini così ottenute permettono di misurare l'intensità luminosa del fondo cielo ed anche di monitorare l'allineamento degli specchi del primario.

Lo specchio a tasselli

Ma veniamo allo specchio principale (FIG. 5) che, come dicevamo, è costituito da un certo numero di tasselli. In particolare, lo specchio è costituito da 18 tasselli organizzati in tre anelli (FIG. 6), ognuno costituito da 6 specchi. Gli specchi che compongono ogni anello hanno caratteristiche ottiche identiche tra loro ma diverse da quelle degli specchi degli altri anelli. I singoli tasselli sono montati sulla struttura del telescopio tramite dei supporti triangolari. Uno dei vertici del triangolo è fisso mentre sugli altri due sono montati dei motori, denominati attuatori, che permettono di eseguire movimenti di *tip/tilt* dello

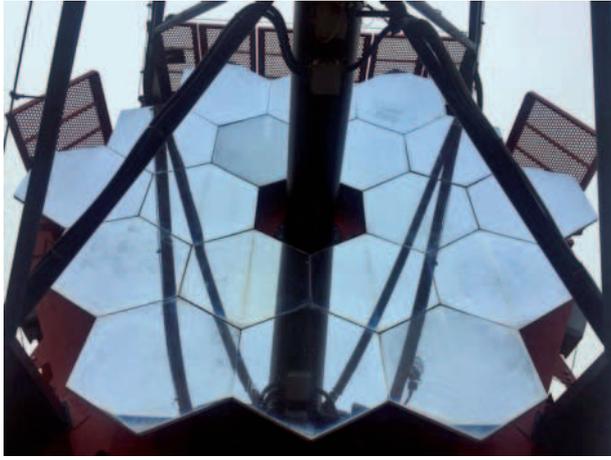


FIG. 5. Lo specchio primario a tasselli del telescopio prototipale ASTRI-Horn.

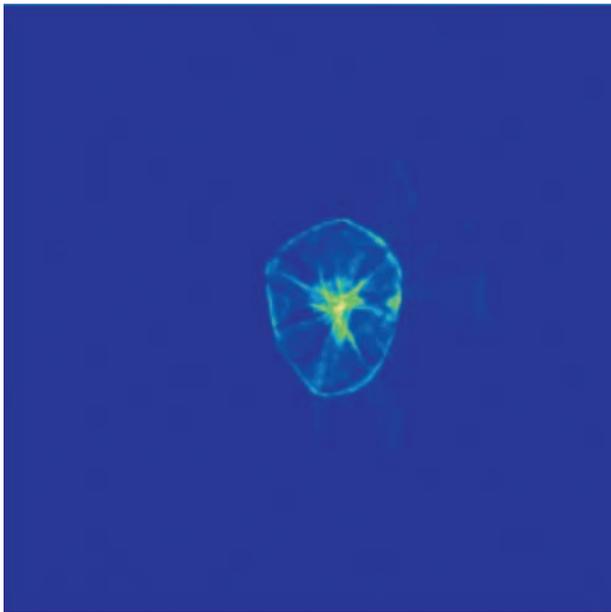


FIG. 7. Immagine di una sorgente puntiforme ottenuta quando gli specchi del primario sono tutti allineati.

specchio. Muovendo opportunamente gli attuatori, è possibile allineare tra di loro tutti gli specchi, di modo che lo specchio primario assuma la forma ri-

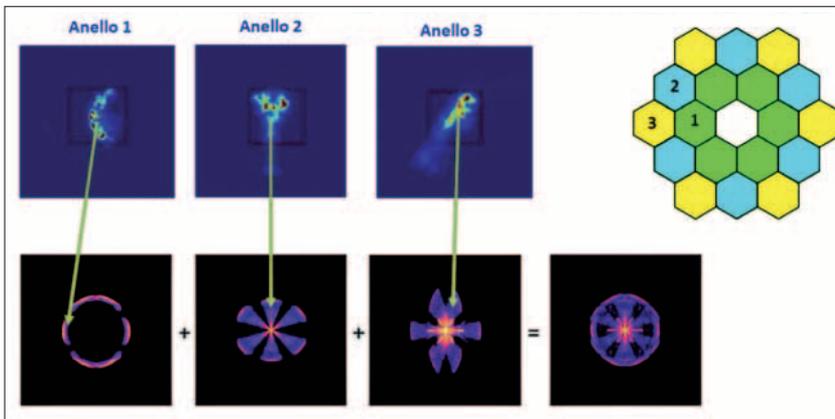


FIG. 8. Immagini di una sorgente puntiforme prodotta dagli specchi che costituiscono i vari anelli. In alto, da sinistra a destra, l'immagine creata da uno specchio dell'anello 1, 2, 3 rispettivamente. In basso, le immagini degli specchi dei vari anelli combinate e la somma finale. Le immagini della riga in alto sono reali, quelle della riga in basso sono simulazioni.

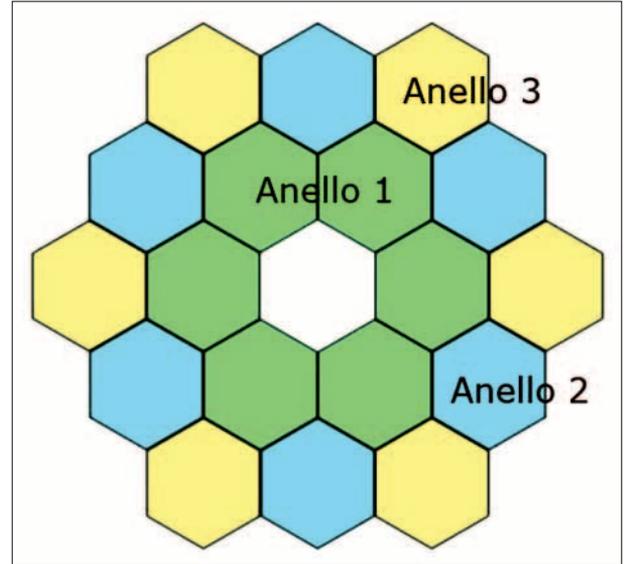


FIG. 6. Lo schema ad anelli dello specchio primario. In verde gli specchi del primo anello, in azzurro quelli del secondo e in giallo quelli del terzo.

chiesta dal disegno ottico, comportandosi di fatto come uno specchio monolitico. Gli attuatori permettono anche di mantenere l'allineamento degli specchi e quindi la forma della superficie dello specchio primario al variare delle condizioni esterne (temperatura ambiente o vento) e delle caratteristiche meccaniche del telescopio (flessioni dovute alla gravità).

Quando tutti gli specchi sono allineati, l'immagine prodotta su un rivelatore da una sorgente di luce puntiforme come una stella, detta anche *PSF* dall'inglese *Point Spread Function*, ha un aspetto ben preciso (vedi FIG. 7). La ragione di questo va ricercata nel fatto che ognuno degli specchi produce una sua immagine caratteristica. Ad esempio, gli specchi del primo anello, quello più interno, producono 6 archi di cerchio in maniera da comporre una circonferenza completa (FIG. 8).

Gli specchi degli altri anelli producono figure geometriche più complesse, ma il discorso non cambia: alla fine tutti contribuiscono con la propria immagine caratteristica a produrre l'immagine finale (vedi ancora FIG. 8). Va osservato che l'immagine della sorgente puntiforme cambia a seconda della sua posizione sul piano focale del telescopio ma, come dicevamo, il disegno ottico adottato fa sì che le dimensioni totali dell'immagine stessa rimangano sostanzialmente immutate, spostandosi dal centro al bordo del campo di vista. Dato che l'immagine prodotta da ogni specchio ha una firma, per allineare tra loro gli specchi basterà osservare una stella, riconoscere le immagini prodotte

dai vari specchi (FIG. 9) e quindi gli stessi specchi, e poi muoverli utilizzando gli attuatori in maniera da produrre l'immagine attesa (FIG. 7).

Un aspetto molto interessante dei tasselli dello specchio primario di ASTRI è la loro tecnica di produzione. Questa tecnica viene denominata "formatura a freddo" (*cold shaping*). La tecnica è stata sviluppata in sinergia da un gruppo dell'Osservatorio Astronomico di Brera guidato da Oberto Citterio e da un'azienda italiana (la Media Lario srl). Una sottile lastra di vetro (2 mm), tagliata in maniera da avere giuste forma e dimensioni, viene posizionata su un mandrino, tipicamente in alluminio, che è stato lavorato in maniera da avere una determinata forma (quella richiesta per lo specchio). Grazie all'uso di una serie di pompe, la lastra di vetro viene fatta aderire al mandrino stesso. Il vetro rimane in questa condizione a temperatura ambiente (da qui il termine usato per descrivere la tecnica) per un certo numero di ore e grazie alla sua elasticità finisce per assumere la forma del mandrino. Sulla lastra così piegata viene incollata una struttura a nido d'ape in alluminio che conferisce allo specchio in costruzione la necessaria robustezza. Infine, sulla superficie posteriore della struttura a nido d'ape viene incollata una seconda lastra di vetro delle stesse dimensioni della prima che completa il cosiddetto *sandwich*. A questo punto la struttura diventa uno specchio perché sulla lastra frontale viene depositato, con gli strumenti opportuni, un rivestimento che la rende riflettente e la protegge dalle intemperie (solitamente alluminio rivestito da quarzo). Successivamente, per rendere ermetico il *sandwich*, le sue superfici laterali vengono sigillate con il silicone e poi con delle strisce di pvc. Infine, sulla superficie posteriore dello specchio vengono incollati dei dischi metallici dotati di fori filettati che serviranno da interfaccia meccanica con il sistema di supporto e movimentazione. La FIG. 10 mostra l'intero processo di produzione. Il mandrino può essere utilizzato parecchie volte rendendo questa tecnica di replica molto efficiente per la produzione di massa di specchi. Inoltre, gli specchi prodotti usando questa tecnica sono molto leggeri (densità di 15 kg/m^2) con evidenti vantaggi per le operazioni di montaggio.

Caratterizzazione del telescopio ASTRI-Horn

Concludiamo la descrizione del telescopio prototipale, mostrando alcuni dei risultati dei test eseguiti

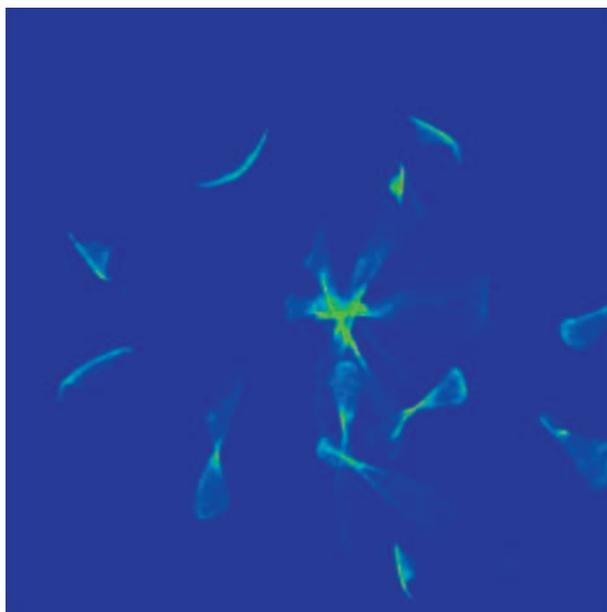


FIG. 9. Immagine di una sorgente puntiforme ottenuta quando gli specchi del primario sono disallineati.

per dimostrare la sua funzionalità e misurarne le prestazioni.

Dopo l'inaugurazione, il telescopio ha effettuato una serie di verifiche tecniche, per ottenere poi la prima luce ottica nel maggio 2015 utilizzando una camera CCD posizionata sul telescopio al posto della camera Cherenkov. Nell'ottobre 2016, il disegno ot-

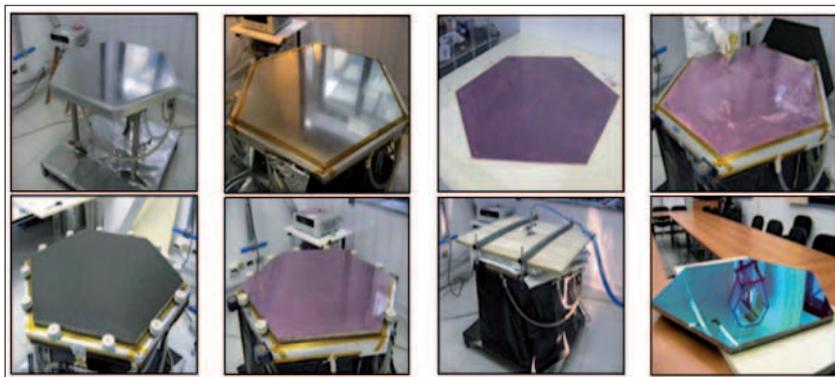


FIG. 10. Il processo di produzione dei pannelli dello specchio primario.

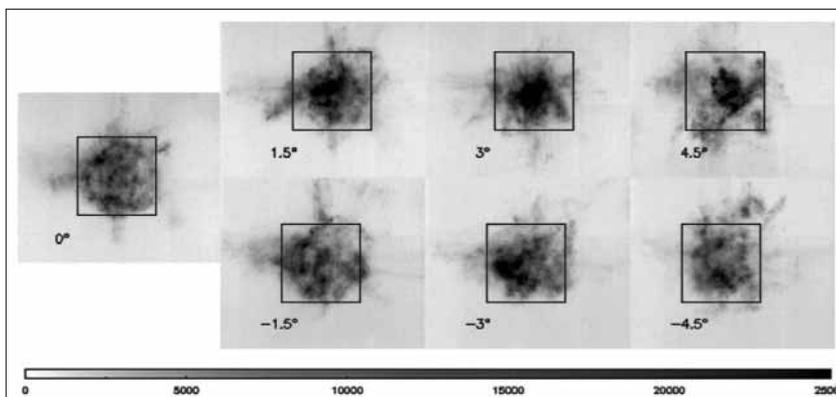


FIG. 11. Immagini (PSF) di una sorgente puntiforme (la Stella polare) ottenuta spostando una camera CCD nel campo di vista del telescopio ASTRI-Horn.

tico è stato validato con una campagna osservativa dedicata. Per verificare il disegno ottico è stato necessario misurare la PSF prodotta dagli specchi in funzione della sua posizione sul campo di vista. Questo è stato ottenuto utilizzando una camera CCD che è stata spostata in varie posizioni sul piano focale. I risultati (FIG. 11) hanno mostrato che la PSF, come previsto dal disegno ottico, non cambia quando ci si sposta nel campo di vista coperto dalla camera Cherenkov.

Nel dicembre dello stesso anno sono iniziati i test con la camera Cherenkov culminati nel maggio 2017 con la prima luce Cherenkov, ovvero con l'osservazione diretta di un segnale Cherenkov prodotto dall'interazione di una particella energetica con la nostra atmosfera. Attualmente, il telescopio e la camera sono impegnati nell'osservazione di una sorgente gamma in particolare, la nebulosa del Granchio.

Conclusione

Possiamo concludere affermando che il telescopio prototipale ASTRI-Horn ha concluso la prima fase del suo percorso, quella di dimostratore tecnologico, entrando adesso in una fase di verifica scientifica delle sue prestazioni. Il telescopio sarà inoltre utilizzato come centro di addestramento per la manutenzione e le operazioni notturne, rimanendo comunque, anche oltre la fase di verifica scientifica, banco di prova per l'implementazione di nuovo hardware e software.

Referenza Bibliografica

VASSILIEV, V., FEGAN, S., BROUSSEAU, P., *Wide field aplanatic two-mirror telescopes for ground-based γ -ray astronomy*, «Astroparticle Physics», 28, 10, 2007.

Salvatore Scuderi si laurea in Fisica a Catania e ottiene nel 1994 il dottorato di ricerca lavorando sulle proprietà dei venti stellari di stelle giovani. Dal 1994 al 1996 è borsista allo Space Telescope Science Institute dell'ESA. Dal 1995 è astronomo all'Osservatorio Astrofisico di Catania. La sua attività è concentrata principalmente sullo sviluppo, la realizzazione e il test di strumentazione astronomica da terra e dallo spazio. È stato coinvolto in numerosi progetti nazionali e internazionali (TNG-SARG, TNG-GIANO, UVISS, WSO-UV, VLT-SPHERE, EST, CHEOPS, PLATO, ASTRI) dove ha ricoperto diversi ruoli di rilievo. Attualmente è Project Manager di ASTRI all'interno del progetto CTA.

La luce Cherenkov per l'astronomia gamma e non solo

Osvaldo Catalano

INAF - Istituto di astrofisica spaziale e fisica cosmica, Palermo

PER energie al di sopra di qualche centinaio di gigaelettronvolt ($1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$), l'osservazione dei raggi gamma primari dallo spazio con satelliti o palloni stratosferici diventa inefficiente, tanto da rendere impossibile la misura diretta, dovuta alla limitazione della superficie di rivelazione necessaria per poter intercettare i raggi gamma primari il cui flusso si riduce notevolmente all'aumentare dell'energia. Si ricorre allora alla misura indiretta, cioè alla rilevazione delle particelle secondarie prodotte dall'interazione dei raggi gamma con l'atmosfera terrestre. Il nostro rivelatore diventa l'atmosfera che contemporaneamente espleta la funzione di assorbitore e convertitore. Nell'atmosfera, le particelle cariche e i raggi gamma provenienti dallo spazio esterno, che in nessun caso possono raggiungere la superficie terrestre, interagiscono con gli atomi dell'aria producendo una cascata di particelle ionizzate e radiazioni elettromagnetiche, che a loro volta creano altre particelle secondarie e radiazioni elettromagnetiche e così via, creando i cosiddetti "sciame estesi". Le particelle cariche secondarie danno luogo al ben noto fenomeno di produzione di "luce Cherenkov", che si verifica quando una particella carica (come un elettrone) passa attraverso un mezzo dielettrico, l'aria nel nostro caso, ad una velocità superiore alla velocità della luce in quel mezzo. Le particelle cariche polarizzano le molecole dell'aria, che poi tornano rapidamente al loro stato fondamentale, emettendo fotoni nella direzione di cammino delle particelle cariche e producendo una flebile (poche centinaia di fotoni) e brevissima (pochi nanosecondi) emissione di luce nelle lunghezze d'onda dell'ultravioletto e del visibile. Il contributo in fotoni Cherenkov di tutte le particelle cariche di uno sciame nella sua evoluzione nell'atmosfera si manifesta, a livello osservativo, come un cono di luce con vertice nel punto di prima interazione della particella primaria con l'aria e raggio della circonferenza del cono di circa 120 metri. Questa luce può essere rivelata solo durante la notte per mezzo di telescopi con grandi superfici ottiche di raccolta e con fotocamere *multi-pixels* veloci e sensibilissime. L'uso di più telescopi, opportunamente posizionati, che operano simultaneamente migliora le prestazioni in termini di risoluzione energetica e la precisione sulla posizione della sorgente gamma osservata nel cielo, aumentando contemporaneamente la statistica del numero di eventi rivelati (FIG. 1).

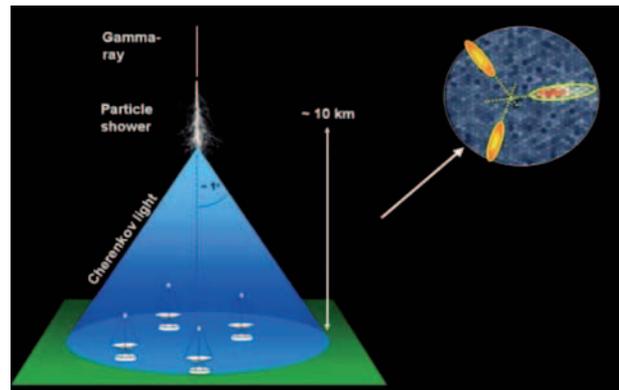


FIG. 1. Rappresentazione di un evento Cherenkov. L'immagine ricostruita sulle fotocamere dei tre telescopi permette di misurare la direzione d'arrivo dei fotoni gamma con precisione di circa 0.1° .

I risultati ottenuti in questi ultimi anni dai telescopi Cherenkov HESS, MAGIC e VERITAS dimostrano che l'universo abbonda di sorgenti celesti in grado di produrre radiazione gamma di altissime energie. Il progetto CTA (Cherenkov Telescope Array) con i suoi due Osservatori previsti nell'emisfero nord (La Palma, Canarie) e nell'emisfero sud (Cile) contribuirà ad aumentare di un ordine di grandezza la sensibilità nella rivelazione di sorgenti gamma.

La fotocamera ASTRI

Con una configurazione minima di telescopi, INAF contribuisce, sin dalle prime fasi all'iniziativa CTA con la progettazione, sviluppo e realizzazione di un telescopio prototipale ASTRI (Astrofisica con Specchi a Tecnologia Replicante Italiana) e con una proposta di un *pathfinder* costituito da nove telescopi ASTRI simili all'attuale prototipo. La fotocamera di ASTRI è progettata per catturare e registrare impulsi veloci di luce Cherenkov durante la notte, nell'intervallo di lunghezza d'onda fra 300 e 600 nm. La fotocamera comprende diversi componenti come i rivelatori, il processore di immagine, il sistema termico, il sistema di calibrazione, i controlli periferici e la circuiteria associata, nonché l'interfaccia specifica alla struttura meccanica del telescopio. Ne fanno parte anche il coperchio, il filtro della finestra d'ingresso e la struttura di supporto dei moduli di rivelazione dei fotoni. La fotocamera del prototipo è costituita da 21 moduli di sensori di luce Silicon Photo-Multiplier (SiPM). Ogni modulo ha 64 pixels disposti in una

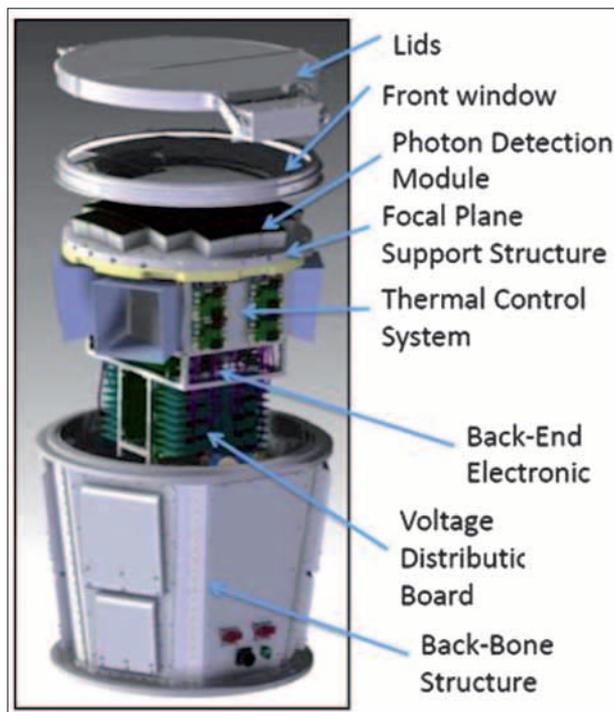


FIG. 2. Vista esplosa della camera ASTRI.

matrice di 8×8 pixels. Ogni pixel ha dimensione di $7 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$. In totale la fotocamera consta di 1344 pixels. Le dimensioni della fotocamera sono rispettivamente di $500 \text{ mm} \times 490 \text{ mm} \times 560 \text{ mm}$, per un peso totale di 70 kg e un consumo totale di 800 W (FIG. 2).

La struttura opto-meccanica prototipale del telescopio è stata installata il 24 settembre 2014 nel sito astronomico INAF di Serra La Nave (Catania), sulle pendici del Monte Etna. Successivamente, ASTRI ha visto la prima luce ottica nel maggio 2015 e nel maggio 2017 è stata ottenuta anche la prima luce Cherenkov (FIG. 3).

Aspetti scientifici rilevanti di ASTRI

ASTRI è stato concepito come uno dei tre tipi di telescopi per CTA. Come tale fa parte di un progetto in cui ogni telescopio contribuisce a coprire una parte rilevante dello spettro energetico gamma. ASTRI è dedicato alla rivelazione dei fotoni gamma più energetici, da qualche TeV a qualche centinaio di TeV. L'esteso campo di vista fa sì che possono essere rivelati eventi Cherenkov distanti anche 400 m dai telescopi, di fatto aumentando l'area geometrica di campionamento e, di concerto, la statistica di eventi (rari) ad altissime energie. La regione di energie al di sopra di qualche decina di TeV è quella ancora inesplorata che potrebbe portare a scoperte scientifiche importanti. In particolare, oltre alla gamma astronomia classica, ASTRI in configurazione multi-telescopi grazie al suo grande campo di vista consentirà la rivelazione dei fotoni più energetici mai osservati prima e il campionamento delle particelle di energia più alta provenienti dalla Galassia alla ricerca dei meccanismi di accelerazione, di particola-

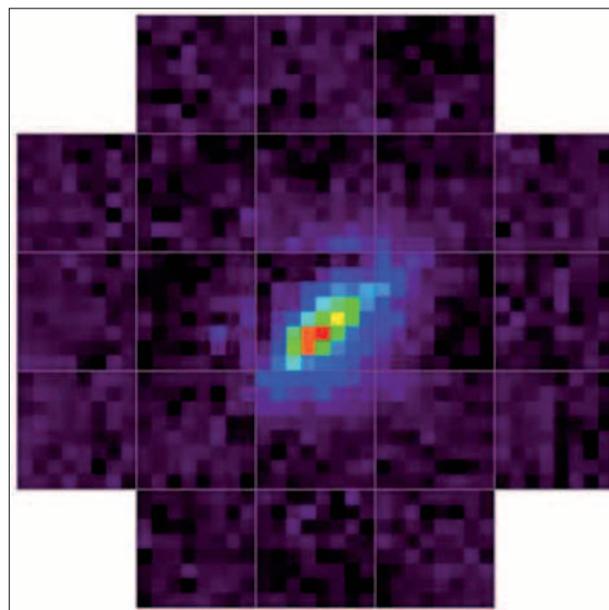


FIG. 3. Immagine della prima luce Cherenkov rivelata nella fotocamera ASTRI.

re importanza per l'identificazione delle sorgenti di raggi cosmici, essendo prevista la loro produzione, ad un certo livello, durante la loro accelerazione. Anche la rivelazione di sNR (Supernova Remnant) con spettro di energie estese fino a 100 TeV sarebbe di importanza fondamentale per stabilire se l'emissione di raggi gamma sia di origine leptonica o adronica, cosa tutt'oggi dibattuta.

Il grande campo di vista di cui sono dotati i telescopi ASTRI ha inoltre una duplice funzione applicativa in CTA. I telescopi sono preposti ad individuare eventuali eccessi di segnale da zone del cielo al di fuori della limitata regione della sorgente puntata dal telescopio e a segnalare ai più grandi e sensibili telescopi la loro posizione per uno studio più accurato della morfologia e dello spettro di energia della sorgente, e contemporaneamente ad estendere le osservazioni verso le energie più alte precluse agli altri tipi di telescopi.

È quindi di fondamentale importanza identificare sorgenti di raggi gamma i cui spettri si estendono, senza alcuna soppressione apprezzabile, ben oltre 10 teraelettronvolt ($1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$).

Aspetti tecnologici rilevanti di ASTRI

ASTRI presenta sicuramente molti aspetti tecnologici di rilievo e innovativi. INAF, proponendosi come leader nella costruzione dei piccoli telescopi per CTA ha sviluppato parecchi concetti innovativi che rendono il telescopio ASTRI unico nel suo genere.

La configurazione a doppio specchio di tipo Schwarzschild-Couder, che prevede una doppia riflessione su due specchi, consente buone risoluzioni angolari su tutto il campo di vista, riducendo la distanza focale, le dimensioni del pixel fisico e la dimensione complessiva della fotocamera, pur man-

tenendo un campo di vista di circa dieci gradi, estremamente grande rispetto agli attuali telescopi Cherenkov.

La finestra d'ingresso, costituita da un filtro ottico, è un'altra importante innovazione tecnologica. Il filtro, formato da tre sottili lastre di vetro ricoperte da dielettrico attraverso la tecnica di deposito multistrato, permette di bloccare i fotoni di lunghezza d'onda maggiore di 600 nm, facendo passare invece i fotoni con lunghezza d'onda inferiore a 600 nanometri (miliardesimi di metro o milionesimi di millimetro).

Il sistema ottico di calibrazione dei sensori di luce della fotocamera insieme al costo contenuto (il costo di un LED e di un metro di fibra ottica) semplifica notevolmente le misure di calibrazione relativa dei guadagni dei sensori di luce. Il sistema si basa sulla proprietà della luce di disperdersi in un materiale trasparente. Illuminando con un LED una fibra ottica, sia con luce continua che impulsata, posta a contatto con il bordo esterno dell'ultimo vetro del filtro, una parte dei fotoni dell'impulso luminoso viene dispersa nel vetro e raggiunge i fotosensori conservando inalterate le caratteristiche temporali dell'impulso luminoso di origine. L'intensità del segnale luminoso e la sua distribuzione quasi uniforme sul piano focale della fotocamera permettono di calibrare contemporaneamente il guadagno di tutti i sensori di luce.

L'elettronica di lettura dei SiPM è alquanto differente da quella usata in tutti gli altri telescopi Cherenkov. Come detto precedentemente, il segnale luminoso Cherenkov è di intensità bassissima con durata di solo pochi ns. La fotocamera, quindi, deve avere un'elevata sensibilità e un'altissima velocità nell'acquisire i lampi di luce Cherenkov. Per poter avere le prestazioni richieste in termini di sensibilità e velocità di acquisizione, su nostro suggerimento e richiesta, sono state apportate delle modifiche ad un ASIC commercializzato dalla ditta francese Weeroc che riconosce ad INAF la proprietà intellettuale (FIG. 4).

Il sistema di termoregolazione che permette di mantenere i SiPM a una temperatura fissata costante è realizzato con un tecnica che usa un sistema di trasferimento di calore passivo semplice e affidabile (*heat pipes*) ed un'elevata conducibilità termica. Rispetto ai sistemi tradizionali di termoregolazione basati sui refrigeratori con continuo ricircolo di liquido, il trasferimento passivo di calore non presenta nessuna parte in movimento, ha la capacità di trasportare il calore su lunghe distanze e presenta un funzionamento silenzioso e senza vibrazioni.

Un'applicazione innovativa delle tecnologie dell'astronomia moderna *made in Italy*: la muografia

Con un recente brevetto, l'Istituto Nazionale di Astrofisica ha dimostrato che le tecnologie sviluppate in Italia nell'ambito di una delle più prestigiose infrastrutture dell'astronomia moderna raccoman-



FIG. 4. L'ASIC CITIROC1.

date dall'ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructures) – il Cherenkov Telescope Array – si prestano alla realizzazione di particolari fotocamere capaci di effettuare delle vere e proprie radiografie e/o tomografie di strutture geologiche e tettoniche complesse di grandi dimensioni. Per esempio, nel caso dei vulcani si possono ottenere informazioni con un dettaglio senza precedenti delle caratteristiche geometriche dei condotti e delle zone di accumulo superficiali, migliorando le previsioni sullo stato di attività del vulcano e mitigando di conseguenza il rischio legato al verificarsi di eventi parossistici. La muografia è una tecnica simile, in linea di principio, alla radiografia, che tutti noi conosciamo. La differenza sostanziale tra radiografia e muografia risiede nella proprietà completamente differente della radiazione penetrante. Nella diagnostica medica vengono utilizzati i raggi X, fotoni con energie di circa 100 elettronvolt, per ottenere radiografie, ossia «fotografie» degli organi interni. I tessuti biologici sono diversamente opachi ai raggi X, cioè li assorbono più o meno intensamente a seconda della loro composizione. Quando attraversano la materia, i raggi X subiscono un'attenuazione che dipende dallo spessore e dal peso specifico del materiale attraversato. Più grande è lo spessore e il peso specifico del materiale irradiato, più grande è l'attenuazione. I raggi X hanno però un cammino limitato e sono in grado di attraversare senza essere assorbiti solo poche decine di centimetri di cemento. Cosa ben diversa è la muografia. I muoni, da cui il termine muografia, sono generati da particelle energetiche (raggi cosmici) che provengono dallo spazio profondo e bombardano continuamente la terra. Queste particelle, interagendo con gli atomi dell'atmosfera, producono una pioggia di altre particelle, tra cui i pioni, che decadono molto velocemente in muoni. I muoni raggiungono la superficie terrestre attraverso un flusso di radiazione carica penetrante che, al livello del mare, è pari a circa 1 muone/cm²/min, con energie medie di 2 GeV.

Anche se i muoni presentano una massa pari a circa 207 volte la massa dell'elettrone e sono quindi particelle più penetranti, perdono energia quando

attraversano la materia, con una riduzione del flusso che dipende dallo spessore e dalla densità del materiale attraversato. I muoni comunque possono essere utilizzati per ricavare informazioni sulla distribuzione delle densità all'interno di strutture massive con densità non superiori a un chilometro di roccia equivalente. Quindi, misurando l'assorbimento dei muoni nella struttura massiva del vulcano, si può risalire alla distribuzione delle densità al suo interno (struttura in densità), riconoscendo vuoti e/o zone con caratteristiche anomale.

Al termine muografia è spesso affiancato il termine tomografia muonica. È facile realizzare che se più strumenti osservano da diverse angolazioni lo stesso oggetto, si avrà una immagine 3D combinando le osservazioni di ciascun strumento. Ovviamente la tomografia sarebbe in grado di risolvere con maggior dettaglio i particolari geometrici dei vuoti/zone della struttura massiva interna.

Tipi di “muografie” esistenti

Fino ad oggi, la maggior parte delle radiografie muoniche di vulcani attivi è stata ottenuta utilizzando rivelatori con barre scintillanti lette da fotomoltiplicatori tradizionali o al silicio. Usualmente, lo strumento è costituito da tre o più piani di rivelazione tra loro paralleli e con una distanza tra un piano e l'altro calcolata in ragione del campo di vista desiderato. Il segnale prodotto da questi strumenti risente dell'effetto di coincidenze fortuite (particelle a bassa energia che colpiscono contemporaneamente i diversi piani del rivelatore, simulando un evento) e del *back-flux* (flusso che arriva dalla direzione opposta rispetto a quella del flusso che attraversa il *target*). Inoltre, tali strumenti non forniscono informazioni sullo spettro di energia dei muoni incidenti che deve essere conosciuto per calcolare il modello di flusso integrato che attraversa il vulcano da confrontare con i dati osservati. Il rumore dovuto a coincidenze multiple può essere ridotto a livelli accettabili aumentando il numero dei piani di scintillatori e inserendo, tra un piano e l'altro, assorbitori di piombo e acciaio. Questa soluzione permette di diminuire il fondo muonico non coerente, ma ha anche l'effetto di aumentare il peso e le dimensioni dello strumento, diminuendone la compattezza e limitandone la trasportabilità e, di fatto, la possibilità di utilizzo in zone impervie (per es. la zona sommitale di un vulcano attivo). Il riconoscimento del *back-flux* rispetto al flusso utile (che attraversa il *target*) richiede l'utilizzo di sistemi che consentano la misura del tempo di volo dei muoni con una risoluzione temporale migliore di 1 ns. Tali sistemi non sono sempre facili da implementare e gestire nell'ambito di installazioni in siti con condizioni disagiate.

Un'altra tecnica utilizzata per la radiografia muonica è quella delle emulsioni nucleari. I principi fisici delle emulsioni nucleari sono simili a quelli delle emulsioni fotografiche. Mentre nelle emulsioni fotografiche vengono rivelati i fotoni che formano

un'immagine, nelle emulsioni nucleari sono rivelate le particelle ionizzanti, e quindi anche i muoni, che attraversano l'emulsione. Le emulsioni nucleari di solito sono formate da cristalli di bromuro d'argento (AgBr) sospesi in un gel (spesso di origine organica). Un muone, così come altre particelle ionizzanti, sensibilizza i cristalli che attraversa ionizzandoli e lasciando un'immagine latente, che successivamente nel processo di sviluppo (simile a quello delle emulsioni fotografiche) viene fissata mediante opportuni trattamenti chimici. La ionizzazione del bromuro d'argento dà luogo alla formazione di grani anneriti, del diametro tipico di circa 0,5 millimetri lungo la traiettoria della particella, con i grani allineati lungo il percorso della particella nello strato di emulsione. Uno strato molto sottile di emulsione (30~40 mm) può dare tracce 3D con precisione angolare dell'ordine di 0,5 gradi. C'è da dire, però, che le emulsioni nucleari sono sensibili a partire dalla loro produzione fino al momento in cui sono sviluppate. Le emulsioni nucleari sono economiche (qualche euro/film) e passive, non richiedendo nessuna elettronica associata. Pertanto, risultano ideali per campagne di misure a lungo termine in luoghi dove l'energia elettrica non è disponibile. Bisogna tuttavia tenere conto che effetti termici e umidità causano la cancellazione dell'immagine latente. Inoltre, un'emulsione sviluppata mostra le tracce di tutte le particelle ionizzanti che l'hanno attraversata, comprese quelle dovute a radioattività naturale e ambientale e alla radiazione cosmica durante il trasporto verso il sito di esposizione. È quindi necessario, in genere, un attento trattamento del fondo quando le esposizioni muografiche devono sondare oggetti di grandi dimensioni (> 500 m di roccia). Gli effetti strumentali e il rumore di fondo (particelle ionizzanti) aggiungono falsi conteggi (anche dell'ordine di 10 tracce/cm²) rendendo difficili da rilevare i pochissimi muoni che attraversano l'oggetto, influenzando le statistiche con un eccesso di muoni, che porta a sottostimare la densità media del *target*.

La tecnica alla “ASTRI”, di nuova concezione, si basa sulla rivelazione e localizzazione spaziale dei muoni nel *target* attraverso la luce Cherenkov emessa dai muoni lungo il loro percorso. La rivelazione dei muoni con questa tecnica è limitata alle notti ma con un rumore di fondo praticamente nullo. L'effetto Cherenkov è un effetto a soglia che implica che un muone in atmosfera può produrre luce Cherenkov se la sua energia cinetica è superiore a 4,5 GeV. Questo è di particolare importanza per la muografia “alla ASTRI”. Infatti, la sensibilità di ASTRI per muoni e particelle cariche è intorno ai 10 GeV, e ciò implica che tutto quello che è inferiore a questa energia non viene rivelato e quindi non può esservi contaminazione del flusso rivelato di muoni da parte di altre particelle cariche o di muoni a più basse energie. Per i muoni incidenti sul telescopio una prima selezione si ottiene dallo stesso effetto soglia Cherenkov, mentre per le altre particelle cariche la selezione è data dalla sensibilità del telescopio. Questa importante differenza con le altre tecniche è illustrata nei grafici

prodotti con dettagliate simulazioni GEANT (GEometry AND Tracing) e Monte Carlo (FIG. 5). GEANT è uno strumento software complesso per la simulazione del passaggio di particelle attraverso la materia con l'ausilio di metodi computazionali basati sul campionamento casuale Monte Carlo.

In che cosa consiste il muon-imaging dei vulcani

In ambito vulcanologico, l'imaging muonico è di grande interesse. Infatti, i modelli che si usano per simulare le dinamiche del magma e del gas nella parte superficiale del sistema di alimentazione richiedono informazioni sulle caratteristiche geometriche dei condotti e delle zone di accumulo a bassa profondità. La conoscenza dettagliata della struttura superficiale di un vulcano è quindi un elemento chiave per fare previsioni sul suo stato di attività e per mitigare il rischio legato al verificarsi di eventi parossistici. Un altro aspetto riguarda la stabilità dei coni vulcanici. L'accumulo del materiale piroclastico emesso durante eventi eruttivi implica la rapida crescita di crateri i cui fianchi possono essere caratterizzati da una marcata instabilità. È quindi importante ottenere informazioni sulla struttura interna dei coni piroclastici che potrebbero essere interessati da fenomeni di collasso (possibile presenza e distribuzione al loro interno di vuoti, fratture, zone ad alta porosità ecc.) e sulle condizioni che possono innescare o aggravare le condizioni di instabilità. Le tecniche di *imaging* geofisico più comunemente utilizzate (basate su dati sismici, gravimetrici e geoelettrici) risentono di ambiguità intrinseche, possono richiedere l'esecuzione di molte misure in aree attive (quindi a rischio) e, nella maggior parte dei casi, non permettono di ottenere una risoluzione spaziale adeguata. D'altro canto, l'imaging muonico alla ASTRI fornisce informazioni sulla struttura interna del vulcano con adeguata risoluzione spaziale (da uno fino a poche decine di metri) e senza implicare un serio rischio per il personale coinvolto nelle operazioni sul campo, essendo solamente necessario installare il sistema di rilevazione (telescopio) nella zona attiva, mentre i dati vengono acquisiti successivamente in maniera autonoma.

Telescopi basati sulla tecnica di rivelazione della luce Cherenkov prodotta dai muoni non sono mai stati utilizzati per radiografie di strutture geologiche. La tecnica di rivelazione attraverso la luce emessa dai muoni è, comunque, ben nota negli esperimenti di astronomia gamma al TeV, dove i

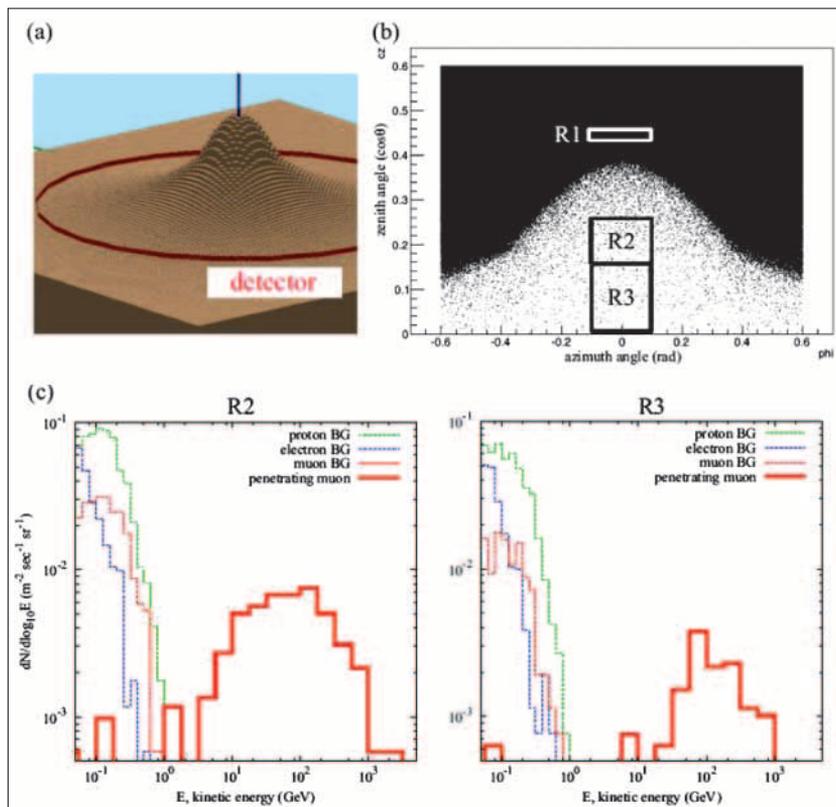


FIG. 5. (a) Montagna virtuale e rivelatore costruiti nello spazio computazionale con GEANT4. (b) Distribuzione angolare di particelle che arrivano al rivelatore virtuale che mostra tre regioni angolari R1, R2 e R3 definite per l'analisi quantitativa. (c) Numero di istogrammi di particelle che arrivano al rivelatore virtuale. L'energia delle distribuzioni dei muoni penetranti e le particelle di fondo (BG) sono disegnate con linee continue e linee tratteggiate, rispettivamente. (R. NISHIYAMA *et al.*, «Geophysical Journal International», 206, 2016, pp. 1039-1050)

muoni vengono adoperati per la calibrazione delle fotocamere.

Un telescopio Cherenkov rivela il breve lampo di luce (qualche ns) creato dalle particelle cariche. Soltanto quando un muone arriva sulla parte riflettente dello specchio o nelle sue immediate vicinanze, la luce Cherenkov emessa lungo la parte finale del suo percorso (dai 100 ai 300 metri) viene convogliata dall'ottica sul piano focale dello strumento, formando un anello circolare di luce facilmente distinguibile (FIG. 6). Un'analisi geometrica relativamente semplice dell'anello permette di ricostruire i parametri fisici del muone, cioè la sua energia e la direzione di arrivo.

Un vantaggio offerto dall'utilizzo di sistemi Cherenkov per *imaging* muonico consiste nell'assenza quasi totale di coincidenze fortuite, ovvero di rumore, dato che i muoni vengono rivelati attraverso i fotoni che puntano verso l'ottica del telescopio (segnale direzionale ed altamente collimato), condizione che elimina anche il problema del *back-flux*. Inoltre, il telescopio basato sulla tecnica di rivelazione della luce Cherenkov consente di stimare, direttamente nel sito di installazione, lo spettro in energia dei muoni incidenti, necessario per ricavare l'assorbimento all'interno del *target*. Non è quindi necessario utilizzare modelli teorici, basati su calcoli analitici o simulazioni numeriche, che, se non sono abbastanza accurati, possono aumentare il level-

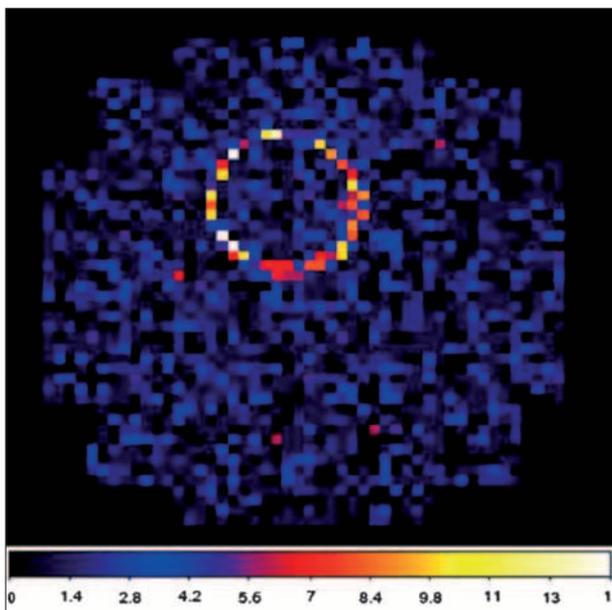


FIG. 6. Immagine dell'anello Cherenkov simulata.

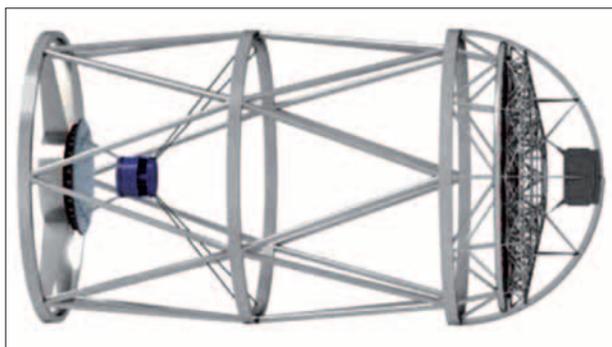


FIG. 8. Rappresentazione schematica del telescopio Cherenkov nelle sue parti principali: specchio primario (destra), camera (centro), specchio secondario (sinistra). Il telescopio Cherenkov nella configurazione proposta non necessita di un sistema di puntamento accurato.

lo di incertezza sulla stima della distribuzione delle densità all'interno del vulcano stesso.

Simulazioni Monte Carlo preliminari, eseguite su un modello di struttura vulcano-like, confermano le potenzialità del metodo proposto che garantisce un'elevata efficienza ed accuratezza nella misura del flusso muonico (FIG. 7).

Possibili sviluppi futuri di questo tipo di ricerche

L'uso di rivelatori Cherenkov per effettuare radiografie muoniche in ambito vulcanologico è del tutto inedito e consentirà un'importante avanzamento di questa metodologia, dato che, rispetto ai comuni

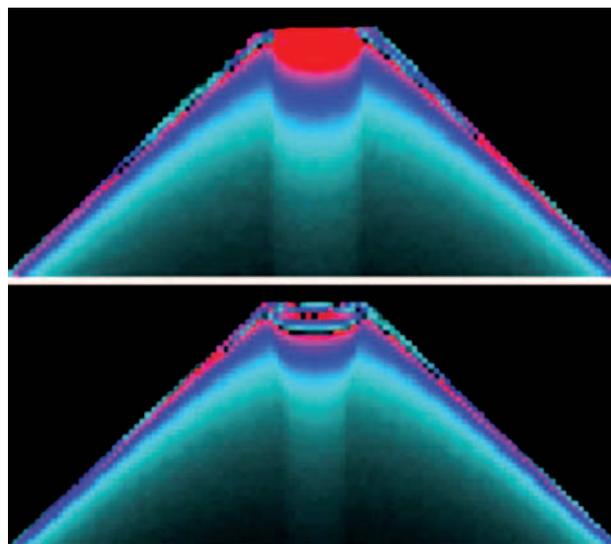


FIG. 7. Immagini simulate dell'interno di una struttura vulcanica in cui sono visibili i profili del condotto rispettivamente di 100 e 50 metri di raggio.

sistemi a scintillazione, sarà possibile migliorare drasticamente il rapporto tra segnale e rumore. Il *know-how* che verrà sviluppato permetterà di integrare le soluzioni adottate per consentire l'uso di sistemi Cherenkov in ambito vulcanologico, per ottenere radiografie ad alta risoluzione spaziale di strutture vulcaniche attive. I campi di applicabilità del sistema di rivelazione e del metodo sono molteplici. Nel telescopio Cherenkov (FIG. 8), se è richiesta una risoluzione angolare più spinta, la fotocamera può essere modificata aumentando il numero di pixel del piano focale. La modularità dell'elettronica permette di operare in tal senso, senza penalizzare le prestazioni. Uno sviluppo futuro per rendere il rivelatore Cherenkov ancora più leggero potrebbe consistere nell'utilizzo di lenti di Fresnel in materiale plastico. In funzione delle applicazioni, si possono pensare configurazioni della struttura meccanica di supporto diverse e adatte alle esigenze logistico-osservative per eseguire prospezioni nel campo dell'ingegneria civile, archeologia, vulcanologia e tettonica e dovunque sia necessaria un'ispezione radiografica e/o tomografica non invasiva di strutture anche di dimensioni considerevoli. Il metodo proposto, con le dovute ottimizzazioni e ingegnerizzazioni, è potenzialmente adatto per la creazione di *start-up* di sicuro interesse per le industrie operanti nei campi di applicazione. Ci sono quindi i presupposti per lo sviluppo di una tecnica innovativa per la radiografia muonica applicata ai vulcani sfruttando il *know-how* tecnologico e l'esperienza scientifica del personale INAF impegnato nella realizzazione del telescopio ASTRI-HORN.

Oswaldo Catalano è dirigente di ricerca presso l'Istituto INAF di Astrofisica Spaziale e Fisica Cosmica di Palermo (IASF-Palermo) di cui è stato anche direttore. La sua attività di ricerca si concentra sulla fisica delle alte energie con particolare interesse ai raggi cosmici, settore in cui ha coordinato esperimenti da terra e dallo spazio. È attualmente *co-principal investigator* del progetto ASTRI nell'ambito dell'Osservatorio Internazionale CTA. È coautore di oltre 150 articoli pubblicati in riviste internazionali.

Dal telescopio a tasselli di Horn d'Arturo al telescopio 'ASTRI-HORN': tecnologie d'avanguardia e coinvolgimento industriale per la strumentazione astronomica

Giovanni Pareschi

INAF - Osservatorio Astronomico di Brera
Principal Investigator Progetto ASTRI/CTA

IL telescopio ASTRI, dedicato a Guido Horn d'Arturo, è stato sviluppato da INAF (Istituto Nazionale di Astrofisica) con sostegno da parte del MIUR come prototipo nell'ambito delle attività di ricerca e sviluppo per il Cherenkov Telescope Array Observatory (CTAO), il grande osservatorio per raggi gamma da terra, in corso di realizzazione con un sito nell'emisfero nord (a La Palma, nelle isole Canarie) e uno nell'emisfero sud (nel nord del Cile, nei pressi di Paranal). In particolare, il telescopio ASTRI-HORN rappresenta il prototipo per il gruppo (array) di telescopi "piccoli" di CTAO, i cosiddetti SST (*Small Size Telescope*, con diametro 4 metri). L'array SST sarà basato su un numero molto grande di telescopi (si prevede di installare 70 unità) e la loro realizzazione rappresenta una vera e propria sfida tecnologica.

Si ricorda che Guido Horn d'Arturo è riuscito, dopo diversi decenni dal concepimento e dal prototipo (purtroppo turbati dalle vicende belliche e dalle leggi razziali che lo hanno direttamente colpito), a realizzare il telescopio a tasselli da 1,8 m nel secondo dopoguerra presso la Specola di Bologna, grazie all'introduzione di una serie di sviluppi tecnologici e soluzioni avanzate. In particolare, Horn e i suoi collaboratori hanno realizzato i segmenti riflettenti con nuove (per l'epoca) tecniche di super-pulitura e l'uso di attuatori per ottimizzare la superficie riflettente dello specchio primario.

Il telescopio ASTRI-HORN rappresenta il più grande telescopio su suolo italiano e monta uno specchio primario a tasselli. Anche per ASTRI-HORN sono state introdotte una serie di soluzioni innovative per realizzare la struttura del telescopio, gli specchi e la camera di rivelazione, pensando a priori a ottimizzare il ritorno scientifico e a utilizzare un approccio che permetta una produzione industriale, poiché il telescopio possa essere riprodotto in decine di unità per implementare l'array SST di CTAO. D'altra parte il progetto di telescopio è di per sé innovativo, essendo basato sull'idea del grande astrofisico tedesco Karl Schwarzschild (1873-1916), poi perfezionata dall'astronomo e ingegnere opto-meccanico francese André Couder (1897-1979) per ottenere un sistema ottico "aplanatico" (ovvero con ri-

soluzione angolare costante all'interno del campo di vista). Finora un simile telescopio non era stato mai realizzato prima di ASTRI-HORN.

Inoltre, ASTRI-HORN rappresenta anche il primo esempio di telescopio a due specchi usato per astronomia gamma con tecnica Cherenkov (finora sono stati utilizzati solamente telescopi a singolo specchio). In questo contesto, una camera ad hoc è stata sviluppata da INAF basata su sensori innovativi al silicio (*Silicon photomultipliers*). Per questo scopo, INAF ha lavorato a stretto contatto con ditte private, soprattutto italiane, seguendo il solco della tradizione dell'astronomia italiana legata ad una strettissima collaborazione con l'industria privata. Oltre all'importanza scientifica e al successo degli strumenti prodotti, questo tipo di approccio ha determinato importanti benefici in termini di sviluppo economico, ha stimolato l'innovazione tecnologica, con *spin-off* anche in settori diversi da quelli astronomici (ad esempio in ambito biomedicale o micro-elettronico), portando anche la nostra comunità tecnico-scientifica a ricoprire un ruolo di avanguardia a livello internazionale. Come esempi di progetti di grande successo, alcuni svolti anche con il supporto dell'Agenzia Spaziale Italiana, basati su uno stretto connubio con l'industria, vanno senz'altro ricordati il satellite per raggi X Beppo-SAX (e i contributi dati ai satelliti XMM e Swift), i satelliti per raggi gamma INTEGRAL e AGILE e, per quanto riguarda i progetti da terra, lo sviluppo di tecnologie di ottiche adattive in uso ai telescopi LBT e VLT.

Qui di seguito si darà una breve descrizione dei vari sotto-sistemi implementati nel telescopio ASTRI-HORN, spiegando brevemente gli aspetti innovativi implementati grazie alle diverse industrie coinvolte.

Struttura del telescopio ASTRI-HORN

La struttura del telescopio ASTRI-HORN è stata concepita per poter soddisfare i requisiti scientifici e le specifiche di CTA (tra cui alcuni parametri con impatto molto pesante, come l'esigenza di resistere e

rimanere operativi anche in caso di terremoto intenso come aspettato in Cile), pur mantenendo caratteristiche di affidabilità, costi contenuti, manutenzione preventiva di facile attuazione. Inoltre, è stato molto importante affidarsi a tecnologie e componenti elettro-meccanici ad alta affidabilità e precisione ma per cui fosse già stata sviluppata una pregressa esperienza (ad esempio già utilizzati in precedenti progetti ESO come ALMA e VLT) o altri progetti internazionali come LBT, avendo instaurato specificamente una collaborazione con INAF sia per lo sviluppo di *know-how* che durante la fase implementativa.

Il progetto del prototipo SST è avvenuto in due fasi, una prima che ha coinvolto le ditte Tomelleri srl di Verona e BCV Progetti di Milano per lo studio di fase A. Successivamente, il progetto è stato affinato e reso esecutivo dal consorzio GEC (ditte Galbiati Group di Lecco e EIE Group di Mestre). Il consorzio di impresa GEC ha anche curato la fase realizzativa del prototipo, mentre BCV Progetti ha curato la realizzazione delle fondazioni. Un'importante collaborazione con gli Enti locali nell'area Etna (Comuni di Nicolosi e Ragalna, Stazione presso Nicolosi del Corpo Forestale dello Stato, Parco Regionale dell'Etna) ha permesso una rapida installazione del telescopio, inaugurato nel 2014. Il prototipo ha permesso di studiare meglio il sistema in vista di un perfezionamento del *design* definitivo per i telescopi di CTAO-SST.

La sua struttura può essere suddivisa in due elementi principali: il basamento e la forcilla azimut. Il basamento, grazie alla sua forma conica, consente di collegare adeguatamente la fondazione al cuscinetto di azimut usato per le rotazioni del telescopio, garantendo il miglior compromesso tra peso e prestazioni strutturali; fornisce anche l'accesso, tramite una porta specifica, ai delicati sottosistemi contenuti all'interno del telescopio. La forcilla azimut è uno degli elementi strutturali più importanti ed è anche fondamentale per fornire supporto alla maggior parte degli altri sottosistemi.

La struttura di supporto per l'ottica (costituita dallo specchio primario e da quello secondario) ruota interamente attorno all'asse di elevazione. Il concetto adottato per il progetto della struttura ha origine dall'idea che tutti gli elementi ottici siano sufficientemente stabili da consentire osservazioni entro i requisiti richiesti. In particolare, poiché il *lay-out* ottico di Schwarzschild-Couder include uno specchio primario e uno secondario per convogliare il fascio ottico nella telecamera Cherenkov, le interfacce per ciascuno di questi elementi devono essere stabili in ogni configurazione dell'angolo di elevazione.

Il risultato è una struttura molto robusta, che permette una notevole stabilità di puntamento (accuratezza ricostruita < 7 arcosecondi), un rapido riposizionamento (entro il tempo di un minuto tutte le posizioni in cielo sono raggiungibili, qualsiasi sia la posizione precedente del telescopio). Inoltre, l'al-

ta rigidità permette una notevole affidabilità e, ad esempio, gli specchi, una volta allineati con gli attuatori, rimangono nella posizione ottimale per mesi senza bisogno di interventi.

Specchio primario

Lo specchio primario di ASTRI-HORN è costituito da 18 tasselli pseudo-esagonali – simili alla configurazione dello specchio tassellato del primo telescopio di Horn d'Arturo – con dimensione lineare massima di 80 cm. Questi segmenti sono suddivisi in tre corone, ciascuna di 6 tasselli identici, che permettono di ottenere una superficie altamente asferica di circa 4 m di diametro.

Gli specchi hanno una struttura a sandwich, con una parte centrale (*core*) a nido d'ape in alluminio che separa due fogli di vetro (la parte esterna di uno dei due fogli rappresenta la superficie riflettente). Il peso degli specchi è molto ridotto (appena 10 kg/m²) rendendo gli specchi particolarmente maneggiabili, pur mantenendo una risoluzione angolare di alcuni minuti d'arco (cioè entro i requisiti dettati da CTAO). La tecnica realizzativa, basata sulla replica "a freddo" della superficie dello specchio partendo da un mandrino convesso, è stata messa a punto nell'ambito di uno sviluppo congiunto tra INAF e la ditta Media Lario di Lecco, un partner abituale di INAF e ASI, con cui tanti progetti scientifici sono stati realizzati a partire dagli specchi radenti per i satelliti per raggi X Beppo-SAX, XMM e Swift, fino ai pannelli per le antenne millimetriche di ALMA. Le coperture riflettenti (bi-strati alluminio + quarzo a scopo protettivo) sono state applicate tramite evaporazione per effetto Joule dalla ditta ZAOT di Milano, pure molte volte coinvolta nel passato in progetti INAF (per esempio per la realizzazione dello specchio bi-rifrangente utilizzato dal telescopio robotico REM).

Specchio Secondario

Lo specchio secondario, di circa due metri di diametro, è monolitico e altamente asferico. Il profilo è stato quindi ottenuto tramite formatura a caldo dalla ditta tedesca Flabeg, mentre l'applicazione del *coating* riflettente e delle strutture di sostegno sono stati effettuati da ZAOT e Media Lario rispettivamente.

Camera ASTRI

Anche la camera ASTRI presenta una serie di aspetti innovativi. Grazie al disegno ottico del telescopio, è molto compatta e, in particolare, il piano focale curvo è ricoperto di piccoli sensori in silicio (pixel di 7×7 mm), molto veloci, di tipo SiPM (*Silicon photomultiplier*), una nuova tecnologia che sostituirà, anche in applicazioni biomedicali, quella usata sino ad

ora dei fotomoltiplicatori. Inoltre, la camera utilizza dispositivi elettronici di *front-end* di ultima generazione, tra cui l'ASIC Citiroc sviluppato dalla ditta francese Weeroc in collaborazione con INAF, che mantiene una parte del *know-how*.

La camera è molto compatta: ha un'apertura di poco più di mezzo metro e pesa appena 70 kg, da confrontarsi con le camere molto più grandi massicce – fino a un paio di tonnellate – delle normali camere con fotomoltiplicatori per telescopi a specchio singolo. Inoltre, è stata specificamente studiata e progettata per adattarsi al telescopio a doppio specchio ASTRI, coprendo un ampio campo di vista, pari a circa 100 gradi quadrati, cioè quasi 400 volte la superficie apparente della Luna piena. I segnali sono letti ad altissima velocità, alcune decine di miliardesimi di secondo, al fine di ricostruire la struttura e seguire l'evoluzione rapidissima degli sciami di particelle che emettono luce per effetto Cherenkov.

La camera è stata sviluppata interamente da INAF, soprattutto nelle Strutture di Ricerca di Palermo e Catania, ma con il contributo di una serie di aziende italiane tra cui Novasis Ingegneria di Limbiate (Milano), che ha progettato e prodotto il sistema elettronico della Camera ASTRI, denominato *Voltage Distribution Box* (VDB), cioè il dispositivo di controllo che alimenta e supervisiona tutti i sottosistemi del piano focale della camera, e Mindway Design di Settimo Milanese che ha contribuito allo sviluppo e implementazione delle schede elettroniche

di *front-end* e *back-end*. Hamamatsu Italia ha fornito i sensori SiPM mentre Thermacore Italia ha sviluppato il sistema di controllo termico dei sensori.

Referenze bibliografiche

- CANESTRARI R., SIRONI G., *An overview on mirrors for Cherenkov telescopes manufactured by glass cold-shaping technology*, «Proceedings of the SPIE», 9603, id. 960302, 2015.
- CATALANO O. et al., *The ASTRI camera for the Cherenkov Telescope Array*, «Proceedings of the SPIE», 10702, id. 1070237, 2018.
- GIRO E. et al., *First optical validation of a Schwarzschild Couder telescope: the ASTRI SST-2M Cherenkov telescope*, «Astronomy & Astrophysics», 608, A86, 2017.
- MARCHIORI G. et al., *ASTRI SST-2M: the design evolution from the prototype to the array telescope*, «Proceedings of the SPIE», 10700, id. 107005W, 2018.
- PARESCHI G., *The ASTRI SST-2M prototype and mini-array for the Cherenkov Telescope Array (CTA)*, «Proceedings of the SPIE», 9906, id. 99065T, 2016.
- SIRONI G., *Aplanatic telescopes based on Schwarzschild optical configuration: from grazing incidence Wolter-like x-ray optics to Cherenkov two-mirror normal incidence telescopes*, «Proceedings of the SPIE», 10399, id. 1039903, 2017.
- SCUDERI S., *From the Etna volcano to the Chilean Andes: ASTRI end-to-end telescopes for the Cherenkov Telescope Array*, «Proceedings of the SPIE», 10700, id. 107005Z, 2018.

Giovanni Pareschi si è laureato in Astronomia a Bologna nel 1992 e dottorato in Fisica a Ferrara. Dopo un periodo post-dottorato come *ESA fellow* presso il Danish Space Research Center, lavora dal 1998 presso INAF - Osservatorio Astronomico di Brera (Istituto di cui è stato direttore dal 2009 al 2014). Si occupa soprattutto di ottica e strumentazione per telescopi per raggi X da terra e dallo spazio. Attualmente coordina il progetto ASTRI/CTA di astronomia gamma da terra ed è *co-chair* del Telescope Working Group della missione per raggi X ATHENA.

L'avventura di Guido Horn d'Arturo a fumetti

Lucia Zarantonello¹ · Roberto Rampazzo² · Valeria Zanini²

¹ Liceo Statale 'A. Veronese' - Montebelluna (tv)

² INAF - Osservatorio Astronomico di Padova

I FUMETTI hanno assunto un nuovo ruolo. Nati come forma d'intrattenimento leggero, raccontando storie e avventure di pura fantasia, sempre più spesso oggi illustrano eventi storici realmente accaduti. È ben nota la *Storia d'Italia*, del giornalista e scrittore Enzo Biagi, pubblicata dal 1978 al 2004 da Mondadori in diverse edizioni. Più recentemente, i fumetti introducono temi scientifici,¹ tra cui spiccano anche le storie di alcuni scienziati. Citiamo, a titolo di esempio, le storie di *Nikola Tesla*,² realizzata da Sergio Rossi e Giovanni Scarduelli, e quella di *Marie Curie*,³ disegnata da Alice Milani, pubblicate dalla casa editrice BeccoGiallo.

Prendendo spunto da queste esperienze, con l'intento di diffondere presso un vasto pubblico conoscenze fisiche, astronomiche e storiche rigorose, abbiamo progettato di realizzare una serie di fumetti dedicati alla vita di astronomi italiani che hanno segnato la storia dell'astronomia, nel nostro Paese e all'estero. In questo contesto, abbiamo identificato come emblematica la figura di Guido Horn d'Arturo. La sua figura di astronomo e di uomo racchiude, infatti, tratti straordinari. Il suo coraggio e capacità d'azione, la sua tenacia, oltre ad una mente assolutamente brillante, ne fanno quasi naturalmente un eroe per una storia a fumetti.

Di origini ebraiche, Guido Horn nasce nel 1879 a Trieste, al tempo ancora parte dell'Impero Austro-Ungarico. Nonostante il suo percorso formativo si svolga nelle università austriache di Graz e Vienna, la sua giovinezza risente del cosiddetto "irredentismo" italiano. L'Italia, appena riunificata, infatti, ha dal 1870 Roma come nuova capitale del Regno governato dalla dinastia sabauda. Allo scoppio della prima guerra mondiale (1915-1918) Horn si arruola come volontario nell'Esercito italiano prestando servizio come tenente d'artiglieria. È in quegli anni che sostituisce il suo cognome con quello di d'Arturo – omaggio sia al nome del padre sia a quello dell'omonima stella – per evitare il trattamento da disertore in caso di cattura da parte degli Austriaci. Cognome che conservò, affiancandolo definitivamente a "Horn" e divenendo così Guido Horn d'Arturo, a guerra finita quando, congedato con la Croce di Guerra, ottenne la cittadinanza italiana.

Nel 1921, nominato direttore dell'Osservatorio Astronomico di Bologna, rilancia questa istituzione dopo un lungo periodo di decadenza. Successivamente organizza una spedizione scientifica nei nuovi territori italiani nel Corno d'Africa, in quello che era chiamato Oltregiuba, partecipando pienamente al fervente spirito di crescita presente nel Paese. Nel 1931, fonda la rivista di divulgazione astronomica «Coelum», che vuole di alto livello, sull'esempio di riviste straniere come la francese «Revue d'Astronomie populaire» di Camille Flammarion o l'americana «Popular Astronomy». «Coelum» uscì regolarmente fino al 1986, anche dopo la morte di Horn d'Arturo.

A causa delle sue origini ebraiche, Horn d'Arturo viene espulso dall'Università di Bologna a seguito della promulgazione delle leggi razziali nel 1938, proprio nel momento in cui stava dando avvio al suo progetto di telescopio a tasselli. Durante gli anni della guerra civile italiana e nel pieno della seconda guerra mondiale, dal 1943 al 1945, riuscì fortunatamente a sfuggire alla cattura delle truppe naziste e alla deportazione. Finalmente, nella nuova Italia democratica, Guido Horn d'Arturo, reintegrato nel suo ruolo di Professore Ordinario e Direttore della Specola di Bologna, riprende con vigore i suoi studi realizzando varie versioni del telescopio a tasselli. Le campagne osservative produrranno più di 17.000 lastre fotografiche e i risultati saranno pubblicati in vari articoli. La versione originale del telescopio a tasselli del 1952, da 1,8 m di diametro complessivi, è ancor oggi conservata al Museo della Specola di Bologna.

Biografie dettagliate di Guido Horn d'Arturo sono disponibili in Foderà Serio e Randazzo (1997), Bònoli (2003). Recentemente la tesi di laurea di Valeria Picazzi (2016), svolta sotto la supervisione di Fabrizio Bònoli dell'Università di Bologna, ha approfondito in modo specifico il lavoro svolto da Horn d'Arturo nella progettazione, realizzazione e successivo uso astronomico del telescopio a tasselli. La tesi analizza i diversi tentativi fatti per costruire il nuovo strumento, sia le diverse versioni che si sono susseguite nel tempo con dimensioni sempre crescenti, sia i risultati delle prime osservazioni compiute alla fine degli anni Quaranta, subito dopo la fine della seconda guerra mondiale. Questi studi sono stati il nostro riferimento per la realizzazione della sceneggiatura e dei primi bozzetti per il fumetto dedicato a Horn d'Arturo.

¹ Vedi ad esempio PONYs (Physics & Optics Naples Young Students): <http://home.infn.it/it/news-3/news-uffcom/1851-la-fisica-si-fa-fumetto>.

² www.beccogiallo.it/prodotto/nikola-tesla/.

³ www.beccogiallo.it/prodotto/marie-curie/.

La realizzazione del fumetto è ancora in corso: alcune parti, come lo *storyboard* e la sceneggiatura del viaggio in Oltregiuba in Somalia per studiare un'eclissi solare, sono ben sviluppate, mentre altre scene sono ancora alla fase preparatoria. Allo scopo di fornire una presentazione generale del lavoro abbiamo prodotto cinque tavole a colori autoconclusive, che illustrano sinteticamente gli eventi più importanti della vita di Horn d'Arturo e che al contempo rendono l'idea di come si presenterà l'intera opera una volta completata.

Studi preparatori del fumetto

Storyboard e sceneggiatura

Lo *storyboard* del fumetto che abbiamo progettato è suddiviso in quattro scene riguardanti la vita di Guido Horn d'Arturo e un'ultima parte dedicata ai telescopi progettati e realizzati oggi con tecnologia *multi-mirror*. Quest'ultima parte vuole trasmettere il senso del nostro progetto che vede la storia come punto di partenza degli sviluppi tecnologici e scientifici presenti e futuri.

La prima delle quattro scene biografiche è incentrata sul periodo giovanile della vita di Guido Horn d'Arturo, dalla sua formazione accademica nelle università austriache fino al suo arruolamento e alla vita militare trascorsa nel teatro delle operazioni italiane nella prima guerra mondiale. La seconda scena è dedicata alla missione per l'osservazione di un'eclisse solare nella colonia Italiana di Oltregiuba, mentre la terza e la quarta riguardano le vicende del periodo bolognese di Horn, durante il primo e il secondo dopoguerra rispettivamente, e quindi la rinascita dell'Osservatorio di Bologna, la fondazione della rivista *Coelum*, lo sviluppo della sede osservativa di Loiano e gli studi dedicati al telescopio a tasselli.

Per mostrare un esempio del nostro lavoro ci soffermeremo sulla seconda scena (FIG. 5). In questa viene rappresentata la spedizione organizzata dall'astronomo triestino per osservare l'eclissi solare del 26 gennaio 1926, visibile dalla regione somala dell'Oltregiuba. Questo territorio era appena divenuto una colonia italiana a seguito del protocollo italo-britannico del 15 luglio 1924 e della successiva annessione alla Somalia italiana, l'anno successivo. Horn era interessato soprattutto all'osservazione, durante l'eclisse, del fenomeno delle cosiddette "ombre volanti", sottili bande ondulate chiare e scure causate dalla turbolenza dell'atmosfera terrestre, che appaiono su superfici piane al suolo, immediatamente prima e subito dopo la totalità dell'eclisse. La spedizione, finanziata dal governo italiano, vide la partecipazione dell'astronomo Luigi Taffara (1881-1961), del senatore Guglielmo Mengarini (1856-1927) e del sismologo e meteorologo Luigi Palazzo (1861-1933), oltre che dello stesso Horn d'Arturo. Nel 1926, Taffara era assistente astronomo

presso l'Osservatorio Astronomico «Collurania» di Teramo ed era un esperto nelle osservazioni delle eclissi solari. In Somalia egli ottenne lo spettro della corona del Sole per mezzo di una camera prismatica, oltre a diverse foto dell'eclisse. Mengarini, professore d'ingegneria elettrica, aveva inventato e progettato la "quadruplica camera", una speciale fotocamera già impiegata durante alcune eclissi precedenti e che anche in questa occasione egli utilizzò per ottenere fotografie a colori della totalità. Palazzo, invece, era il direttore dell'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica e aveva costruito le carte isodinamiche e isocline per l'Italia e le sue colonie. Durante la spedizione somala, egli allestì una stazione meteorologica *in situ* per proseguire la sua campagna di misure magnetiche iniziata nel 1909. Il Governatorato dell'Oltregiuba assegnò inoltre alla spedizione anche Eugenio Podestà, maresciallo maggiore dei Carabinieri, il motorista sergente maggiore Galasso e il radiotelegrafista caporal maggiore Monesi, oltre a un muratore e una trentina di nativi. Durante l'eclisse, Podestà affiancò Palazzo nelle osservazioni meteorologiche mentre Galasso supportò Horn d'Arturo nelle osservazioni delle "ombre volanti" (vedi HORN D'ARTURO, TAFFARA 1926; IANNIELLO 2009; ARGENTIERI 2014).

La FIG. 1 illustra alcuni degli schizzi delle vignette inerenti proprio questa missione. Riportiamo anche di seguito, a titolo di esempio, i corrispondenti dialoghi per questa tavola. Negli schizzi i protagonisti sono indicati con i seguenti acronimi: H = GUIDO HORN D'ARTURO, Pal = PALAZZO, TAFF = Taffara, G = GALASSO, PODESTÀ. Indichiamo con S la scena e con D il dialogo.

Vignetta 1

S: Particolare della mappa del campo.

D: «Io e Galasso alla Camera di Dietzler e al telaio delle Ombre Volanti»

Vignetta 2

S: Campo medio sul gruppo degli astronomi.

D: Taffara: «A me la camera di Cooke e quella prismatica».

Vignetta 3

S: Primo piano di Palazzo.

Vignetta 4

S: Campo lungo sulla parte delle tende e degli strumenti meteorologici. Senza persone.

D: Horn: «Ottimo. Quindi tu, Mengarini, sarai alla quadruplica camera di Mailhat».

Vignetta 5

S: Primo piano di Palazzo e Taffara; Horn di quinta.

D: Taffara: «Bene. Andiamo?».

Vignetta 6

S: Campo lungo sulla scorta tranquilla.

D: Galasso: «Horn, come pensi reagiranno?».

D: Horn: «Non possiamo saperlo, Galasso...».

Vignetta 7

S: Mezzo busto (sarebbe meglio piano americano) di Horn.

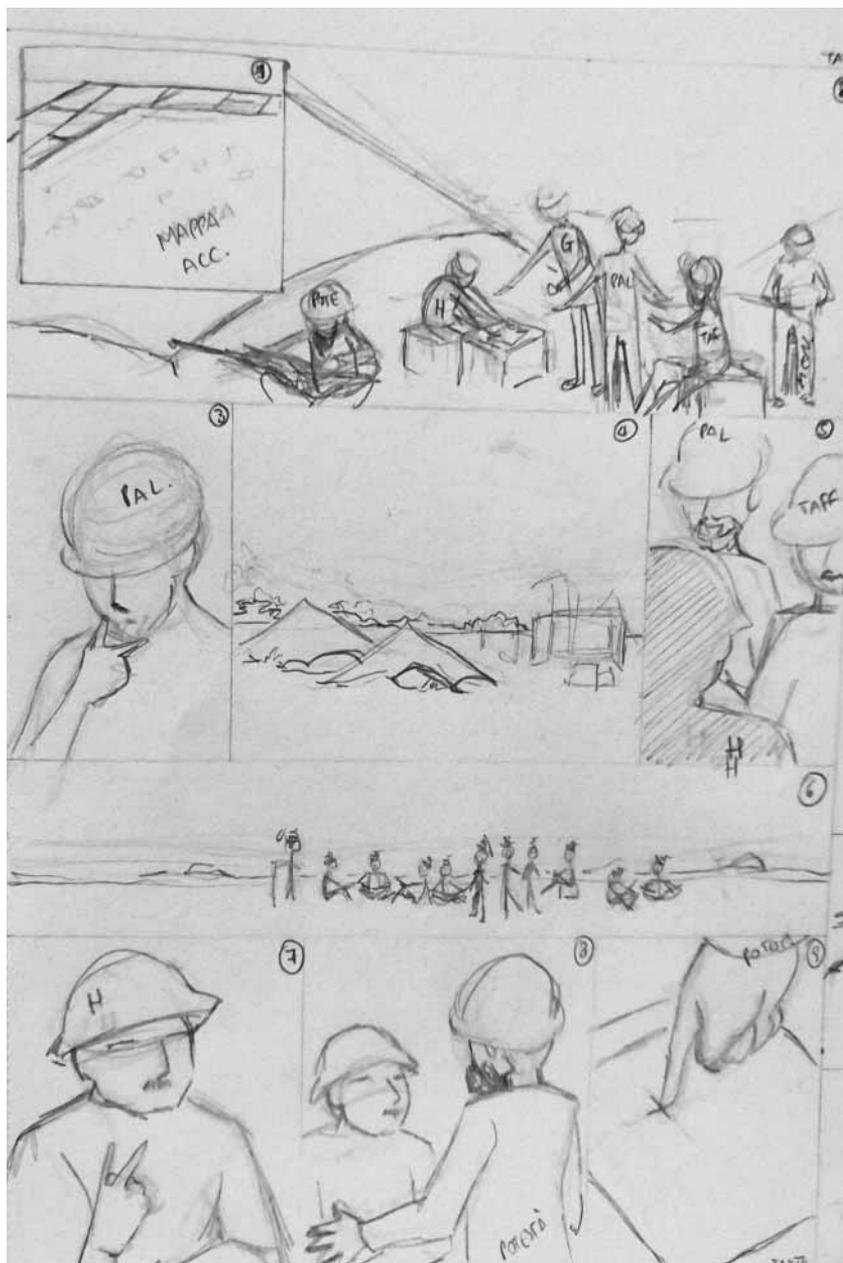


FIG. 1. TAVOLA III. Le vignette da 1 a 9 sono descritte nel testo. Molte di queste sono tratte da fotografie originali che documentano la missione.

D: Horn: «...per questo li abbiamo mandati quasi tutti alla spiaggia...».

Vignetta 8

S: Podestà a mezzo busto in primo piano, Horn in secondo piano.

D: Podestà: «E se ci dovessero essere problemi...».

Vignetta 9

S: Particolare del dito di Podestà che indica un punto sulla mappa.

D: Podestà: «... ricordate che dovrete riunirvi qui».

Lo studio del volto di Horn d'Arturo e la ricostruzione storica dell'ambiente

L'impegno che ci siamo dati è di realizzare un fumetto che sia il frutto di uno studio dettagliato sia della figura di Guido Horn d'Arturo che degli ambienti storici in cui egli operò. In questo modo, rite-

niamo, sia possibile contestualizzare e presentare correttamente la sua storia. L'altro aspetto riguarda lo studio dei risultati della sua ricerca scientifica. A tal fine, abbiamo utilizzato materiale estratto da diverse fonti, in particolare il sito web "Le Luci di Horn",⁴ che offre una ricca quantità d'informazioni sulla sua vita e i suoi studi. Di particolare interesse è la galleria fotografica, che offre un'ampia panoramica d'immagini sulla sua persona e sugli ambienti nei quali operò.

Abbiamo quindi dedicato un'attenzione particolare alla ricostruzione del volto di Guido Horn d'Arturo, visto da diverse prospettive e in diverse epoche. Esempi di questo studio sono mostrati in FIG. 2. La FIG. 3 mostra invece alcuni acquerelli relativi all'attrezzatura in dotazione alle truppe italiane durante la prima guerra mondiale. Sia il colore che la forma sono ripresi da originali: i caschi verdi di ordinanza erano normalmente utilizzati dalle truppe, mentre i caschi grigi 'Modello Farina' erano usati dalle truppe d'assalto durante le azioni d'attacco o per tranciare il filo spinato nemico. I gambali di pelle, riprodotti nella parte superiore della figura, erano usati dagli ufficiali. Una scena di un accampamento militare italiano, ispirata a immagini originali della prima guerra mondiale, è mostrata in FIG. 5, nella vignetta in alto a sinistra.

Le tavole per la mostra ASTRI

Non avendo ancora completato l'intero fumetto, abbiamo deciso di realizzare una serie di tavole dimostrative della potenzialità di questo progetto. Le tavole riprodotte nelle FIGG. 4, 5 e 6 illustrano alcune scene della vita di Guido Horn d'Arturo, secondo quanto previsto dallo storyboard descritto sopra. Un'ulteriore tavola (FIG. 7) presenta invece alcuni moderni telescopi che già utilizzano, o che useranno prossimamente, la tecnologia *multi-mirror*. Tra questi, il telescopio ASTRI (*Astrofisica con Specchi a Tecnologia Replicante Italiana*, nella vignetta in alto a destra), recentemente dedicato proprio a Guido Horn d'Arturo, che è il prototipo per la

⁴ <http://www.lelucidihorn.it/hex/guido-horn-d-arturo/>.

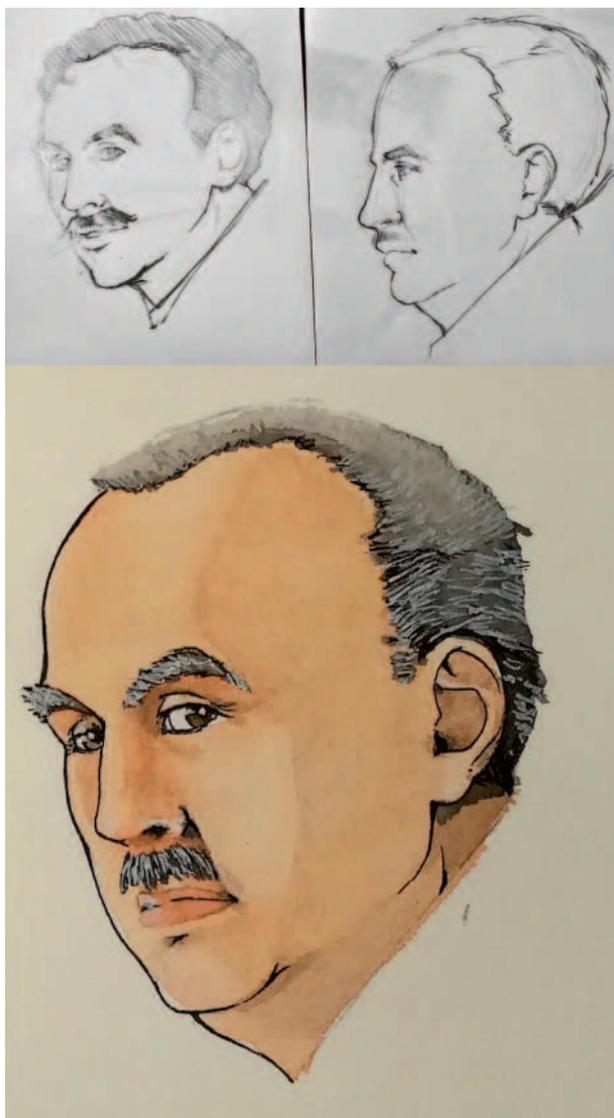


FIG. 2. Studio del volto di Guido Horn d'Arturo.

collaborazione INAF al progetto Cherenkov Telescope Array (CTA). In questa figura trovano inoltre spazio il telescopio spaziale che verrà lanciato a breve, *James Webb Space Telescope* (JWST), e il telescopio ESO in progettazione, *Extremely Large Telescope* (E-ELT); tutti progetti nei quali INAF è coinvolto, a diversi livelli. L'ultima vignetta di questa tavola mostra, infine, una serie di radiotelescopi: Guido Horn d'Arturo, infatti, aveva anche teorizzato l'uso degli specchi a tasselli in interferometria, pur non avendo mai messo in pratica tale idea (PICAZZI 2016). Abbiamo voluto sottolineare anche questa innovativa idea di Horn, perché INAF è profondamente coinvolta nel progetto radioastronomico *Square Kilometre Array* (SKA).

Conclusioni

Le quattro tavole prodotte, assieme a una tavola di presentazione e a una finale riassuntiva, sono state esposte per la prima volta al pubblico il 28 settembre 2018, a Padova, all'interno della prima sala del Mu-



FIG. 3. Studio di parti dell'attrezzatura in dotazione alle truppe italiane durante la prima guerra mondiale.

seo *La Specola* (sezione museale dell'Osservatorio Astronomico), durante la 'Notte dei Ricercatori'. Ci si proponeva in tal modo di sottolineare la stretta correlazione tra la ricerca storica e l'astronomia moderna e l'importanza che hanno entrambe nell'avvicinare le persone, in particolare i giovani, al mondo della ricerca. Durante questo evento abbiamo avuto l'opportunità di raccogliere direttamente le prime sensazioni e le opinioni provenienti da un pubblico variegato, costituito da giovani, da studenti dell'Università di Padova, compresi studenti Erasmus, da adulti, da famiglie e bambini. Tutti hanno dichiarato di aver molto apprezzato questa modalità di raccontare la vita di Guido Horn d'Arturo, che è stato percepito come un grande italiano, non solo come un grande astronomo. Le tavole sono poi state esposte anche a Catania, il 10 novembre 2018, in occasione delle celebrazioni per la dedica a Guido Horn d'Arturo del telescopio ASTRI, prototipo di CTA.

Attualmente, per poter completare il nostro progetto-fumetto, stiamo cercando un editore privato.

Ringraziamenti

Siamo grati al progetto ACDC (ASTRI-CTA Data Challenge) per essersi fatto carico della stampa delle tavole presentate alla dedica del prototipo ASTRI-CTA. Le tavole resteranno esposte permanentemente presso la sede osservativa di INAF-OACT a Serra La Nave.



FIG. 4. Questa tavola introduttiva ricorda gli studi di Guido Horn d'Arturo svolti nelle università austriache di Graz e Vienna. Il volto di Guido Horn d'Arturo è tratto dalle foto originali.

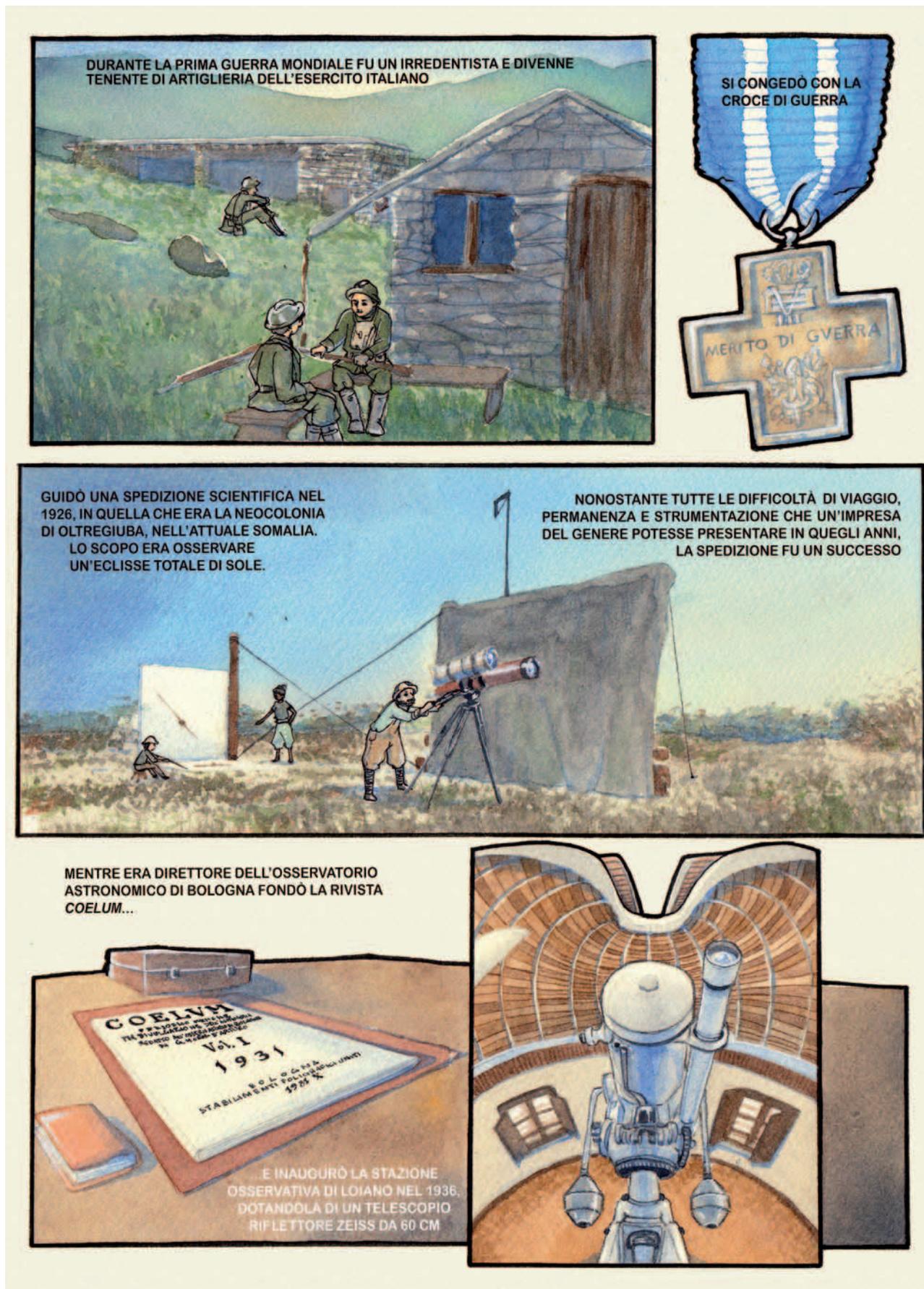


FIG. 5. Questa tavola riassume la partecipazione di Guido Horn d'Arturo alla prima guerra mondiale, la sua decorazione, la spedizione organizzata in Oltregiuba (Somalia), la sua attività come fondatore della rivista astronomica «Coelum» e l'inaugurazione del telescopio da 60 cm a Loiano.



Fig. 6. La tavola illustra uno dei momenti più difficili della vita di Guido Horn d'Arturo: la sua rimozione dalla carica di Direttore della Specola e dalla cattedra di Astronomia dell'Università di Bologna. La vignetta inferiore mostra il telescopio a tasselli, portato a compimento dopo il suo reintegro all'Osservatorio Astronomico Universitario di Bologna, alla fine della seconda guerra mondiale.

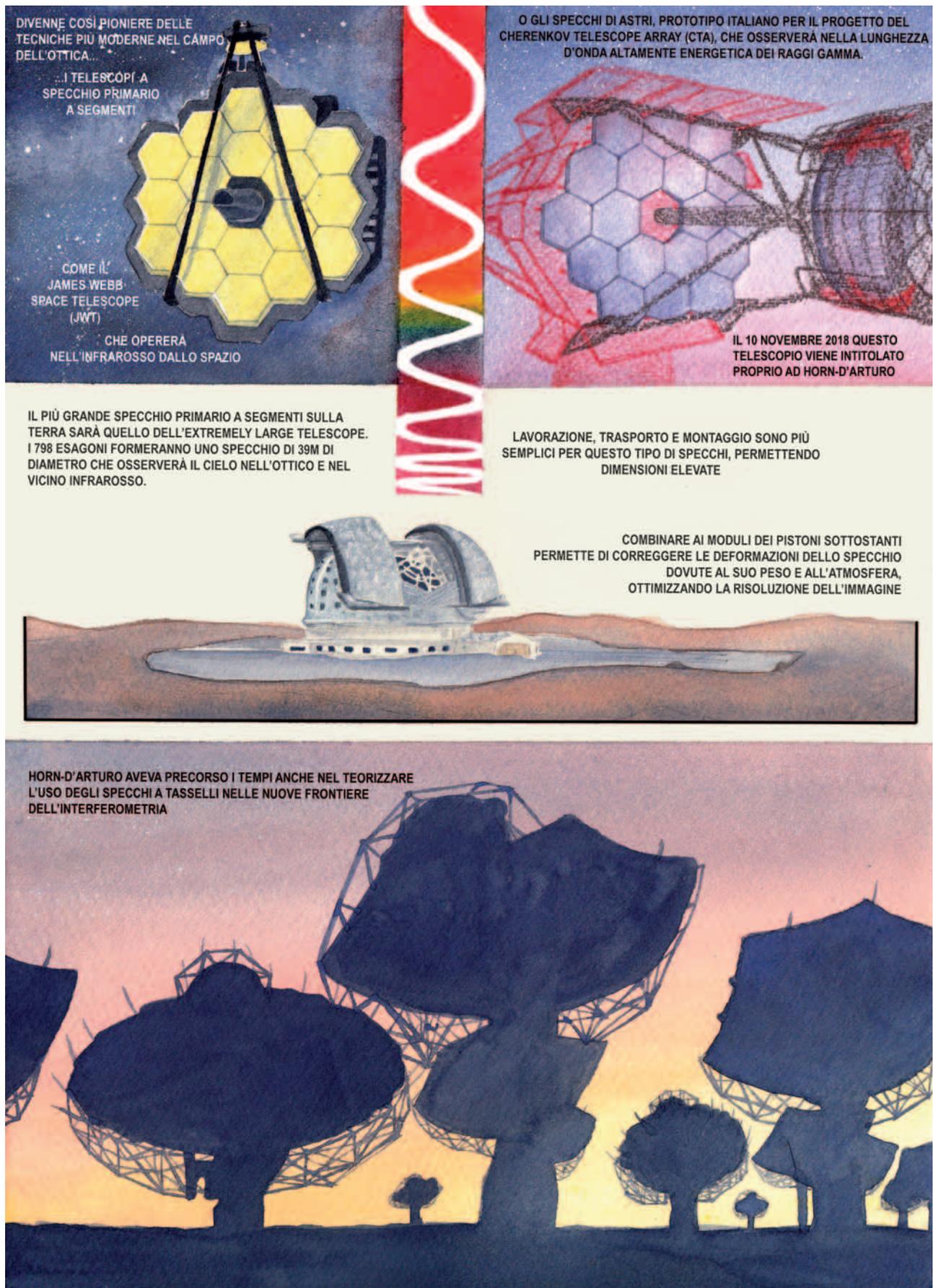


FIG. 7. Le vignette di questa tavola illustrano i telescopi esistenti (ASTRU) e futuri (JWST ed E-ELT) che utilizzano la tecnologia *multi-mirror*. Nell'ultima parte della sua vita, Guido Horn d'Arturo teorizzò anche l'uso degli specchi a tasselli nell'interferometria. Quest'ultima vignetta richiama proprio quest'aspetto, mostrando uno schizzo di un grande array interferometrico di radiotelescopi.

Le stesse tavole sono state riprodotte e presentate anche a Trieste, dove la mostra su Horn d'Arturo, esposta nel 2017 a Bologna e nel 2018 a Catania, è stata ospitata a cura di INAF - Osservatorio Astronomico di Trieste.

Roberto Rampazzo riconosce i finanziamenti del programma PRIN-INAF eSKApe HI 2017 1.05.01.88.04.

Referenze bibliografiche

ARGENTIERI A., *Luigi Palazzo*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, LXXX, Roma, Istituto della Enciclopedia Italiana, 2014, *ad vocem*.

BÒNOLI F., *Horn d'Arturo, Guido*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, LXI, Roma, Istituto della Enciclopedia Italiana, 2003, *ad vocem*.

FODERÀ SERIO G., RANDAZZO D., *Astronomi italiani dall'Unità d'Italia ai nostri giorni: un primo elenco*, Firenze, Società Astronomica Italiana Editore, 1997.

HORN-D'ARTURO G., TAFFARA L., *Ecclisse solare totale del 14 gennaio 1926 osservata dalla missione astronomica italiana nell'Oltregiuba*, «Memorie della Società Astronomica Italiana», III, 1926, pp. 484-496.

IANNIELLO M. G., *Mengarini, Guglielmo*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, LXXIII, Roma, Istituto della Enciclopedia Italiana, 2009, *ad vocem*.

PICAZZI V., *Il progetto di telescopio a tasselli di Guido Horn d'Arturo: forefather of the new generation multi-mirror telescopes*, Tesi di Laurea, Scuola di Scienze Dipartimento di Fisica e Astronomia, Corso di Laurea Magistrale in Astrofisica e Cosmologia, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, 2016 (in italiano).

Lucia Zarantonello, diplomatasi al Liceo Classico, ha conseguito la laurea magistrale in Astronomia presso l'Università di Padova con una tesi inerente gli affreschi della Sala delle Figure della Specola e ha frequentato la Scuola Internazionale di Comics. Insegna Matematica e Fisica presso il Liceo Statale 'A. Veronese' di Montebelluna (TV). È l'autrice delle tavole. **Roberto Rampazzo**, è astronomo ricercatore presso l'INAF - Osservatorio Astronomico di Padova nella sede di Asiago, dove si occupa di astrofisica extragalattica. Appassionato lettore di fumetti, è l'ideatore del progetto di cui ha curato lo storyboard.

Valeria Zanini, tecnologo dell'INAF-Osservatorio Astronomico di Padova, è curatrice del Museo *La Specola* e responsabile del patrimonio storico dell'Osservatorio stesso, del quale cura la conservazione, tutela e valorizzazione. Laureata in Astronomia, svolge ricerche storico-scientifiche inerenti l'astronomia padovana e i suoi strumenti. Ha fornito un supporto storico al progetto-fumetti.

Gli “ASTRI” di Horn: l’eredità scientifica dell’astronomo che ha inventato il futuro

Mauro Gargano

INAF - Osservatorio Astronomico di Capodimonte

CELEBRARE Guido Horn d’Arturo a Catania sembrava quasi una forzatura. Intitolargli il telescopio ASTRI, che fronteggia severo le bocche incandescenti dell’Etna, le colonne di fumi solforici e le pendici della montagna innevata mentre scruta il cielo, poteva apparire fuori contesto.

Una lettura superficiale della biografia scientifica dell’astronomo triestino, che a Bologna ha sviluppato la maggior parte della sua carriera, avrebbe potuto far credere che il primo e finora unico omaggio tributato a Horn fosse un riconoscimento dettato esclusivamente dalla presenza in Sicilia del moderno telescopio a tasselli, erede dell’originale intuizione dell’astronomo. In realtà, un po’ come il concetto che è alla base della tecnologia pensata da Horn d’Arturo per il telescopio a tasselli della Specola bolognese, lo studio dei documenti d’archivio ha permesso di formare e comporre le tante tessere del mosaico biografico e scientifico dell’astronomo e di ricostruire le varie tappe della geniale intuizione. La lettura della sua corrispondenza, privata e scientifica, ha consentito di comporre il quadro personale dei suoi affetti, delle sue relazioni e delle mortificazioni subite per le infami leggi fasciste a difesa di una inesistente razza italiana. L’analisi delle attività scientifiche, svolte anche nel breve soggiorno catanese di Horn, ha composto un quadro a tasselli molto più complesso e avvincente di quanto finora fosse noto sia agli specialisti di storia della scienza, sia al grande pubblico di appassionati di astronomia moderna e antica. Il risultato di questo studio ha evidenziato che il legame tra Guido Horn d’Arturo e il telescopio ASTRI di Serra la Nave ha radici solide sia nella vita dell’astronomo che nella storia dell’astronomia a Catania. Non ci sono solo gli elementi biografici e scientifici di Guido Horn d’Arturo, che inizia proprio a Catania la sua carriera di astronomo, a sostenere la scelta di celebrarlo in Sicilia, ma a ben vedere, il confronto tra le visioni scientifiche e tecnologiche dell’astronomo, gli interessi nella moderna ricerca dell’Osservatorio Astrofisico di Catania e l’innovazione tecnologica del telescopio ASTRI evidenziano un identico scenario strategico per il progresso dell’astronomia, “la più sublime scienza che abbiano inventato gli uomini”.

La mostra *Gli “ASTRI” di Horn. L’astronomo che ha progettato il Futuro* ha inteso rappresentare con immagini, documenti, strumenti antichi e moderni la forza di un’idea che trova sostanza a Catania, una

città che ha sempre raccolto le nuove sfide avanzate dalla ricerca scientifica.

L’allestimento della mostra è stato realizzato in un luogo simbolo della città e dell’astronomia etnea: il Monastero benedettino di San Niccolò l’Arena: un sito rappresentativo di Catania che Federico de Roberto ne *I Viceré* descrive magnificamente. Un emblema della tensione di rinnovamento nonché di resistenza alle forze esterne che nel romanzo si intreccia con le vicende della famiglia Uzeda di Fracalanza, di Garibaldi e di una città che tenta di essere protagonista del futuro. Nel 1885, in quegli spazi che erano stati «luogo di eterna delizia, dove la vita passava, senza cure dell’oggi e senza paure del domani, tra lautissimi conviti, sontuose cerimonie, gaie conversazioni e scampagnate gioconde», Pietro Tacchini poté costituire una stazione osservativa dotata di una cupola girevole di 8 metri e attrezzata di molti strumenti per le ricerche astronomiche e meteorologiche. Qui, in questo gioiello del tardo barocco siciliano progettato dall’architetto Giovan Battista Vaccarini, un giovane Guido Horn, tra il 1907 e il 1910, cominciò a cimentarsi con le osservazioni solari, con lo studio delle comete e con il laborioso lavoro di riduzione delle lastre per il poderoso progetto della *Carte du Ciel*.

Nella sala che introduceva ai locali dell’Osservatorio e nelle antiche cucine – una grande stanza che presenta al centro un’elegante struttura ottagonale delimitata da colonne e da quattro pareti decorate con ceramiche policrome – sono state sviluppate le diverse sezioni della mostra che raccontano la scienza, le visioni e le imprese tecnologiche che hanno come fulcro la città etnea.

La figura dello scienziato, astronomo e divulgatore scientifico prende sostanza nel 2017 a conclusione dello studio fatto da Fabrizio Bònoli e Valeria Picazzi dell’Università di Bologna sul ricco fondo archivistico di Guido Horn d’Arturo. L’accurato lavoro ha fatto riemergere la figura poliedrica di questo geniale scienziato del Novecento, il cui contributo scientifico si era disperso nelle dense ombre nebbiose del tempo e della memoria. Questa ricerca storica, sviluppata insieme al Museo Ebraico di Bologna, ha evidenziato un personaggio dalla ricca personalità e dalla vasta cultura multidisciplinare. Horn fu amico, tra l’altro, di Giorgio Morandi con il quale si cimentava in intense sfide con gli scacchi. Questo lavoro ha prodotto nel 2017 una mostra promossa dagli astronomi bolognesi e dall’associa-



FIG. 1. Il modello in scala del telescopio ASTRI-Horn d'Arturo di Serra La Nave, realizzato dalla EIE Group.

zione di diffusione della cultura scientifica, SOFOS, e patrocinata dal Museo della Specola di Bologna, dal Dipartimento di Fisica e Astronomia, dalla Società Astronomica Italiana e dal Museo Ebraico di Bologna. In diciassette tavole sono stati raccontati, insieme a quelli scientifici, anche gli aspetti umani del personaggio, dalla sua formazione nella Trieste asburgica di fine secolo dove conobbe Italo Svevo, Umberto Saba e James Joyce, al fiero orgoglio italiano che lo portò ad arruolarsi, da austriaco, nell'esercito italiano, all'onta di essere cacciato dalla Specola e dall'Università di Bologna per le deliranti leggi fasciste del 1938. Ebreo di famiglia, Horn sfuggì per miracolo al tragico destino di milioni di perseguitati. E poi le tavole dedicate alla sua vita di scienziato: prima a Trieste, dove si occupò essenzialmente di meteorologia, e poi a Catania, a Torino, a Bologna, a Roma e poi ancora e definitivamente a Bologna. Nell'*Italieta* impoverita dalla Grande Guerra e illusa dal nazionalismo fascista, Guido Horn d'Arturo rinnovò l'Osservatorio di Bologna dotandolo di un'avanzatissima stazione osservativa a Loiano e si cimentò nell'impresa più ardua: costruire un grande telescopio basandosi su una tecnologia che egli stesso elaborò e che non aveva precedenti. Gli specchi a tasselli, seppur "spezzati" dalle leggi del 1938, diventarono ottanta anni dopo una realtà tecnologica d'avanguardia di uso comune nella progettazione e realizzazione dei grandi telescopi terrestri, come il ciclopico telescopio ELT composto da 798 tasselli, e dei futuri tele-

scopi spaziali, come JWST che sarà il più grande telescopio orbitante con uno specchio primario fatto da 18 tasselli esagonali.

Accanto all'avvincente avventura scientifica di Guido Horn d'Arturo, la mostra presenta la storia dell'Osservatorio astrofisico di Catania e delle sue attività scientifiche di punta che hanno contribuito allo sviluppo della fisica solare e dell'astrometria.

Ricordando come la tradizione scientifica in campo astronomico risale al 1779 con l'istituzione della cattedra di Astronomia presso l'Università di Catania, la sezione della mostra: "230 anni di astronomia a Catania", racconta dell'impegno propositivo di Pietro Tacchini per la fondazione di un osservatorio astronomico e meteorologico sull'Etna, collocato in prossimità del cratere centrale presso la "casina degli inglesi". Insieme al "Regio Osservatorio", sorse nel 1890 anche la prima cattedra universitaria di Astrofisica affidata ad Annibale Riccò, già indicato da Tacchini direttore della specola etnea. Nel secondo dopoguerra l'Osservatorio di Catania, fedele alla sua tradizione di innovazione, ebbe nuova vita per iniziativa di Mario Girolamo Fracastoro. L'astronomo si rese promotore, nel 1966, della costruzione del nuovo Osservatorio Astrofisico di Catania all'interno della cittadella universitaria, sulla collinetta di Santa Sofia, e della sede osservativa di Serra la Nave sull'Etna. Una serie di documenti, fotografie e memorie ripercorrono queste vicende.

Con la creazione della stazione osservativa presso l'ex Monastero dei Benedettini a Catania si stabilì anche il primo Osservatorio Astrofisico che sin da subito si pose all'attenzione della comunità scientifica internazionale. Gli astronomi catanesi si resero promotori di importanti studi, soprattutto nel campo della fisica solare, attraverso l'utilizzo delle nuove tecniche di indagine delle stelle, l'astrofisica appunto, e furono protagonisti nella partecipazione italiana alla *Carte du Ciel*, il monumentale catalogo stellare promosso dall'Accademia di Francia con l'ambizioso compito di fotografare le stelle fino alla 11^a magnitudine e misurare la posizione degli astri fino alla 15^a magnitudine. La campagna osservativa fotografica e la riduzione dei dati furono completate dall'Osservatorio catanese nel 1942 pubblicando gli otto volumi del *Catalogo Astrofotografico* che riportava le posizioni di 320275 stelle. Soltanto l'Osservatorio di Helsinki fece altrettanto.

Oltre ai documenti d'archivio che mostrano i luoghi e la strumentazione dell'osservatorio sull'Etna e di quello a Catania, questa sezione, intitolata *L'astronomia a Catania e Azeglio Bemporad, il fotografo del Cielo* espone il grande obiettivo del telescopio Merz utilizzato per le osservazioni della *Carte du Ciel*, alcuni strumenti di riduzione e di calcolo dei dati nonché il primo volume del Catalogo.

La sezione dedicata a *Horn a Catania* mostra documenti originali dell'attività scientifica di Horn nella città dell'Etna, a partire dalla rara fotografia che raffigura il personale del Regio Osservatorio del quale è parte lo stesso Guido Horn (FIG. 2). Dopo



FIG. 2. Il personale del "Regio Osservatorio", in prima fila da sinistra: Horn, Riccò, Bemporad e probabilmente Luigi Taffara.

l'esperienza universitaria a Vienna dove si laureò con Josef von Hepperger zu Tirschtenberg und Hoffenthal (1855-1928) con una tesi sulle orbite cometary, Horn arrivò a Catania nel luglio 1907 in un vero e proprio Osservatorio impegnato nelle più avanzate ricerche in campo astronomico e astrofisico e dotato di ottima strumentazione scientifica, come il grande telescopio di Merz con una lente di 34 cm e una focale di 557 cm e l'astrografo Steinheil con un obiettivo di 32,8 cm e una focale di 334,1 cm. Oltre a seguire, insieme a Luigi Taffara (1881-1966), le quotidiane osservazioni del Sole: macchie, facole e protuberanze, Guido Horn continuò a coltivare gli studi della sua tesi di laurea: le comete, pubblicando alcuni articoli sulle sue osservazioni delle comete Daniel e Morehouse nelle «Memorie della Società degli Spettroscopisti Italiani». Inoltre, insieme a Riccò e a Bemporad contribuì al faticoso lavoro di osservazione e riduzione dei dati per il catalogo astrofotografico. I tre anni trascorsi a Catania sembrano essere stati per Horn una vera e propria palestra che gli avrebbe permesso di cimentarsi a Bologna nelle successive sfide astronomiche e tecnologiche.

L'ultima sezione della mostra illustra come l'idea dell'astronomo geniale, concepita e realizzata nelle antiche stanze della torre del palazzo Poggi a Bologna, si sia trasformata nel più grande successo tecnologico in campo astronomico. I telescopi a tasselli di Horn sono per l'astrofisica del ventunesimo secolo una costante nella progettazione delle più avan-



FIG. 3. Tassello esagonale di 85 cm del telescopio ASTRI-Horn d'Arturo di Serra La Nave, esposto alla mostra.

zate macchine che scrutano da Terra e dallo spazio l'universo. Tra questi primeggia CTA - Cherenkov Telescope Array, la più grande rete di telescopi terrestri di varie dimensioni che studierà i raggi gamma di alta e altissima energia generati dagli eventi più violenti del nostro universo, come le esplosioni di supernovae, le interazioni tra nane bianche e stelle di neutroni o buchi neri e i nuclei galattici attivi che contengono buchi neri supermassivi: altri ne parlano in dettaglio in questo fascicolo.

La rete dei telescopi CTA avrà una serie di 19 telescopi nelle isole Canarie, dedicati all'osservazione delle sorgenti extragalattiche, mentre i 99 telescopi immaginati per il sito cileno del Cerro Paranal studieranno principalmente la Via Lattea. L'Istituto Nazionale di Astrofisica gioca un ruolo fondamentale nell'ambito del progetto CTA partecipando allo sviluppo e alla costruzione dei telescopi con uno specchio primario di circa 4 m di diametro il cui primo prototipo è ASTRI, ovvero "Astrofisica con Specchi a Tecnologia Replicante Italiana". ASTRI ha uno specchio primario asferico di 4,3 m composto da un mosaico di 18 tasselli di 85 cm ciascuno, esagonali come quelli di Horn d'Arturo. Il telescopio è stato inaugurato nel settembre del 2014 a Serra la Nave presso la sede osservativa "M. G. Fracastoro" dell'INAF-Osservatorio Astrofisico di Catania, e nella notte del 25 maggio 2017 ha catturato i primi segnali di luce Cherenkov. La sezione *Gli astri di Horn*, oltre a mostrare gli articoli originali di Guido Horn d'Arturo sulla costruzione dei primi telescopi a tasselli, presenta un modellino in scala del telescopio ASTRI e due dei 18 esagoni che lo compongono.

Infine, la mostra è arricchita da alcuni video di approfondimento sui diversi temi delle sezioni, da alcuni strumenti didattici come il pannello interattivo, realizzato da Federico Di Giacomo e Caterina Boccato dell'Osservatorio Astronomico di Padova, che descrive in modo dinamico come si formano gli sciame di particelle Cherenkov e come questi sono registrati dai sensori dei telescopi di CTA e da una striscia di fumetti disegnati da Lucia Zarantonello in collaborazione con Roberto Rampazzo e Valeria

Zanini. Le cinque tavole ad acquerello e china raccontano con un tratto semplice e delicato la vita di Horn e le sue avveniristiche intuizioni.

Si può ben pensare che la visita della mostra prosegue sino a Serra la Nave con il telescopio *ASTRI* che il 10 novembre 2018 è stato dedicato a Guido Horn d'Arturo, padre della tecnologia degli specchi a tasselli. Horn ritorna così lì dove aveva iniziato la sua laboriosa vita di scienziato che ha progettato il futuro.

Ringraziamenti

La mostra *Gli "ASTRI" di Horn*, voluta a Catania da Giovanni Pareschi, P.I. del progetto *ASTRI*, da Salva-

tore Scuderi, Project Manager di *ASTRI*, da Vincenza Maugeri e Caterina Quareni del Museo Ebraico di Bologna, dal Museo del Monastero dei Benedettini, dalla Società Astronomica Italiana, dall'Istituto Nazionale di Astrofisica, ha potuto contare sul sostegno scientifico e tecnico del personale dell'Osservatorio Astrofisico di Catania. Incoraggiati dalla direttrice, Grazia Umana, la bibliotecaria e archivistica Angela Mangano, il curatore della collezione degli strumenti antichi, Giancarlo Occhipinti, il responsabile delle attività didattiche, Giuseppe Cutispoto, e i tecnici: Antonio, Eugenio, Gaetano, Giancarlo e Osvaldo hanno contribuito con entusiasmo insieme all'autore di questa comunicazione a comporre, tassello dopo tassello, l'allestimento della mostra.

Mauro Gargano, laureato in Astronomia presso l'Università di Padova, è responsabile del Museo degli Strumenti Astronomici dell'Osservatorio Astronomico di Capodimonte a Napoli, dove si occupa anche di studi storici sull'astronomia, principalmente partenopea.

Guido Horn d'Arturo: le radici ebraiche di un astronomo italiano

Caterina Quareni

Museo Ebraico di Bologna (MEB)

IL motivo per il quale il Museo Ebraico di Bologna ha dedicato una mostra a un astronomo è legato, ovviamente, alla sua storia personale e al fatto che fosse ebreo e che, per questo motivo, fosse stato estromesso dal suo ruolo all'Università di Bologna ed emarginato dalla società dei cosiddetti ariani. Dire "ebreo" però è dire in realtà qualcosa di molto vago: l'ebraismo non è facilmente definibile e non è monolitico.

Di Guido Horn d'Arturo esiste un prezioso carteggio che merita alcune osservazioni: si tratta delle sole copie delle lettere spedite da lui a diversi interlocutori su temi e questioni i più disparati, in uno spettro di anni che vanno dal 1912 al 1939. Le lettere, circa 7000, sono conservate in ordine cronologico, perciò, per ricostruire le vicende che le avevano prodotte, è stato necessario leggerle tutte. Sarebbe stata un'autentica maledizione, se non fosse che Horn, come si potrà constatare, scriveva benissimo. Oltre a essere un personaggio che non esiteremmo a definire un umanista del suo tempo, per l'eclettismo degli interessi, che spaziano dalla letteratura al teatro, dall'arte al cinema, dalla filologia allo sport, possedeva senza dubbio il dono della scrittura e sapeva giostrarsi con grande disinvoltura tra il registro ironico e quello drammatico, sempre con la lucidità dello scienziato che analizza, costruisce ipotesi, sperimenta le sue teorie e trae le conclusioni dai risultati che ottiene.

Quando abbiamo iniziato la ricerca sul carteggio nell'Archivio storico del Dipartimento di Astronomia dell'Università di Bologna, conservato a quei tempi presso la biblioteca di Astronomia del Dipartimento di Fisica e Astronomia, uno degli obiettivi principali era dunque cercare le tracce del legame di Horn con la cultura ebraica.

Sapevamo che era nato in una famiglia ebrea triestina e che era ebreo a tutti gli effetti, in quanto figlio di una donna ebrea. Sapevamo che il padre, Arturo – da cui il cognome poi assunto da Horn, dopo la Grande guerra, di "Horn d'Arturo" – era maestro nella scuola talmudica e consigliere della Fraternita di mutuo soccorso *Maschil El Dal*.¹ Sapevamo anche che, morendo il padre quando lui aveva solo pochi anni di vita, Guido era stato allevato dal nonno materno, il ferrarese Sabato Raffaele Melli, Rabbino capo della comunità israelitica triestina dal 1870 al

1907. Tutto poteva quindi far supporre che ci saremmo trovati di fronte a un ebreo ortodosso, ancora rigoroso nel rispetto delle prescrizioni che regolano la vita quotidiana di un ebreo.

Quello che è emerso dalle carte, invece, ci ha mostrato una situazione molto diversa. Pochi e sporadici vi sono i riferimenti alle radici ebraiche: una datazione «nel giorno di *Chipur*² dell'anno 5672 dalla creazione del mondo» in una lettera alla madre, la menzione delle orecchie di *Aman* con la panna montata mangiate per la festa di *Purim*,³ l'avvedersi dal calendario di essere nella settimana di *Sciavuod*,⁴ il compiacimento per la celebrazione, nell'ambito familiare, di un nuovo matrimonio secondo il rito ebraico, la richiesta a un amico di porre un sassolino da parte sua sulla tomba della madre e cose così. Guido Horn risulta iscritto alla comunità israelitica di Bologna – e si lamenta per le tasse a suo parere troppo alte che gli vengono richieste – ma non pare frequentare il tempio, non osserva, evidentemente, lo *shabbat*, viaggiando e lavorando tranquillamente anche di sabato, non sembra attenersi strettamente alle regole alimentari della *Casherut*.

La formazione ricevuta in ambito ebraico doveva essere stata tuttavia approfondita. Lo stesso Rabbino Melli, d'altronde, gestiva personalmente una scuola elementare privata israelitica, dove, al normale programma d'insegnamento, si aggiungeva un'ora al giorno di religione ebraica.⁵ Le tracce dell'educazione ricevuta dal nonno si ritrovano evidentemente in una lettera che Horn scrive quando, ormai allontanato da tutti i suoi abituali conoscenti,

² Così nel testo della lettera. *Yom Kippur*, il giorno dell'espiazione, è la ricorrenza penitenziale per eccellenza del calendario ebraico, l'occasione per espriare i peccati e riconciliarsi con le persone a cui si è fatto o da cui si è subito un torto. Prevede la proibizione di mangiare, bere, lavarsi, truccarsi, indossare scarpe di pelle ed avere rapporti sessuali. Il digiuno completo (astinenza dal cibo e dalle bevande) inizia qualche attimo prima del tramonto e termina dopo il tramonto successivo, all'apparire delle prime stelle.

³ Le orecchie di Aman sono un dolce tipico della festa di *Purim* ("sorti"), festa gioiosa che rievoca la storia biblica di Ester, la bellissima giovane ebrea che, divenuta regina al fianco di Assuero, sventò, insieme allo zio Mordekhai, le trame ordite dal perfido Aman per sterminare il popolo ebraico. Il rovesciamento delle sorti dei personaggi della vicenda caratterizza la storia e la festa che ne deriva, associata spesso al carnevale per i travestimenti, i giochi, gli schiamazzi e gli eccessi, per una volta consentiti, nel bere e nel mangiare.

⁴ Così nel testo della lettera. *Shavuot*, settimane, è una festa ebraica che cade esattamente sette settimane dopo *Pesach*.

⁵ Cfr. SILVA BON, *La comunità ebraica di Trieste (1781-1914). Politica, società e cultura*, Trieste, LINT, 2000, p. 167 s.

¹ «[Beato] colui che ha cura del povero», Salmo 41,2.



Fig. 1. Sinagoga di Trieste. (Foto di Paolo Longo, Flickr)

riprende a frequentare assiduamente una famiglia di Lugo di Romagna, i Forlì, con la quale ha lontani vincoli di parentela. Ospite a casa loro, una domenica d'autunno del 1939 (Horn era già stato allontanato da Bologna per le leggi razziali), si reca in loro compagnia a visitare il tempio e si immerge nuovamente, per qualche ora, nell'ambiente religioso nel quale era stato allevato a Trieste e di cui ha conservato precisi ricordi. Il resoconto che di quella visita fa alla nipote Lidia nella lettera che le scrive il 2 novembre 1939 è didascalico, come se la nipote, a differenza dello zio, non avesse quasi più alcuna dimestichezza con gli oggetti rituali ebraici, e tuttavia intriso di un entusiasmo e di un piacere di conoscenza che non si annullano neppure negli anni della persecuzione e del forzato allontanamento dagli studi di astronomia:

(...) Domenica ho passato una giornata interessantissima a Lugo in casa di quella famiglia Forlì di cui ti parlai altre volte. Andammo a visitare il tempio ed ho rivissuto per qualche ora in mezzo alla suppellettile religiosa che in altri tempi mi era familiare: anche tuo padre si sarebbe divertito molto a toccare certi abbellimenti del *sefer* chiamati *rimonim* che s'infilano all'estremità superiori [sic] dei bastoni intorno a cui s'avvolge il pentateuco; oltre a ciò la corona d'argento ed altri arredi sacri di bellissima fattura. Ho sfogliato una gran quantità di volumi polverosi stampati in ebraico ed alcuni rarissimi esemplari stampati nel cinquecento a Sabbioneta. Il tempio ricorda la cattedrale d'Assisi, in quanto, sopra un vecchio tempio costruirono il maggior tempio superiore essendo il primo del tardo cinquecento ed il secondo del settecento; l'inferiore sebbene sopra terra ricorda un po' le catacombe; le donne stavano in un locale separato ed assistevano alle funzioni dietro alle grate. Frugando nell'archivio vennero in luce alcune carte riferentisi a fatti non dissimili dagli attuali e di cui v'intratterò quando ci rivedremo. Ora non vi sono più che tre o quattro famiglie ma un secolo fa la comunità contava 518 persone ed aveva un cimitero proprio dove sono sepolti gli antenati della Forlì che mi accompagnava e la lapide più antica della sua famiglia porta la data del 1450; ve n'è una anteriore di certo Pessachim che risale al 1250! Per un certo periodo (nel settecento) era proibito d'inci-

dere sulle lapidi il nome del sotterrato ed erano provviste solamente di un numero progressivo (...).⁶

Un dato importante, invece, nella vita di Horn, che confligge con l'osservanza dell'ortoprassi ebraica, è costituito dal suo celibato. Il matrimonio e la procreazione di almeno un bambino e una bambina, infatti, sono prescritti dalla normativa ebraica, e lo sono in particolare per gli uomini. Apertamente noncurante riguardo a queste raccomandazioni, Horn coltiva relazioni amorose e così si esprime in merito al matrimonio:

Dico anch'io col poeta e con te "carpe diem"⁷ e col poeta italiano: "La mia favola breve è già compiuta"⁸ e non penso a una sistemazione coniugale, che sarebbe la mia pietra tombale.⁹

O anche, in tono più mesto:

(...) io sono fatto in modo che vedendo altri soffrire per me, soffirei anche di più e non cerco mai tanto di essere solo come quando sono comunque addolorato; questa è certamente una delle cause che m'hanno sempre distolto dal crearmi una famiglia (...).¹⁰

E, addirittura:

La vita dello scapolo è quanto di più arido si possa immaginare nonostante la sua apparenza scintillante.¹¹

Quanto alla mancanza di figli, infine, meritano di essere citate le parole che scrive – con la sensibilità quasi profetica che mostra anche altrove – in riferimento a Hitler, a Mussolini e agli avvenimenti storici dei quali si trova a essere contemporaneo, alla correligionaria Anita Levi in una lettera del 24 maggio 1935, pochi mesi prima della promulgazione delle leggi di Norimberga:

Nel disordine universale del nostro tempo è una fortuna non avere figli: magra ma non disprezzabile consolazione.¹²

Forse non perfettamente ortodossa è anche la sepoltura che i fratelli Horn stabiliscono per la madre. Deceduta improvvisamente, Vittoria Melli viene infatti tumulata in un loculo, anziché sottoterra, dove la tradizione raccomanda in ottemperanza al motto della Torah «Polvere sei e alla polvere ritornerai», e il suo corpo subisce anche una traslazione. L'ebraismo vieta in generale le riesumazioni, a meno che non si voglia trasferire il corpo in terra

⁶ ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA (d'ora in poi UNIBO), Archivio Storico del Dipartimento di Astronomia (d'ora in poi AABO), Fondo Guido Horn d'Arturo, busta 10, num. 791.

⁷ ORAZIO, *Odi*, 1,11,8.

⁸ Il poeta italiano in questione è probabilmente Francesco Petrarca, sonetto CCXVI, uno dei poeti preferiti di Guido Horn d'Arturo, ma il verso ha avuto grandissima fortuna ed è stato citato da molti altri.

⁹ UNIBO, AABO, Fondo Guido Horn d'Arturo, busta 5, num. 270. Lettera del 21 dicembre 1927.

¹⁰ Ivi, busta 6 num. 421. Lettera del 4 febbraio 1931.

¹¹ Ivi, busta 2 num. 20. Lettera del 12 febbraio 1921.

¹² Ivi, busta 8 num. 661.

d'Israele o porlo accanto a quelli dei parenti o l'attuale sepoltura non presenti sufficienti garanzie di protezione e di decoro o, infine, data la necessità di inumare immediatamente il cadavere dopo la morte, non si sia pattuito sin dall'inizio che la prima sepoltura doveva considerarsi provvisoria. Tutti questi casi devono comunque essere esaminati e approvati dal rabbino competente.¹³ Nella vicenda di Vittoria Melli, sicuramente la sepoltura che la donna ha tuttora, nel cimitero del Verano di Roma, la avvicina ai parenti e, probabilmente, essendo la morte sopraggiunta, a quanto si legge nel carteggio di Guido, senza preavviso, è evidente che, dopo una prima indispensabile sistemazione, sin dall'inizio si era previsto il successivo trasferimento. Quella che sembra mancare, anche se, a onor del vero, può semplicemente non essere stata documentata nel carteggio, è la richiesta dell'autorizzazione al rabbino.

Per quanto interessa a noi in questa sede, tuttavia, senz'altro la riesumazione è occasione per Guido di bellissime parole, che ci danno la misura, immensa, di quanto fosse legato alla madre, la sua «donnetina», come la chiamava nelle numerose e affettuosissime lettere che le scriveva:

La duplice cassa sepolcrale mantenne la chiusura perfetta, così che potemmo starle da presso tutta la giornata e rivestirla nuovamente di zinco, senza esserne respinti da alcuna esalazione. Si direbbe che la morte abbia, eccezionalmente, rispettato quell'atmosfera di purezza, ond'era circondata la persona della povera mamma ed io mi vi sentii nuovamente immerso, come ai bei tempi della nostra dolce convivenza. Abbiamo rubato un giorno all'eternità della morte. Essa giace ora nel nuovo loculo bisommo, ove io La raggiungerò, quando che sia.¹⁴

Un altro riferimento significativo, seppur velato di una tenue ironia, alle proprie radici, lo troviamo in una lettera del 31 ottobre 1925 scritta alla vigilia della partenza per il viaggio in Oltregiuba all'amico Henri Bédarida:

Ricevo "Les Nouvelles littéraires" e leggo l'articolo di fondo "Le livre d'une race", ch'era quello destinato a me, come penso, perché non ne trovo altri che stieno con la mia persona in così stretta relazione. A proposito del popolo eletto Le dirò che sto per recarmi nell'Oltregiuba per osservarvi un'eclisse solare, ed in quest'occasione passerò anch'io a piede asciutto il Mar Rosso (in vapore), e vedrò il Monte Sinai ed i luoghi che furono la culla dei miei antenati.¹⁵

Se da scienziato professa la necessità di mantenere un approccio laico alla ricerca:

¹³ Cfr. SARA PACIFICI, MIRIAM MIELI, *Regole ebraiche di lutto. Appunti di un corso del Seminario D. Almagia*, Roma, Carucci DAC, 1980 p. 33 s.

¹⁴ UNIBO, AABO, *Fondo Guido Horn d'Arturo*, busta 2 num. 263. Lettera del 5 gennaio 1922.

¹⁵ Ivi, busta 4 num. 159. Lettera del 31 ottobre 1925. Critico letterario e italianista, Henri Bédarida fu a lungo a Bologna come lettore presso l'Università.



FIG. 2. Ritratto giovanile di Guido Horn. (Collezione privata della famiglia Horn)

(...) Noi purtroppo dobbiamo tener conto di ciò che vediamo con gli occhi mortali e darne un'interpretazione umana; l'idea di Dio, che è un bisogno dello spirito, non può essere offesa dall'opera dello scienziato; conviene chiudere gli occhi della mente quando s'indaga con l'occhio fisiologico, e chiuder questo quando si vogliono tener aperti quelli,¹⁶

da uomo di cultura, invece, non solo curioso di fronte al fenomeno, ma sensibile a tutto ciò che concerne, per così dire, la tensione al trascendente e il pensiero filosofico, manifesta una grande attrazione per le religioni. Dimostra di conoscere molto bene quella cristiana, di cui evidentemente apprezza gli aspetti tradizionali del culto, come si legge nelle parole che scrive a un interlocutore ignoto:

Questa è la vera notte di Natale come la si vede raffigurata nei presepi; il cielo sereno la Luna splendida il silenzio solenne intorno alla culla del Redentore; anch'io sono immerso nel silenzio della Specola e da queste mura secolari ti mando tanti auguri da dividere con la tua famigliuola.¹⁷

Se è vero che questa riflessione si deve certamente ascrivere al fatto che Horn viveva immerso in una società prevalentemente cristiana e quindi anche involontariamente esposto alle manifestazioni di quel culto, c'è invece nel carteggio la citazione di un versetto che sorprende per la sua peculiarità, essendo tratto dalle litanie eucaristiche:

*Verbum caro factum, habitans in nobis, miserere nostrum!*¹⁸

Come lo conosceva Horn? Forse dalla musica classica, che amava tanto?¹⁹

Se il cristianesimo lo affascina, almeno come movimento culturale e come corrente di pensiero, lo stesso non si può dire per l'altra religione monoteista, l'Islam, al cui testo fondamentale, il Corano, riserva poche impietose considerazioni:

¹⁶ Ivi, busta 7 num. 29. Lettera del 18 gennaio 1932.

¹⁷ Ivi, busta 5 num. 513. Lettera del 24 dicembre 1928, ore 23.30.

¹⁸ Ivi, busta 5 num. 61. Lettera del 6 marzo 1927.

¹⁹ Per esempio dalle litanie eucaristiche di Mozart KV125 in Si bemolle maggiore e KV243 in Mi bemolle maggiore.



FIG. 3. Guido con i fratelli Arrigo e Mario e con la madre Vittoria Melli. (Collezione privata della famiglia Horn)

Ho letto di questi giorni il Corano che è un'opera priva di poesia specialmente paragonata al nuovo ed ancora più al vecchio testamento; piena d'odio verso i nemici e d'attaccamento ai piaceri materiali di questa e della futura vita. Sembra un assetato che parli e promette ai fedeli nella vita futura il soggiorno in giardini bagnati da acque scorrenti frase che torna continuamente e costituiva per l'abitante dell'Arabia petrosa il colmo della beatitudine. Pare impossibile che un simile libro, e solo lui, abbia convertito all'islamismo dall'idolatria centinaia di individui, tutti credenti, senza bisogno d'essere sollecitati da prediche e da un clero costituito! È un'imitazione del Pentateuco e del Vangelo ma ha avuto come numero di proseliti un successo assai maggiore, in minor tempo. Quante forme di follia nel mondo.²⁰

Il quadro che esce dalla somma di questi indizi, solo apparentemente contraddittori, è quello di un ebreo assimilato, come ce ne sono tanti in Italia e a Trieste tra fine Ottocento e inizio Novecento. L'emancipazione napoleonica, che concede agli ebrei gli stessi diritti rispetto agli altri cittadini, il nascere delle coscienze nazionali, che chiamano l'individuo alla fedeltà alla patria, l'antisemitismo serpeggiante, che, a dispetto della legge, preclude agli ebrei certi circoli e certe carriere, fanno nascere, negli ambienti culturalmente più vivaci, la tendenza ad allontanarsi dalle tradizioni avite e il desiderio di confondersi con il resto della società, spingendo in alcuni casi all'abiura, in molti altri a una sorta di separazione tra un ebraismo, magari anche alleggerito di tante prescrizioni, vissuto nel privato e un atteggiamento laico manifestato nella vita pubblica. Trieste, città austriaca alla nascita di Horn, e crocevia di differenti etnie e culture, è un ottimo specchio di questa tendenza:²¹ lo testimoniano, per esempio, i tanti matrimoni misti di cui troviamo una traccia perfino nel carteggio del "nostro" astronomo. Come sempre sollecito nei confronti degli amici più cari, vediamo Horn prodigarsi nella ricerca di una

buona moglie per uno di essi, un sacerdote che, dopo lunghe riflessioni, ha preso e portato a termine la decisione di abbandonare la tonaca e rientrare pienamente nel mondo:

Devi dunque sapere che a suo tempo io non mancai di fare le pratiche promesseti per trovare a Trieste una donna degna di diventare tua moglie e con tutti i requisiti necessari per essere la compagna intellettuale dell'ex sacerdote. Ora un mio amico di Trieste mi scrive che la sposa c'è: vergine, israelita, bella presenza, casalinga, miope leggermente, lustri sei, corone 50.000 (cinquantamila), parentado cospicuo. La famiglia è già informata del tuo passato e del presente, desidererebbe avere un tuo ritratto fisico e morale ed intanto una fotografia. Se fossi in te farei un viaggetto a Trieste. Io ti presenterò il mio amico che s'incaricherà, con le dovute cautele, di preparare l'incontro con la signorina. Trieste è una città evoluta dove tutto ciò succede con la massima semplicità. Il mio amico poi sarà lieto di quest'occasione per conoscerti e presentarti alla sua famiglia e ad altri amici.²²

Guido Horn si presenta come un ebreo assimilato, dunque, che sarà vittima di persecuzione antisemita a causa di una legge basata su un principio, quello della razza, che si credeva allora fondato su presupposti scientifici, situazione comune a tanti intellettuali mitteleuropei della sua epoca e ben nota, basti pensare, tra gli innumerevoli altri, a Walter Benjamin o a Marc Bloch, ma un conto è leggerla sui libri, un conto è seguirla nelle parole ancora calde di chi la stava vivendo.

Diventa perciò particolarmente interessante e toccante leggere le sue parole nei momenti cruciali della sua epurazione, quando, per esempio, in una lettera dell'1 febbraio 1939, scrivendo a un ignoto «ingegnere» al quale comunica l'avvenuta sostituzione a capo della rivista *Coelum* e con il quale lamenta l'impossibilità di proseguire le sperimentazioni dello specchio a tasselli, spiega con parole piane e argomentazioni stringenti l'assurdità dell'emarginazione degli ebrei dalla società italiana:

(...) ma chi finanzia l'impresa [di costruire il prototipo di specchio a tasselli]? Nello stato attuale della persecuzione non potrei rivolgermi che a correligionari, ma disgraziatamente ne conosco pochissimi e non facoltosi; ed è interessante il fatto che mentre il Governo crede che gli Ebrei sieno legati da vincoli misteriosi e si coalizzino ai danni dello Stato essi non si conoscono nemmeno fra loro se non per caso e non cerchino altro, almeno in Italia, che di confondersi con la popolazione, da cui già non sono distinguibili né per aspetto, né per lingua, né per costumi e non vengono certamente ultimi per amore al paese che li vide nascere, come innumerevoli esempi hanno dimostrato in pace e in guerra.

Ella perdoni allo sfogo di un disgraziato che non sa rassegnarsi al suo destino e mi abbia con tanti cordiali saluti immutabilmente per suo dev.mo.²³

²⁰ UNIBO, AABO, *Fondo Guido Horn d'Arturo*, busta 9 num. 136.

²¹ Cfr. SILVA BON, *La Comunità ebraica*, p. 221 s.

²² UNIBO, AABO, *Fondo Guido Horn d'Arturo*, busta 1 num. 230. Lettera del 19 agosto 1913.

²³ Ivi, busta 10 num. 513.

Oppure ancora, in una lettera del 27 febbraio 1939, risentita e anche un po' "cattiva", a una donna con la quale aveva una relazione di lunga data:

Mia cara Olga,²⁴ è con grande piacere che ricevo la tua cara lettera del 21 dalla quale io apprendo che stai bene e hai grandi aspettative per il futuro. Io ordinerò subito il libro e subito dopo la lettura ti scriverò al riguardo.

Ora ti devo raccontare qualche cosa che ti dispiacerà ma è meglio che tu lo venga a sapere da me che da altri: io sono ebreo e come tale verrò rimosso dal mio posto.

Mi ha stupito che tu non abbia toccato questo punto nella tua lettera visto che verosimilmente i giornali francesi ne devono aver scritto in dettaglio e che dovrei aver letto il mio nome.

Ma di questo non parlerò oltre: io non mi rammarico del mio destino perché ci sono molti altri per i quali, fuori d'Italia, è peggio. Sono d'altra parte felice che questa brutta notizia chiarisca alcuni momenti bui della nostra relazione indimenticabile. Ora capisci perché, quando si accennava al matrimonio, io mi sia sempre rifiutato di prendere una decisione nonostante ti amassi caldamente e tu lo potessi sognare. Lo stesso a Berlino, quando ti facesti avanti, così naturalmente, per vivere con me, solo che tra noi c'era sempre lo spettro della superstizione. Non potrei dimenticare che tu, durante le più dolci carezze, mi dicesti cose terribili sugli ebrei. Non che mi avesse sorpreso, perché questa è una cosa legata all'educazione e all'ambiente in cui avete vissuto; ma io sapevo che l'odio era in te così radicato che la rivelazione della verità ti avrebbe portato le lacrime. Io non volevo perderti. E sono convinto che un essere così ragionevole e umano come sei tu, mi sia, tutto sommato, grata di aver taciuto. Il nostro sentimento non è stato facile né poco durevole se dopo trentun anni dura ancora e sarebbe stato un peccato se fosse rovinato da un pregiudizio medievale. Non sai quanto io sia contento di poterti scrivere liberamente per la prima volta.

Prego confermare la ricezione di questa lettera. La prossima volta scriverò più a lungo.

Il tuo e sempre lo stesso.

P.S. Il mio indirizzo è giusto. Solo prego scrivere «Professeur» con una sola f; ne basta una.²⁵

E sempre a lei, più bonario e amareggiato, il 15 marzo dello stesso anno:

(...) Sapevo che non avresti risposto diversamente: ora, naturalmente. Per trent'anni mi avresti sparato, sperimentando questo fatto spiacevole. Ma ora che hai visto l'attuale terribile stato di persecuzione, dammi la tua mano come prima e fammi essere di nuovo il tuo Guido. Non puoi immaginare la gioia con cui leggo la tua lettera! Sì, finalmente hai compreso quello che sono, difendendo, non ricordo in quale occasione, i miei compagni di fede che odi tanto. Una volta hai detto: «Se sapessi che sei uno di loro, non mi vedresti più». E questo mi ha sem-

²⁴ Probabilmente si tratta della profuga russa Olga Listowskaja (1877-1951), appartenente ad ambienti controrivoluzionari e autrice del libro *V tē dni* ("In quei giorni"), pubblicato a Berlino nel 1920. Devo queste informazioni alle ricerche condotte dall'amico bibliotecario e storico Andrea Soglia.

²⁵ UNIBO, AABO, *Fondo Guido Horn d'Arturo*, busta 10 num. 557.



FIG. 4. Trieste, via delle Scuole israelitiche. (Da TRIVELLI-BENUSI, *Itinerari triestini*. Italo Svevo, Trieste, 2006)

pre scoraggiato, perché non volevo perderti. Non è stata neanche la cosa giusta da fare, perché per me non c'è nulla che possa confondere la mia origine, che era così nascosta che l'hai presa come un'opera della natura e non come una creazione umana. Né la sporcizia, di cui parlano, né il naso, o non so cosa. E d'altra parte sai perché ti piacevo così tanto e perché non riesci ancora a dimenticarmi dopo trent'anni? Perché hai trovato il nuovo e l'ignoto in me. Hai conosciuto persone di molte nazionalità e non hai mai mostrato interesse per la razza di qualcuno e sei sempre stata impreparata a nuove esperienze.

Per te ero un nuovo mondo. In me parlava l'epifania della Bibbia e lo spirito dei profeti. Non per niente il sangue di Gesù scorre nelle mie vene. Le mie parole erano il suono irresistibile della redenzione per le tue orecchie. Sebbene l'attrazione psicologica tra di noi fosse così forte, quella spirituale che esercitavo su di te lo era ancora di più. E ciò è dimostrato dalle innumerevoli lettere che ho conservato, che hai scritto in circostanze così difficili.

Ricordo che quando mi parlasti del massacro di Kishinev,²⁶ mi fu chiaro che il tuo odio era così profondamen-

²⁶ Nota anche come Chișinău, è la capitale dell'attuale Moldavia. Ai tempi di Horn era sotto il governatorato della Bessarabia e fu teatro di due sanguinosi pogrom contro gli ebrei, uno nel 1903, l'altro nel 1905. A questi, evidentemente, Horn si riferisce scrivendo

te radicato che la cosa migliore che potevo fare era tacere, per non illudermi. Tu dici: ti voglio vicino a me! Ma avresti scoperto la verità e il sogno sarebbe svanito. Eravamo dannati a vederci l'un l'altro solo per pochi istanti e in luoghi diversi dalla mia città natale. Per questo sarei venuto a Palermo, mentre eri in Sicilia, invece sei venuta tu a Catania (...).²⁷

do a Olga, non potendo prevedere che nel 1941, a seguito della rottura del patto Molotov-Ribbentrop, la città, già occupata dall'Armata Rossa in virtù del patto, sarebbe stata riconquistata dalle truppe rumene alleate a quelle tedesche e l'intera popolazione ebraica (circa 10.000 individui) sarebbe stata in quell'occasione sterminata sul posto.

²⁷ UNIBO, AABO, *Fondo Guido Horn d'Arturo*, busta 10 num. 589.

Oggi, grazie alla decisione di dedicargli il telescopio ASTRI di Serra La Nave, costruito sulla base della tecnica inventata e messa a punto da lui con tanta tenacia, Guido Horn d'Arturo ritorna, in un certo senso, nella città che lo vide giovane ricercatore e che fu scenario di un incontro amoroso. È un riconoscimento scientifico e una sorta di parziale risarcimento morale all'uomo e all'ebreo di cui ci siamo fatti un'idea attraverso la sua corrispondenza.

Si fa presto a dire "ebreo", "epurazione", "persecuzione", perfino "sterminio": sono parole tecniche, precise ma asettiche, che nascondono realtà complesse e dolorose che lettere come queste svelano, invece, in tutta la loro enormità.

Caterina Quareni è nata a Bologna il 20 aprile 1966; si è laureata in Letteratura classica all'Università di Bologna e ha ottenuto il diploma in Archivistica, paleografia e diplomatica all'Archivio di Stato di Bologna. Dopo essersi occupata di archivi correnti e flussi documentali presso la Regione Emilia-Romagna e l'allora Ministero del Tesoro, dal 2003 lavora al Museo Ebraico di Bologna (MEB), dove si occupa principalmente di progetti culturali, della biblioteca/centro di documentazione e della libreria del Museo.

Guido Horn d'Arturo: il mondo, le passioni e gli interessi di un umanista contemporaneo

Stefano Sinicropi

Alma Mater Studiorum · Università di Bologna

IL vasto carteggio di Guido Horn d'Arturo, oltre che evidenziare una fitta rete di rapporti interpersonali, con personaggi anche molto noti del suo tempo, è particolarmente importante per una conoscenza più approfondita dell'uomo stesso, del suo stile di vita, delle sue passioni e dei suoi interessi. Horn, infatti, non è stato solo un astronomo dalle intuizioni geniali.

Nato a Trieste da una famiglia ebraica, Guido Horn perde il padre Arturo, maestro nella scuola talmudica, quando ha solo due anni. La sua educazione viene così affidata per intero alla madre e al nonno materno, Raffaele Sabato Melli, rabbino della città di Trieste.

Non avrà figli, Guido Horn, e nemmeno una relazione stabile, nonostante le numerosissime amicizie femminili. Dal suo carteggio, infatti, emerge la figura di un grande corteggiatore, che non esita a far pubblicare anche un annuncio se si tratta di conquistare la donna desiderata. Così non sorprende quello che, il 3 aprile del 1913, fa inserire sulla pagina dedicata alla "Pubblicità economica" de «Il Resto del Carlino» (FIG. 1):

Indipendenza. Signora bionda leggente alla finestra, pregata accordare abboccamento Suo devotissimo ammiratore di rimpetto.¹

Sono numerosissime, poi, le lettere che nel corso degli anni scrive alle sue amanti, e sono sempre stilisticamente pregiate e mai banali, come quella che scrive a una certa Tecla, il 6 luglio del 1932:

Tecla mia, rientro solo in questa mia casa antica e claustrale, tra queste pareti nude che videro, di stanza in stanza, di giaciglio in giaciglio, le stazioni dolci e dolorose del nostro amore fino all'abbandono supremo. Tutti i miei sensi hanno avuto la loro gioia nuova e indimenticabile: gli occhi nella contemplazione delle membra stupende, l'olfatto ancora inebriato dal vario profumo che le tue concavità riposte emanano per eccitare maggiormente la virilità dell'amatore, il tatto cui ogni più levigata superficie sembrerà quindinnanzi grossolana, l'orecchio intento ad ascoltare il gemito che usciva dalle tue labbra mescolato al mio nome, e l'invocazione precedente il lungo silenzio: "Gesù mio, mi perdo!". Ogniqualvolta cingerai il fazzoletto candido dovrai sentire il mio braccio che ti circonda il collo per sottrarti all'insistenza degli

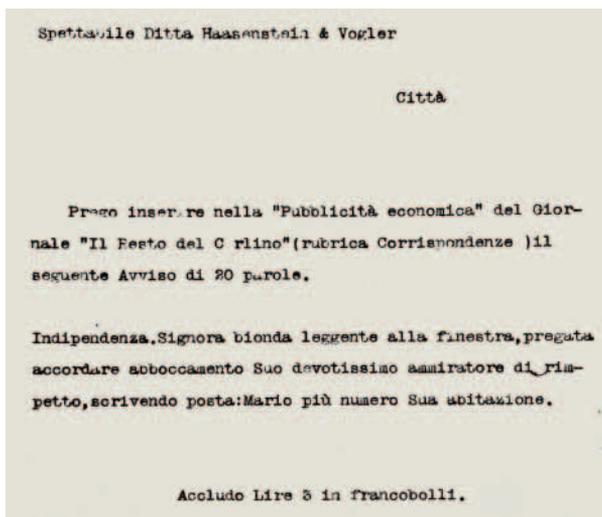


FIG. 1. (UNIBO, AABO, Fondo Guido Horn d'Arturo, busta 1, num. 163).

ammiratori. So che non rivolgerai ad altri lo sguardo immobile e severo con cui ti donasti a me, quando la tua bocca rimaneva ancora suggellata: esso è mio e mi sarà compagno nel lungo viaggio che sto per intraprendere,² e finch'io viva.³

E non mancano lettere ricche di contenuti e riferimenti culturali. Il 30 agosto del 1934, Horn scrive a una non meglio precisata «amica e amante»:

Ho ancora nell'orecchio il suono della tua voce di contralto e mi metto alla macchina per scriverti diffusamente, in compenso della mancata visita alla spiaggia; dopo il tuo reciso (giustificato del resto) rifiuto non mi restava che partire; e nemmeno a te sarebbe stato gradito il porgermi con una mano il calice ricolmo e con l'altra impedirmi di bere. Presi la via di Rimini, ove la contemplazione della bellezza mi distolse per un poco dai pensieri lascivi che tu m'avevi suscitati. Infatti il Tempio malatestiano, che vedevo per la prima volta è un capolavoro, anzi una somma di capolavori, che per esaminare minutamente occorrerebbero più giorni; esso, nell'intenzione di Sigismondo Malatesta che lo ideò, voleva essere un testimone dello sviscerato amore per la sua terza moglie Isotta. La superba architettura disegnata da L. B. Alberti, fu adornata degnamente e per dir così cesellata da innumerevoli scultori: a te, cui piacciono i profili maschi, imporrà singolarmente il profilo di Sigismondo, scolpito da

¹ ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA (d'ora in poi UNIBO), Archivio Storico del Dipartimento di Astronomia (d'ora in poi AABO), Fondo Guido Horn d'Arturo, busta 1, num. 163.

² Il riferimento è al viaggio che, in quella stessa estate, Horn compirà negli Stati Uniti e in Canada.

³ UNIBO, AABO, Fondo Guido Horn d'Arturo, busta 7, num. 204.

Agostino di Duccio nella prima cappella di sinistra. Ho tanto piacere che tu mi permetta di portarti un ricordo di viaggio; già più volte vi avevo pensato.⁴

Non avendo una propria famiglia, Guido Horn mantiene legami affettivi molto stretti con i parenti, fratelli e nipoti in particolare, e con la madre, Vittoria Melli. A lei, la vera donna della sua vita, sono dirette moltissime lettere, sulle quali appare sempre l'affettuosa intestazione «alla donnetta mia».

A lei invia venti lire ogni mese, anche nei momenti di maggiori ristrettezze economiche, e all'indomani dell'incarico ottenuto presso la Specola di Bologna si prodiga per trovare una degna sistemazione per entrambi. «Non vedo l'ora che suoni per noi l'ora sospirata del ricongiungimento»⁵ scrive alla madre, augurandosi che possa presto raggiungerlo da Trieste a Bologna. Cosa che accade nella primavera del 1913, quando entrambi vanno ad abitare in un appartamento in via dei Mille.⁶

Sette anni dopo, il 27 dicembre del 1920, Vittoria Melli muore, lasciando Guido in uno stato di prostrazione profonda che durerà per diversi anni, e non lo abbandonerà mai del tutto. «Anch'io ho conosciuto il dolore, e come finché la mamma viveva io non riuscivo a provare alcun vero dolore, ora che non c'è più non proverò più alcuna gioia vera. Lei sarà stata per me tutta la gioia e tutto il dolore»,⁷ scrive all'amico Ferruccio Elias qualche mese dopo, nel febbraio del 1921.

E all'ex commilitone durante la Grande Guerra, Nicola Reale (lui e Guido Horn erano insieme nella 98esima Batteria d'assedio),⁸ ripete: «Tu che sapevi l'avidità con cui al fronte leggevo le notizie di mia madre, potrai misurare facilmente l'immensità della mia sventura».⁹

Era il tempo in cui Horn, da buon triestino, e soprattutto da irredentista convinto, combatteva per sottrarre al dominio austriaco la propria città natale. Una città con cui manterrà sempre un forte legame affettivo, e che l'astronomo rievoca spesso nelle sue missive. È la città in cui prendeva lezioni di inglese da James Joyce e lo scenario nel quale si compie la sua formazione di uomo, con le «interminabili passeggiate per il parco deserto e le migrazioni di caffè in caffè»,¹⁰ e le serate al Filodrammatico «aspettando impazientemente che alzassero il telone di ferro».¹¹ Una città definita «evoluta» quanto alle relazioni interpersonali tra individui di diverse etnie e religioni, senza problemi di confini. Un luogo al quale la mente ritornerà continuamente con trasporto nostalgico, nonostante l'avversione, mai celata, per la nazionalità austriaca. Nel marzo del 1914,

Horn scriveva infatti all'amico Ferruccio Elias: «Vorrei prendere al più presto la grande cittadinanza italiana. Senonché occorre avere lo svincolo da cotesta porca Austria».¹² E qualche mese più tardi, nell'ottobre di quello stesso anno, confessava allo storico francese Henri Bédarida:¹³

Ho letto con molto piacere e non senza emozione la storia delle Sue avventure di guerra e mentre mi rallegro con Lei degli scampati pericoli, Le auguro di poter contribuire ancora così validamente, sia con la spada che con la penna, alla vittoria ed alla gloria di cotesto nobile ed intrepido esercito francese. Noi seguiamo con ansia le vicende della guerra d'oltre confine, con fede sicura nella vittoria degli Alleati.¹⁴

Poco dopo, anche Horn, già in precedenza arruolatosi con l'esercito italiano da disertore di quello austro-ungarico, prenderà parte alla causa (si definirà sempre un «soldato del Risorgimento»). E le tracce della sua esperienza bellica rimarranno presenti anche nella biblioteca della Specola bolognese, nell'*ex libris*: un foglietto rettangolare in bianco e nero, con il motto *In puro aëre vita*. Un motto inciso da Horn su «un'assicella di legno, che [...] servì da insegna sul Piave al ricovero per i colpiti da gas asfissianti»,¹⁵ e che l'astronomo farà suo per sempre.

Ma proprio in quell'Austria tanto odiata Horn aveva compiuto i suoi studi universitari: prima a Graz e poi a Vienna, conseguendo il titolo di dottore nel 1902, con una tesi sulle orbite cometarie. E la formazione culturale mitteleuropea e lo stimolante ambiente viennese del tempo, specchio di un'Europa in rapido cambiamento a cavallo tra i due secoli, influiranno non poco sulla formazione del suo vasto orizzonte culturale di interessi.

Probabilmente per la sua natura di osservatore meticoloso e per via degli studi di storia dell'astronomia condotti sui testi antichi alla ricerca di fenomeni da indagare in un'ottica e con strumentazioni più moderne, è affascinato dalle questioni filologiche e linguistiche. Così, rispondendo a una questione posta dall'amico Arturo Castiglioni¹⁶ scrive:

Non sono sicuro che la parola "subub" abbia uno specifico significato astronomico, o astrologico, che dir si voglia. [...] Generalmente parlando la voce "subub" significherebbe "funne" ed anche "callotta", in nessuna armonia col testo; esiste viceversa la voce "sciabub" che equivale a "id quo ignis accenditur", ed altra della stessa radice [...] "masc'ub" e significante: "ignis ardens" ed anche "lucidus apparens" e via dicendo, sempre in con-

⁴ Ivi, busta 8, num. 305.

⁵ Ivi, busta 1, num. 103.

⁶ Ivi, busta 1, num. 174.

⁷ Ivi, busta 2, num. 7.

⁸ Ivi, busta 1, num. 535.

⁹ Ivi, busta 2, num. 4.

¹⁰ Ivi, busta 6, num. 429.

¹¹ Ivi, busta 2, num. 37.

¹² Ivi, busta 1, num. 411.

¹³ Henri Bédarida, storico, critico letterario e accademico francese, considerato uno dei maggiori italianisti francesi, fu anche lettore di lingua francese all'Università di Bologna e partecipò alla Prima guerra mondiale come ufficiale del Corpo di spedizione francese sul fronte italiano.

¹⁴ UNIBO, AABO, Fondo Guido Horn d'Arturo, busta 1, num. 450.

¹⁵ Ivi, busta 2, num. 617.

¹⁶ Arturo Castiglioni, triestino, irredentista, e coetaneo di Guido Horn d'Arturo, è stato un medico e docente nelle università di Siena e Padova. Anche la sua formazione è avvenuta nella Vienna imperiale.

petto di fiamma, in perfetto accordo con “ignis qui volat per aërem”. Non è impossibile dunque che lo scrittore latino abbia preso la “scin” araba per una “sin” ed abbia letto “subub” per “sciabub”. [...] Non dispero di rintracciare la parola in qualche testo d’astrologia ed allora si potrà precisare meglio il significato, che come tu già hai pensato, non può essere altro che “cometa” o stella cadente.¹⁷

E parlando dello specchio a tasselli al quale sta lavorando:

Settore e tassello sono la stessa parola; soltanto la prima è dotta e deriva da “secare” la seconda è volgare e viene da “talea” tagliare donde regolarmente tassello. [...] Sempre più espressiva la parola volgare e perciò l’ho preferita.¹⁸

Evidente, poi, la passione di Horn per le antichità greco-romane, che va dai papiri di Ercolano all’entusiasmo per la scoperta dei resti di un anfiteatro romano a Trieste, al paragone con la mitologica Aracne per la perizia con cui la nipote Lidia gli ha confezionato un maglione. E al collega Giovanni Battista Lacchini, autore di un articolo sul calendario giuliano, suggerisce:

Non parli della civiltà romana ma semplicemente del calendario giuliano perché tutto il merito spetta a Giulio Cesare mentre i Romani non capirono affatto in che consistesse la riforma e difatti appena morto lui intercalarono il bisestile ogni tre invece che ogni quattro anni e soltanto Augusto rimise le cose a posto 65 anni dopo.¹⁹

Uno spazio importante della propria vita Horn lo dedica anche allo sport, e soprattutto all’automobilismo e al calcio, che segue con particolare attenzione da grande tifoso del Bologna. «Nonostante le intemperie contrarie i “Veltri” bolognesi hanno insegnato ai Cecoslovacchi che cosa significhi il Calcio Italiano», scrive nel gennaio del ’29 alla nipote. «La porta è rimasta inviolata come sempre. [...] Questi barbari tornando in patria dovranno dire che l’unica squadra imbattibile, ossia l’unica porta insuperabile, è quella del Bologna». E poi rivela: «Dirai ai tuoi ineffabili fratellini che al “Bologna” esperimentarono una copertura di campo, fatta di tele da vele, ideata da me; avremo i campi sempre asciutti anche dopo la pioggia».²⁰ Campi di calcio che, ancor oggi,

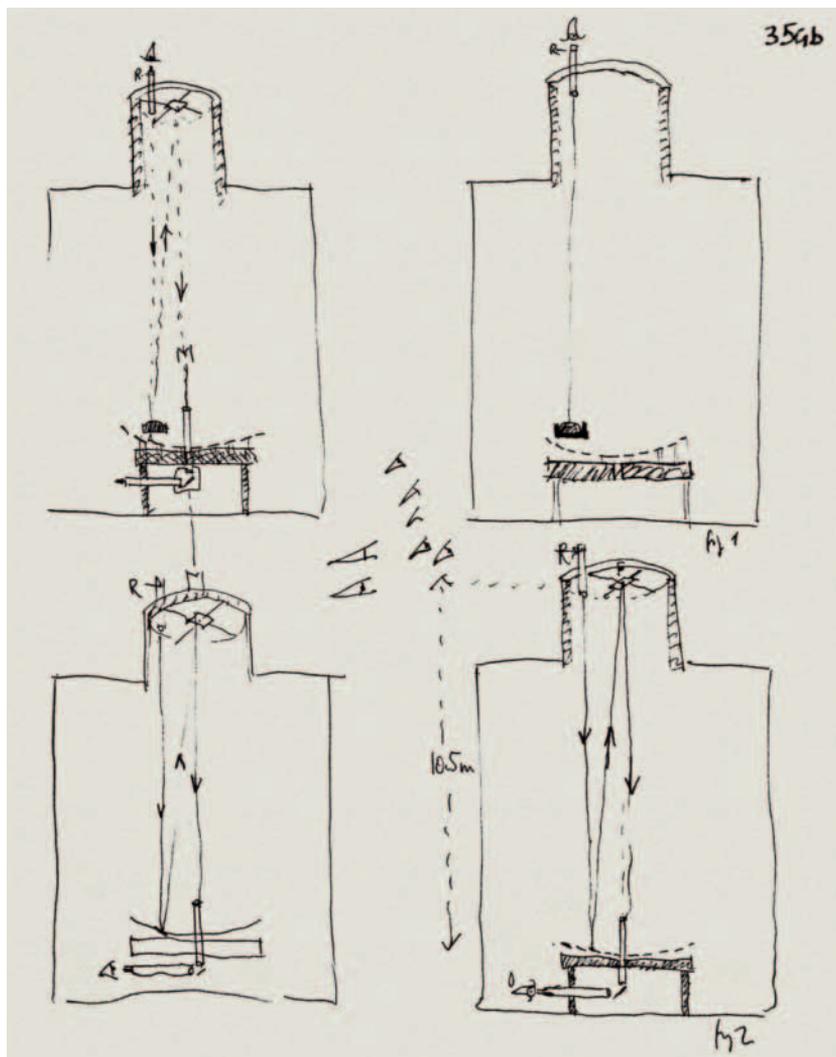


FIG. 2. In una lettera del 2 novembre 1934 all’Ing. Giaquinta, dove spiega come intende eseguire il posizionamento dei tasselli, Horn d’Arturo allega un disegno esplicativo delle procedure descritte per il loro centraggio e la messa fuoco mediante collimatore, micrometro e superficie di mercurio. (UNIBO, AABO, Fondo Guido Horn d’Arturo, busta 8, num. 354)

vengono ricoperti da teloni per proteggere il manto erboso dalla pioggia, prima di una partita.

Altro tipo di gioco che lo appassiona, e non poco, è senza dubbio il gioco degli scacchi. Una passione che nell’aprile del 1933 lo porterà a sfidare addirittura Efim Bogoljubov, scacchista tedesco di origine ucraina, Grande Maestro di scacchi. «Il maestro Bogoljubov giocò martedì sera a Bologna ventitré partite simultanee; essendo io stato uno degli avversari ebbi anche la fortuna di vincerlo con altri quattro»,²¹ racconta lo stesso Horn.

Una passione che l’astronomo condivide soprattutto con l’amico Giorgio Morandi, compagno nelle visite alla Biennale d’arte veneziana («Stasera andrò da Morandi a vedere certe acqueforti che è in procinto di mandare all’esposizione di Venezia»),²² e non solo, come si può leggere in questo stesso fascicolo del «Giornale di Astronomia», nella rubrica “Cieli d’inchiostro”.

¹⁷ UNIBO, AABO, Fondo Guido Horn d’Arturo, busta 3, num. 114.

¹⁸ Ivi, busta 7, num. 215.

¹⁹ Ivi, busta 9, num. 816.

²⁰ Ivi, busta 6, num. 4.

²¹ Ivi, busta 7, num. 421.

²² Ivi, busta 5, num. 346.

Ciò che invece non sembra entusiasmarlo è la montagna. Con l'amico Alfredo Corti, infatti, scienziato, alpinista e uno dei maggiori esploratori dei monti valtellinesi, Horn ironizza così, nel maggio del '34:

Scrivimi che progetti hai per l'estate e l'autunno; s'intende progetti di pianura, perché non potrai pretendere che ti segua nell'atmosfera rarefatta, sebbene il motto mio e dell'Osservatorio sia "In puro aëre vita". La sola vista dei precipizi figurati mi dà le vertigini. [...] Già la passione della montagna è propria d'un età anomala come la presente, mentre gli antichi non la conoscevano, e i poeti cantavano bensì le cime, ma come si vedevano dal piano. Non vedo l'ora che la navigazione aerea si sviluppi al segno da rendere accessibili a chi che sia le vette più impervie e cessi il piacere morboso dell'arrampicamento. Già io lo proibirei per legge, come il suicidio e il gioco d'azzardo.²³

Un concetto, quello di montagna, che Horn non apprezza molto nemmeno come metafora. «Non posso ammettere quel chiamare in aiuto le Alpi, ogniqualvolta si debba esprimere l'immenso, l'eccelso ecc.», scrive. «Non c'è nulla al mondo di meno rilevante che l'altezza delle montagne terrestri. Sopra un globo di due metri di diametro, la montagna più alta misurerebbe proporzionalmente poco più d'un millimetro».²⁴ Se si parla, però, di osservazioni astronomiche, la prospettiva cambia: «*Caeteris paribus* l'astronomo sceglierà sempre la cima più alta, su cui la luce degli astri arriva dopo aver attraversato uno strato meno denso di coltre atmosferica».²⁵

Contrariamente alla montagna, a incuriosirlo e interessarlo sempre sono le lingue straniere. Horn, infatti, non solo ama leggere testi e opere letterarie nella loro lingua originale, ma si esprime correntemente in tedesco, inglese e francese. Intende con qualche difficoltà l'olandese e si mette a studiare il norvegese, con la prospettiva di recarsi in Norvegia, e il russo, del quale dirà: «Il russo non dà che soddisfazioni grammaticali. [...] Interessante è il trovarvi tutte le radici delle altre lingue, appena appena contraffatte, e specialmente del greco, che [...] divenne l'essenza non solo della lingua, ma anche della religione di quei popoli».²⁶

Il suo vasto orizzonte di interessi spazia ancora dalla filosofia alla musica. E nell'estate del 1931, soffermandosi sull'influenza che ebbero in Francia i romantici italiani, Horn scrive:

Sarebbe interessante considerare parallelamente all'influenza letteraria anche quella musicale strettamente affini, ed è certo che la penetrazione del romanticismo letterario è stata agevolata dal grande favore ond'era tenuta dai Francesi la nostra musica fin dal settecento. Ed io penso che il principale veicolo di cui si servì la lingua italiana per passare le Alpi sia stato il libretto d'opera, men-

tre i grandi autori che Ella ricorda dall'Alighieri al Manzoni non furono mai propriamente popolari ma correva- no solamente per le mani dei dotti. [...] In generale il Francese, troppo ghiotto dell'*esprit*, non gusta sempre la letteratura italiana, che ne manca interamente, intonata com'è al solenne e al lapidario ed è perciò che di tutti i secoli il più accessibile e confacente al gusto francese è stato l'ottocento, che più s'allontana dalla monumentalità del classicismo.²⁷

Proprio in Francia aveva preso vita quella "settima arte", il cinema, di cui Horn praticamente assiste alla nascita e ai rapidi sviluppi successivi. E sul cinematografo, che egli definisce come un «mirabile strumento, imitatore del pensiero umano»,²⁸ il 18 gennaio del 1929 scrive all'amico Bonacini:

Le dirò che secondo me il cinematografo non ha dato ancor quello che potrà dar in avvenire, quando non lo si userà più per rappresentare il dramma esteriore della vita umana, nella trattazione del quale argomento sarà sempre preferibile la scena con la parola parlata, ma piuttosto la vita interiore e le scene rappresenteranno non gli avvenimenti effettivamente vissuti dal soggetto, ma la sua vita immaginaria, ossia quella che il soggetto vorrebbe o non vorrebbe vivere. Quanti drammi si svolgono nella sola mente del soggetto, che a giudicare dalla sua vita esterna, conduce l'esistenza più tranquilla e più normale! Così uno dei difetti principali del cinematografo che è il suo mutismo, diventerà un pregio perché il dramma mentale è silenzioso e costituito quasi interamente da scene e non da parole. Quanto efficace sarebbe per esempio la rappresentazione dei fantasmi che popolano la mente del soggetto da mania di persecuzione, e il ritorno intollerabile della idea fissa, da cui il soggetto tenta invano di liberarsi. Noi siamo abituati al dramma ordinario che ha un principio uno svolgimento ed una fine, ma il dramma mentale non ha né principio né fine, e nasce e muore col soggetto. Al più si trasforma con l'avanzare degli anni; dimodoché i diversi atti del dramma comprenderanno tre o quattro epoche diverse della vita del soggetto.²⁹

Sono gli anni in cui si lavora già sull'introduzione dell'audio nel mondo del cinema, e sull'argomento Horn esprime la sua idea all'amica Maria Maggi:

Secondo me c'è posto nel mondo per entrambi i metodi, e come il teatro vivo è sopravvissuto e sopravviverà al cinematografo muto, così il muto sopravviverà al parlato e proseguiranno ciascuno per la sua via dividendosi gli argomenti per cui l'uno è insufficiente e l'altro adatto e viceversa. Ma la moda è moda e può darsi che nei primi tempi s'oscuri la fama del muto e decadano temporaneamente artisti e società famosissime ed ancora potenti. A queste potrebbe tornar comodo in questo momento un'idea nuova e bisognerebbe presentarsi col lavoro bell'epronto. Non però l'argomento troppo nostro del Leopardi; occorrerebbe escogitare un argomento più internazionalmente conosciuto, per esempio la vita dello

²³ Ivi, busta 8, num. 221.

²⁴ Ivi, busta 4, num. 527.

²⁵ Ivi, busta 5, num. 25.

²⁶ Ivi, busta 7, num. 124.

²⁷ Ivi, busta 6, num. 612.

²⁸ Ivi, busta 6, num. 81.

²⁹ Ivi, busta 6, num. 16.

stesso Charlot: la vita misera nel ghetto nativo, più tardi la vita stentata del clown da circo o da teatro di varietà sognante però la gloria futura, i pubblici deliranti, la ricchezza [...]; il vagabondo con l'animo onesto; il pezzente dal fare signorile. L'artista che medita e prova la truccatura più adatta e la cambia e la ricambia e come gli baleni l'idea del frizzo o della smorfia.³⁰

Ma presto anche il cinema "parlato" conquista l'astronomo triestino: «Il sogno d'una notte di mezz'estate è un capolavoro nella ricostruzione Reinhardiana e vi sono scene indimenticabili come quella dei pipistrelli e l'altra della coltre nera tirata sul mondo da Oberon», scrive Horn alla nipote Lidia, il 22 febbraio del 1935.

Non dico poi il personaggio di Puck che avrebbe provocato l'ammirazione dello stesso Shakespeare che l'ha creato: quest'obbediente figlio della selva che per incanto cancella il vecchio e suscita il nuovo amore negli amanti assume sullo schermo veramente l'aspetto del soprannaturale e vince in qualche momento la stessa parola shakespeariana. Quale autore da cinematografo sarebbe stato lo Shakespeare, che sentiva il sogno di mutare continuamente la scena (non come nella tragedia greca) e si sarebbe valso delle illimitate possibilità del cinematografo per portare gli attori e con essi lo spettatore fuori del mondo materiale.³¹

Shakespeare, insieme al Leopardi del quale possiede preziose edizioni, è uno dei principali amori letterari di Horn. Quegli amori che ne completano il ritratto di autentico umanista contemporaneo, e tra i quali non possono non essere citati anche il Gioberti («leggo avidamente il Rinnovamento civile del Gioberti, dopo aver divorato i Prolegomeni e sono contento d'aver conosciuto finalmente il più grande scrittore di cose politiche dopo il Machiavelli; a Trieste non ce lo facevano leggere»),³² il Foscolo, e il poeta tedesco Heinrich Heine, particolarmente apprezzato per la vena umoristica, così tanto cara all'astronomo triestino.

È proprio l'ironia, infatti, che può sicuramente essere definita come il tratto saliente della sua personalità.

Secondo me, l'ironia è lo sguardo e il commento più adeguati dei multipli aspetti delle cose; – spiega Horn – la verità illuminandone col suo raggio rettilineo una faccia sola, ne trascura tutte le altre. Anzi, quanto più intensamente l'uomo mira alla verità, tanto più sicura-

³⁰ Ivi, busta 6, num. 75.

³¹ Ivi, busta 9, num. 98.

³² Ivi, busta 7, num. 22.

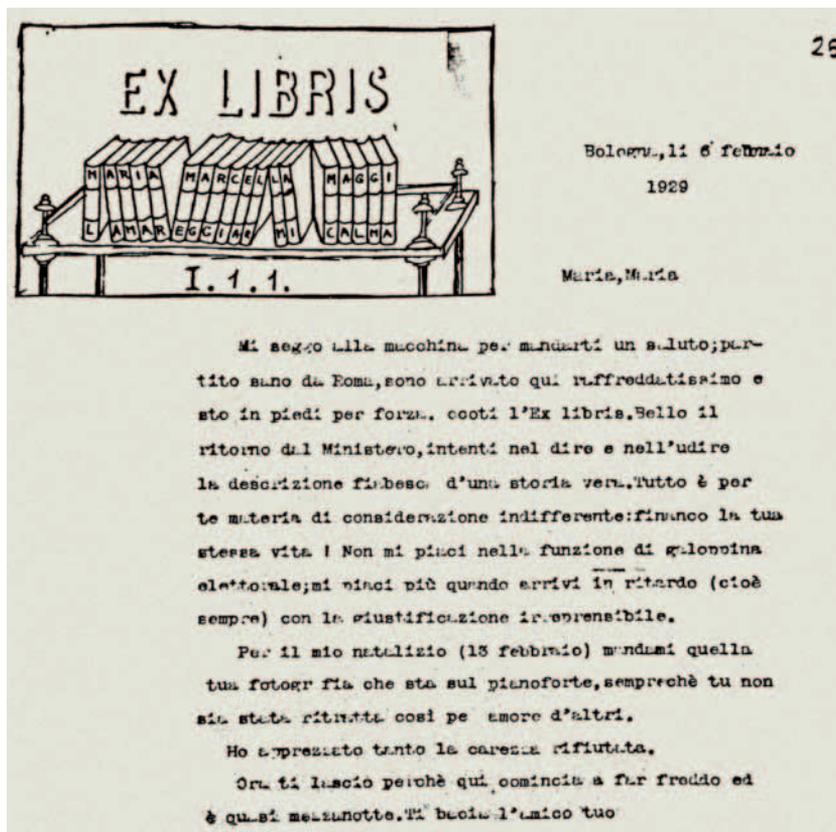


FIG. 3. Lettera a Maria Maggi del 6 febbraio 1929: nell'ex libris si legge il nome dell'amica, "MARIA MARCELLA MAGGI" e la scritta "L'AMAREGGIAR MI CALMA". (UNIBO, AABO, Fondo Guido Horn d'Arturo, busta 8, num. 5)

mente riesce lontano dal vero. È ingiusto considerare l'ironia come un vano ornamento della conversazione: essa è uno strumento della scienza, che Socrate e Platone insegnarono ad usare ed Aristotele a bandire dall'uso e dallo studio del mondo, con le dannose conseguenze che tutti sanno".³³

Un'ironia che l'astronomo mette in mostra in ogni momento e contesto della sua vita. Così come quando, scrivendo (peraltro su carta intestata dell'Osservatorio di Bologna) al direttore dell'Istituto di Chimica, il cui personale aveva l'abitudine di versare liquidi puzzolenti ai piedi della Torre della Specola, Horn si augura che «il cortile dell'Osservatorio non sia più considerato come ricettacolo di rifiuti, e sia purificata l'aria dai miasmi, intollerabili ad esseri umani, in generale, ed in particolare alla famiglia astronomica, che si è scelta il motto: *in puro aëre vita*».³⁴

Sempre in modo ironico Horn commenta anche le vicende politiche del suo tempo, dimostrandosi un attento osservatore non solo delle "cose celesti", ma anche della realtà che lo circonda, e non risparmiando a nessuno le sue critiche taglienti. Durissime, ad esempio, sono le parole che nel Primo dopoguerra esprime nei confronti dell'allora Presidente statunitense, Wilson:

³³ Ivi, busta 1, num. 569.

³⁴ Ivi, busta 6, num. 222.

Il mondo è ammalato ed ha bisogno d'un buon medico; Wilson invece che pretendeva di guarire l'umanità è piuttosto un veterinario e speriamo che cominci ad occuparsi più dell'afta epizootica americana e meno della cancrena europea.³⁵

Di buoni "medici", dal punto di vista di Horn, c'era carenza anche in Italia. Forti, infatti, sono anche le sue perplessità sull'operato dei governi italiani, e anche qui non manca di certo dell'ironia:

L'aver omesso il Governo d'occupare ed i territori contemplati nel Patto di Londra, al momento opportuno, cioè all'epoca in cui Orlando e Sonnino abbandonarono Parigi (con animo di coreografi più che con mente di uomini politici) spinse, nel momento più inopportuno, D'Annunzio ad un'impresa monca, tanto più dannosa all'Italia quanto meglio riuscirà. Il Governo non doveva farsi rimorchiare da D'Annunzio, ma impiegare l'esercito regolare nell'occupazione di tutta la Dalmazia; ancora oggi potrebbe farlo e nessuno si muoverebbe. Un'occasione simile non si ripresenterà più: la Germania impotente, la Russia soppressa, l'Inghilterra con la rivoluzione in casa, Wilson sulla soglia del manicomio, la Francia giustamente preoccupata del suo incerto avvenire. Financo i poeti hanno compreso ch'era venuto il momento d'agire.³⁶

L'attenzione di Horn agli avvenimenti politici rimarrà costante anche negli anni successivi, e intervenendo sulla possibilità di un riavvicinamento tra Governo italiano e Santa Sede, 14 aprile 1922 scrive all'amico ed ex sacerdote Rainaldi:

Discorrerei volentieri con te anche sugli ultimi avvenimenti ecclesiastici e sull'insana tendenza di pacificare lo Stato con la Chiesa, tendenza che a me sembra dannosa non meno alla Chiesa che allo Stato. Con una dinastia assente ed incolore come i Savoia la pacificazione vorrebbe dire l'Italia papale. Basta pensare al delirio del popolo di Roma al solo affacciarsi del Pontefice sulla piazza a San Pietro. Che poi, se uscisse dal Vaticano e cominciasse a girare per l'Italia, di fronte alla maestà religiosa svanirebbe il grigioverde di Vittorio Emanuele III.³⁷

E sempre allo stesso Rainaldi confesserà quattro anni dopo:

Io m'aspetto che tra poco mi mandino certi inviti che vado trovando nei vecchi libri della specola e diretti ai direttori del tempo: "La S.V. è invitata ad assistere in abito nero alla messa ecc.". Questi fascisti, dopo aver salvato l'Italia, la vogliono assassinare.³⁸

L'ironia di Horn rimane sempre la stessa anche in un contesto socio-politico, quello italiano e non solo, decisamente mutato. Quel contesto che, nel marzo del 1935, lo porta a declinare l'invito a un convegno in Svizzera.

Temo – scrive l'astronomo – che la mia presenza possa essere poco gradita ad un'assemblea di nazisti e razzisti,

³⁵ Ivi, busta 1, num. 530.

³⁶ Ivi, busta 1, num. 545 a-b.

³⁷ Ivi, busta 2, num. 324.

³⁸ Ivi, busta 4, num. 193.

per usare queste leggiadrissime parole; essendo stati espulsi tutti gli Ebrei, mi pare poco dignitoso il partecipare al convegno, benché su suolo svizzero si asterranno da dimostrazioni politiche.³⁹

E qualche mese dopo, in una lettera indirizzata al fratello confessa:

Ieri sera ho ascoltato una conferenza stupenda di Antonio Baldini⁴⁰ dove si udirono nuovamente parole come libertà e dignità umana, che sembravano bandite dal vocabolario moderno. Parlava della "Prosa del Carducci" e ad un certo punto m'accorsi che piangevo.⁴¹

Il 1935 è l'anno delle Leggi di Norimberga, e Horn non nasconde le proprie inquietudini:

Mi preoccupa la convulsione universale che si prepara. La quale trova l'Europa già stanca d'una guerra e di un dopoguerra; mentre nel 1914 le ferite venivano inferte sul corpo sano, ora piangono il corpo già provato per non dire sfinito.⁴²

Tre anni dopo, proprio in quella Trieste cui Horn è tanto legato, Benito Mussolini annuncia l'imminente promulgazione delle leggi razziali.

Mi sento mancare anch'io la terra sotto ai piedi. – confessa l'astronomo – L'unico conforto è il pensiero che le conseguenze ricadranno soltanto sopra di me e non sopra moglie e figli che avrei potuto avere dando retta a quelli che fino a poco fa m'incitavano ancora a sposarmi!⁴³

E il 21 ottobre del 1938 Horn vive uno dei momenti di maggiore sconforto, dovuto alla perdita del proprio posto da docente e alla rinuncia forzata alla direzione degli Osservatori di Bologna e Loiano.

Ieri consegnai Lojano al prof. Dore – racconta lo stesso Horn – Da principio mi feci forza, ma quando l'automobile prese la via del ritorno e dai Sabbioni si dileguò alla vista il colle dell'Osservatorio ed i due edifici che avevo veduto nascere dalle fondamenta, proruppi in un amarissimo pianto, che non riuscii a frenare per tutto il tragitto, a nulla valendo i banali conforti dei miei due compagni. A Dore che mi confortava dissi che egli vedeva piangere uno solo, ma che tutto un popolo piangeva ingiustamente.⁴⁴

Poco dopo, nel novembre di quello stesso anno, pre-sagisce all'amico triestino Ugo Quarantotto: «Lo stato attuale pur gravissimo è uno scherzetto in confronto di quello che ci aspetta, e finché lo sterminio non sia stato dichiarato troverò ogni cosa accettabile».⁴⁵

È il momento in cui Horn pensa anche a un suo possibile allontanamento da Bologna, e prende in

³⁹ Ivi, busta 8, num. 577.

⁴⁰ Antonio Baldini, romano e di dieci anni più giovane rispetto a Guido Horn d'Arturo, è stato uno scrittore, giornalista e saggista italiano.

⁴¹ UNIBO, AABO, Fondo Guido Horn d'Arturo, busta 8, num. 654.

⁴² Ivi, busta 8, num. 860.

⁴³ Ivi, busta 10, num. 60.

⁴⁴ Ivi, busta 10, num. 336, 343.

⁴⁵ Ivi, busta 10, num. 398.

seria considerazione un suo ritorno a Catania, città in cui ha già lavorato nei primissimi anni della sua carriera. Il 27 gennaio del 1939, infatti, scrive all'allora Direttore dell'Osservatorio siciliano:

Mi racconti qualche novità interessante e se l'antisemitismo si faccia molto sentire a Catania, dove credo però che non ci sieno affatto ebrei come non vi erano a tempo mio. [...] Mi ricordo di quel lontano 1907 quando stavo seduti l'uno di fronte all'altro nello stanzino contiguo allo studio del povero Riccò. Io ricevevo le lettere di Olga che ora vive a Parigi in una soffitta dove la rividi nel 1935. E pensare che tra poco finirò anch'io in soffitta, se sopravviverò alla persecuzione. Pensavo di venirmi a stabilire in Sicilia per avere il conforto (oltre che degli amici) della bellissima natura e del clima dolce. [...] Probabilmente però resterò a Bologna fino al prossimo maggio.⁴⁶

Tuttavia, le difficoltà del momento non riescono a intaccare a fondo il suo modo d'essere, e quell'umorismo che guiderà Horn per tutta la vita, non lo abbandona nemmeno negli anni più difficili e bui della guerra e della persecuzione razziale. Ancora nell'ottobre del 1939 scrive all'ex allievo, oramai collega e soprattutto amico Jacchia:

L'umorismo è una forza irresistibile e conta nella vita dell'uomo assai più che la forza brutale; esso disarmava l'avversario e ci conquista la simpatia di quei pochi che lo comprendono. L'Italia che ha prodotto geni in tutti i campi vanta pochissimi umoristi e questi poco apprezzati; i Romani poi ne erano affatto digiuni; lo stesso dicasi della loro letteratura salvo nella bassa latinità che imitò qualche volta lo spirito greco con successo. C'è qui l'umorismo scenico ma di scarsa efficacia perché non sempre di prima mano ed oltre a ciò preparato; la quale preparazione guasta il piacere, che diventa invece sommo quando brilla nella conversazione e specialmente nel dialogo. Nella mia famiglia l'umorismo è ereditario e mio nonno paterno aveva una prontezza sorprendente in tale materia; [...] dicono che pure mio padre (che morì quando io non avevo ancora tre anni) avesse una vena

⁴⁶ Ivi, busta 10, num. 504.

sottilissima di spirito che informava ogni suo discorso. Questa preziosa energia umana non vien meno con l'età, ed i vecchi quando abbiano perduto la vivacità in altre cose la conservano nell'umorismo e si narra di costoro che persino le ultime parole mormorate prima di spirare contengano per lo più una celia.⁴⁷

E ironico è l'aneddoto che racconta a Lacchini nell'agosto del '43.

Veramente non dovrei più pensare a far l'astronomo dopo il caso occorsomi la sera del 14 quando tornandome da cena ed alzando gli occhi al cielo vidi un magnifico primo quarto di Luna; allora dissi fra me: o che io sono impazzito o ieri sera eravamo molto prossimi al plenilunio? Mentre ero assorto in queste considerazioni un passante vedendomi guardare la Luna mi disse: mi pare che la Luna sia eclissata! Insomma, l'uomo qualunque aveva capito prima di me che ero astronomo che si trattava di un'eclissi e me ne tornai a casa tutto sconsolato: è finita!⁴⁸

In realtà non sarà così, e scampato il pericolo della persecuzione nazifascista, Horn ritornerà alle osservazioni di quel cielo stellato che tanto amava, e porterà avanti i propri studi sempre con quello spirito che, nel gennaio del 1919, a pochi mesi dalla conclusione della Grande Guerra, lo portava a scrivere:

L'Italia ha bisogno d'una gioventù entusiasta e non d'una gioventù ragionevole, e sia prima che durante che specialmente dopo la guerra s'è visto e si vedrà quanto è inutile, se non dannosa, la tendenza di giudicare le imprese al lume dei "calcoli", intimando silenzio alla voce del sentimento. I "calcolatori" del 1915 avevano preveduto Caporetto, mentre gli entusiasti d'allora presentivano la vittoria finale.⁴⁹

⁴⁷ Ivi, busta 10, num. 784.

⁴⁸ Archivio Lacchini, Lettera del 19 agosto del 1943; si ringrazia Maria Vittoria Lacchini, nipote di Giovanni Battista, per averci consentito di esaminare il materiale presente nell'Archivio Lacchini di Faenza, da lei accuratamente riordinato.

⁴⁹ UNIBO, AABO, Fondo Guido Horn d'Arturo, busta 1, num. 476.

Stefano Sinicropi, nato a Reggio Calabria, nel 2015 ha conseguito la Laurea Magistrale in Scienze storiche presso l'Università di Bologna, con la tesi *Il viaggio del Pentcho. Una comunità ebraica da Bratislava a Ferramonti di Tarsia*, che ha prodotto la monografia: *Il viaggio del Pentcho. Le anime salvate* (2016), per Edizioni Prometeo, Castrovillari (CS). Nello stesso anno ha iniziato il Dottorato in Studi ebraici presso l'Università di Bologna e l'École Pratique des Hautes Études di Parigi.

Cieli d'inchiostro★

A cura di Agnese Mandrino¹, Mauro Gargano², Antonella Gasperini³

¹ INAF · Osservatorio Astronomico di Brera

² INAF · Osservatorio Astronomico di Capodimonte

³ INAF · Osservatorio Astrofisico di Arcetri

Dalla “o” di Giotto alla “generatrice” di Morandi, attraverso lenti prismatiche e spettri di stelle cadenti, con un *excursus* da Copernico a Janet Abramowicz e Teresa Żarnower

Fabrizio Bònoli

Alma Mater Studiorum · Università di Bologna

11 luglio 1933

Caro Morandi

Bisognerebbe che lei venisse qui con un pennellino per ricoprire con un colore abbastanza denso la superficie conica del prisma, all'infuori di una sottilissima generatrice: e come si dice l'“o” di Giotto si dirà in futuro la “generatrice” di Morandi per indicare il limite insuperabile della perfezione. Il colore dovrebbe essere tale da impedire il passaggio della luce, senza tuttavia danneggiare la levigatezza del cristallo. A tra poco dunque. Il suo [Horn d'Arturo]¹ (FIG. 1: IL DOCUMENTO)

COME abbiamo accennato nell'articolo su Guido Horn d'Arturo e il suo specchio a tasselli in questo stesso numero del «Giornale di Astronomia», l'astronomo era legato, sin dalla fine degli anni Venti, da una profonda amicizia con il famoso pittore Giorgio Morandi (1890-1964), titolare dal 1930, “per chiara fama”, della cattedra di Incisione all'Accademia di Belle Arti di Bologna (FIG. 2).

Un'amicizia quarantennale che si traduceva in gite insieme, per esempio a Ferrara o alla Biennale di Venezia, come testimoniano alcune delle lettere presenti nell'Archivio storico del Dipartimento di

* In questa rubrica, iniziata nel n. 1/2012, i curatori intendono presentare “frammenti di passato” provenienti dagli archivi astronomici, sia per aumentare la conoscenza degli archivi stessi, sia perché quei “frammenti” ci possano raccontare una sia pur breve storia degli uomini che, nelle nostre istituzioni, si sono dedicati allo studio del cielo.

¹ Archivio storico del Dipartimento di Astronomia (d'ora in poi AABO), Fondo Guido Horn d'Arturo, Epistolario privato, b. 7, f. 525.

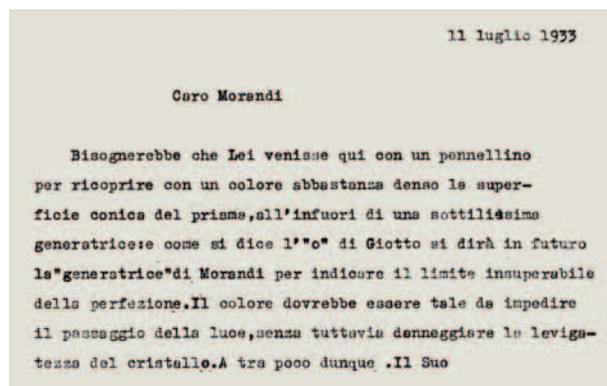


FIG. 1.

Astronomia,² o anche nelle regolari settimanali visite dell'artista alla Specola per interminabili partite a scacchi e lunghe chiacchierate con l'astronomo, come ci viene confermato da una nota artista americana di origine polacca, Janet Abramowicz, che era stata allieva e assistente di Morandi presso l'Accademia di Belle Arti dal 1952 al 1954 (FIG. 3).³

Infatti, nel suo libro biografico su Giorgio Morandi,⁴ l'Abramowicz ricorda come lei e il suo maestro andassero spesso a trovare Horn d'Arturo «uno dei suoi [di Morandi] migliori amici» e come fossero soliti parlare sia di arte che di astronomia,

² Per informazioni sull'Archivio storico del Dipartimento di Astronomia (AABO), si veda BÒNOLI F. in questo stesso numero del «Giornale di Astronomia».

³ Vedi: <http://janetabramowicz.com/CSbiography.html>.

⁴ J. ABRAMOWICZ, *Giorgio Morandi: The Art of Silence*, New Haven, Yale University Press, 2004, pp. 218-219.



FIG. 2. Giorgio Morandi nel suo studio, in una foto degli anni Sessanta.

delle lettere di Galileo a Cosimo II de' Medici e dell'universo che è "scritto in lingua matematica", di Leopardi e delle sue *Operette morali*, tra le quali Morandi amava soprattutto il *Copernico*.

Fra le lettere di Horn d'Arturo a Morandi di cui parlavamo, quella che abbiamo trascritto all'inizio solleva una certa curiosità: l'astronomo che scrive all'artista (che tra l'altro insegnava nell'Accademia a non più di 50 metri dalla Specola) per chiedergli di dare (potremmo dire) "una mano di vernice nera" a un prisma, lasciando libera solo una sottile "generatrice"? Di cosa si tratta?

Ebbene, nella sua incredibile frenesia intellettuale, Horn d'Arturo si era dedicato a un problema che era allora di un certo interesse: gli spettri degli sciami meteorici, il cui studio avrebbe potuto fornire dati importanti, da una parte, sulla costituzione dell'alta atmosfera, dall'altra, sulla composizione delle comete generatrici degli sciami e quindi sulla formazione ed evoluzione del Sistema solare. Tuttavia, la rapidità del fenomeno astronomico e la sua casualità di apparizione su tutta la volta celeste facevano sì che fosse praticamente impossibile osservare lo spettro di una meteora. Infatti, dal primo spettro fotografico, identificato fortuitamente da Williamina Fleming (1857-1911) su una lastra presa nella Stazione di Arequipa, in Perù, nel giugno 1897,⁵ sino al 1931, ne erano stati acquisiti solo 8, secondo quanto riportato all'epoca dall'astronomo canadese Peter

⁵ E. C. PICKERING, *Spectrum of a meteor*, «Astrophysical Journal», 6, 1897, pp. 461-462. La lastra in questione fu ripresa dal telescopio "Bache" da 8 pollici della Boyden Station in Perù, dotato di prisma obiettivo, durante il programma di survey stellare spettroscopica dell'Harvard College Observatory come parte dell'Henry Draper Memorial; tentativi successivi dello stesso Pickering di ottenere altri spettri meteorici non ottennero successo.



FIG. 3. Janet Abramowicz alla pressa di incisione, negli anni Cinquanta. (Da: Barry Goralnick, *Me and Janet (Abramowicz)*, <http://barrygoralnick.com/blog/2013/10/me-and-janet-abramowicz/>)

Millman (1906-1990), pioniere della spettroscopia meteorica.⁶

Horn d'Arturo aveva così pensato di poter osservare spettroscopicamente una rilevante sezione della volta celeste mediante un prisma applicato a un'opportuna camera fotografica e, come sua consuetudine, affronta il problema da un punto di vista di ottica geometrica, descrivendo in dettaglio la teoria e le prime prove eseguite.⁷

Si procura, nel 1934, una macchina fotografica portatile tedesca *Ernemann*, modello *Ermanox*, della prima metà degli anni Venti, con *chassis* portalastre $4,5 \times 6$ cm. Si tratta di una delle macchine fotografiche storicamente più importanti, soprattutto per la luminosità, $f/2$, del suo obiettivo *Ernostar* da 100 mm, di gran lunga il più luminoso dei suoi tempi, e per questo fu la fotocamera delle forze armate tedesche e di molti reporter, soppiantata solo pochi anni più tardi dalla *Leica*. Horn d'Arturo disegna appositamente due lenti coniche con un angolo alla base di 23° e le commissiona, nel 1933, al "Premiato Laboratorio di Ottica Scientifica e Commerciale" fiorentino di Angiolo Ciabilli (FIG. 4).⁸ La più grande delle due (diam. 7,5 cm) può essere applicata come "prisma obiettivo" sulla fotocamera e produrre così gli spettri degli oggetti nel campo di vista.

Le prime, soddisfacenti, prove vengono eseguite in laboratorio, utilizzando come sorgente una lam-

⁶ P. M. MILLMANN, *An analysis of meteor spectra*, «Harvard Annals», 82, 1932, pp. 113-146; *The spectra of meteors*, «J. Roy. Astron. Soc. Canada», 27, 1933, pp. 150-154; *Spectrum of a fireball, Feb. 26, 1933*, *ivi*, pp. 353-354. Vedi per le osservazioni odierne: J. RENDTEL, R. ARLT (eds.), *Handbook for Meteor Observers*, International Meteor Organization, 2015 (www.imo.net/resources/free-meteor-books/).

⁷ G. HORN D'ARTURO, *L'uso d'una lente conica nella spettrografia delle stelle*, «Pubblicazioni dell'Osservatorio Astronomico della R. Università di Bologna», 11, 15, 1934; *L'uso di una lente conica nella spettrografia delle stelle cadenti*, «Memorie della Società Astronomica Italiana», VII, 1934, pp. 363-368; *La diacaustica d'una lente conica obbiettiva*, *ivi*, pp. 369-392.

⁸ Sia la fotocamera *Ernemann* che le due lenti coniche di Ciabilli sono esposte al Museo della Specola dell'Università di Bologna.



FIG. 4. La fotocamera Ernemann esposta al Museo della Specola dell'Università di Bologna. Sull'obiettivo *Ernostar f/2* è montata la lente conica progettata da Guido Horn d'Arturo. (Foto F. Bòboli)

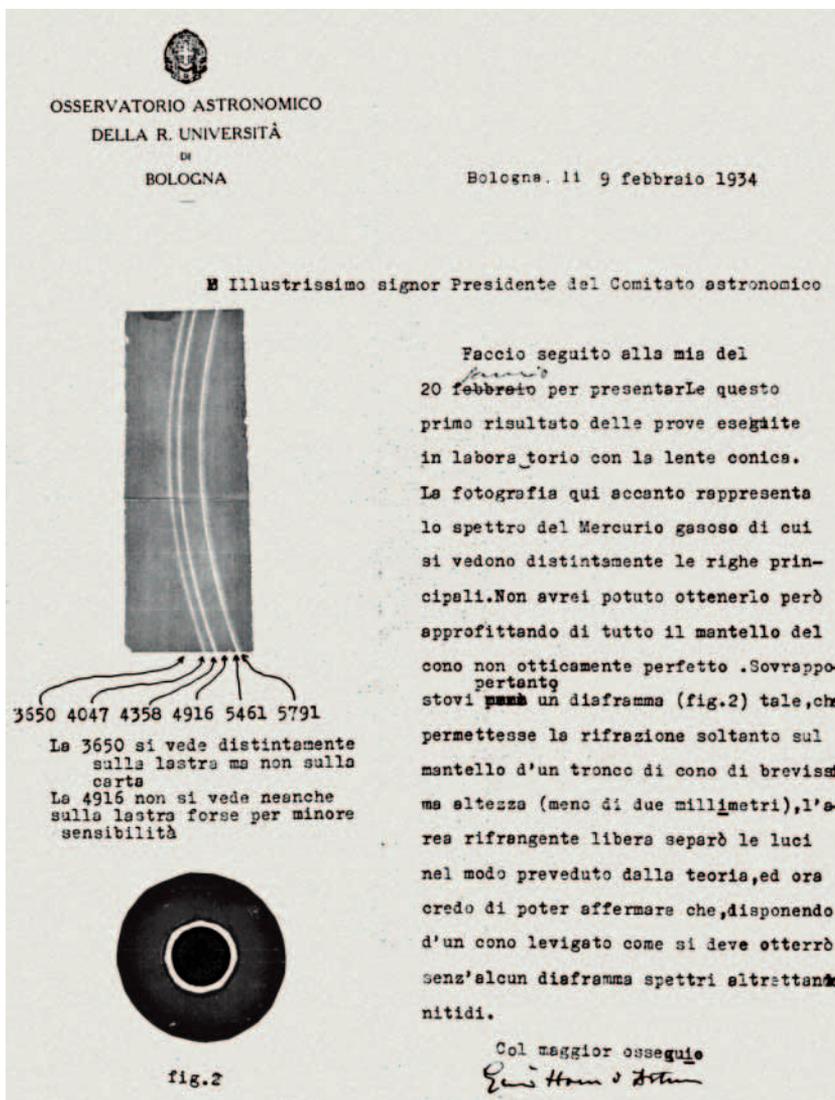


FIG. 5. Lettera di Guido Horn d'Arturo a Emilio Bianchi, del febbraio 1934, in cui descrive i primi risultati di laboratorio della lente conica, mostrando le righe identificate dello spettro del mercurio e il diaframma utilizzato. (Archivio storico dell'Osservatorio Astronomico di Brera)

pada al mercurio e, preparando la pubblicazione sulle «Memorie della Società Astronomica Italiana», Horn d'Arturo ne mette subito al corrente Emilio

Bianchi (1875-1941), presidente del Comitato Astronomico Nazionale del CNR e direttore dell'Osservatorio Astronomico di Brera, cui scrive allegando sia una foto dello spettro del mercurio, in cui si vedono distintamente alcune righe, che del diaframma utilizzato sulla lente conica (FIG. 5).⁹ Tale diaframma ricopriva completamente la lente conica, eccetto per un anello che consentiva che «di ogni generatrice rimanesse libero soltanto un segmento di poco più di 2 mm [di spessore]», per diminuire le imperfezioni della lente.¹⁰

Ed ecco che finalmente si spiega la “generatrice” che l'astronomo aveva chiesto all'artista di realizzare sulla lente, con la stessa perizia con cui Giotto aveva tracciato la sua famosa “o”.

Si recò poi Morandi alla Specola «con un pennellino e con un colore abbastanza denso» per eseguire l'opera? È quella che si vede sul diaframma nella lettera a Bianchi e sulle «Memorie» la famosa “generatrice di Morandi”?

Non lo sappiamo: dai documenti d'archivio non risulta alcunché. Così come non si trovano informazioni su quanto poi la lente conica sia stata utilizzata in cielo. È stata ritrovata la *Ernemann*, con l'obiettivo *Ernostar f/2*, perfettamente funzionante, e anche le due lenti coniche del Ciabilli, ma in archivio vi sono solo alcune lettere con cui Horn d'Arturo chiede dei preventivi alla Zeiss e alla Filotecnica per procurarsi lenti di migliore qualità: non altro. Possiamo solo immaginare, senza alcuna certezza documentaria, che, in quella metà degli anni Trenta, in cui era particolarmente impegnato nella realizzazione della Stazione osservativa di Loiano con il 60 cm della Zeiss e nella prosecuzione degli esperimenti con il primo specchio a tasselli, cui seguì la caccia per le leggi razziali, Horn d'Arturo non possa aver trovato il tempo per proseguire le prove con il prisma obiettivo.

Ma, al di là delle lenti coniche e delle stelle cadenti, torniamo all'*excursus* citato nel titolo per parlare di Copernico, meglio, di una statua di Copernico che fino a diversi anni or sono giaceva, rotta, sporca e non ben riconoscibile, in

⁹ G. HORN D'ARTURO a E. Bianchi, lettera del 9/02/1934, Osservatorio Astronomico di Brera, Archivio del Comitato Nazionale Astronomico Italiano, materiale in attesa di riordino.

¹⁰ G. HORN D'ARTURO, *L'uso d'una lente conica*, cit., pp. 275-276.

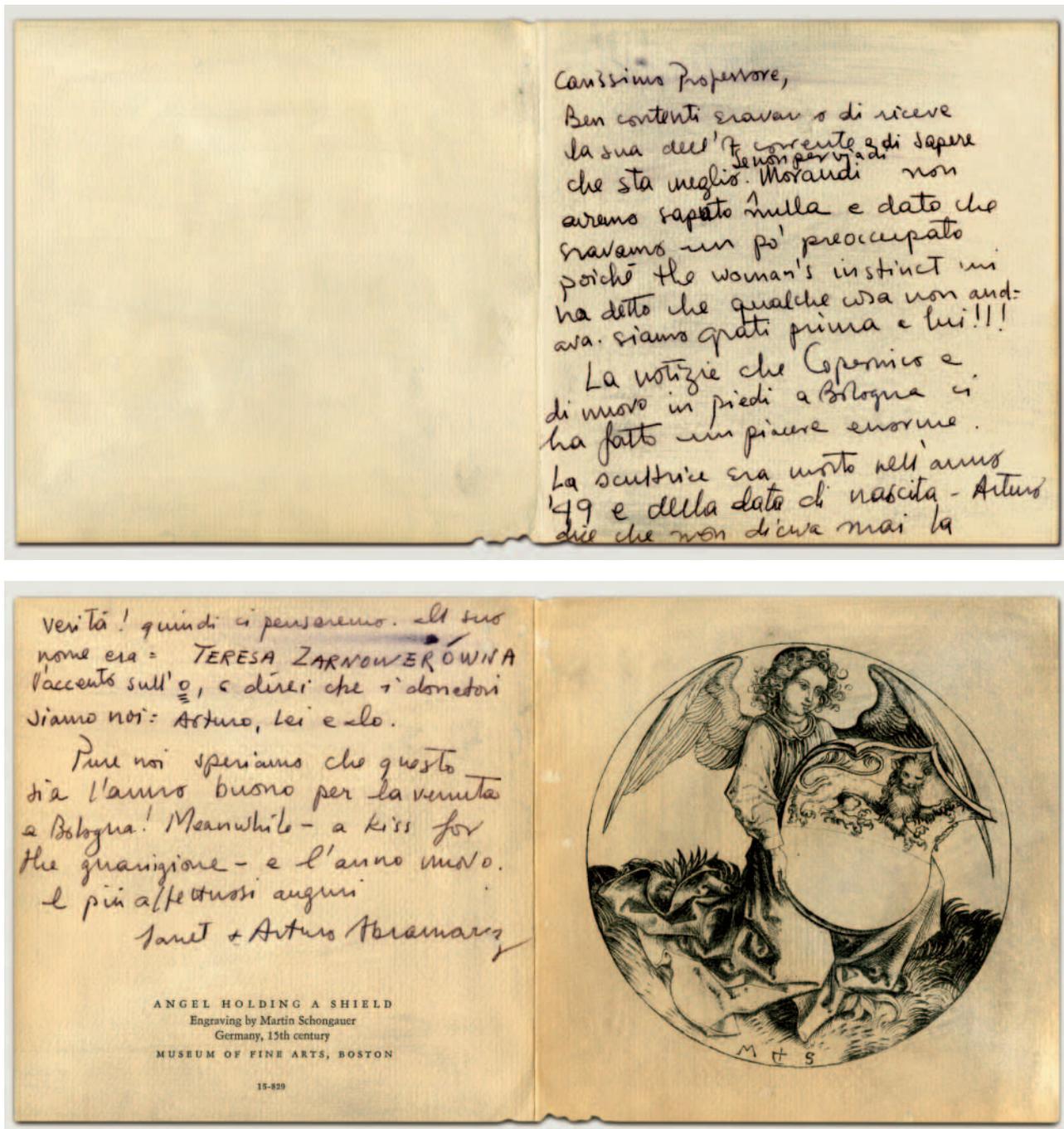


FIG. 6. Il biglietto augurale inviato da Janet e Arthur Abramowicz a Guido Horn d'Arturo negli anni Cinquanta, trovato insieme alla statua di Copernico. (AABO, Serie storica Specola, B60.32)

uno scatolone nei sottotetti dell'Università e che ci riporta alla giovane artista che con Morandi saliva alla Specola. Rimossa dallo scatolone per valutare meglio di cosa si trattasse, all'interno si trovò un bel biglietto con la riproduzione di un angelo con scudo di Martin Schongauer (1448-1491), dal Museum of Fine Arts di Boston, indirizzato a «Carissimo Professore» (indubbiamente Horn d'Arturo) e a firma Janet e Arturo Abramowicz (FIG. 6).¹¹ L'affettuosità dello scritto dimostra che l'amicizia dell'artista polacca e del marito medico Arthur con Horn d'Arturo

era durata oltre la partenza dell'Abramowicz per gli Stati Uniti, dove, tra l'altro, ha insegnato per vent'anni al Department of Fine Arts dell'Harvard University, divenendo una celebrità nel campo della pittura e dell'incisione.¹²

Ma il biglietto, soprattutto, ci ha aperto una strada per la comprensione degli sporchi frammenti di gesso, spiegandoci che si trattava di una statua di

¹¹ AABO, Serie storica Specola XVII-XIX secolo, Materiali per la storia della Specola, b. 60, f. 32.

¹² Nel 1990 Janet Abramowicz è stata nominata membro *ad honorem* dell'Accademia Clementina di Bologna. Ha tenuto diverse mostre personali anche in Italia, di cui l'ultima, "Motion and Vision", nel giugno 2013 a Palazzo Poli a Roma. Il suo lavoro di tesi per il conseguimento del diploma all'Accademia di Belle Arti di Bologna, nel 1954, redatta in italiano, fu su *Il trecento e il cubismo*.



FIG. 7. Teresa Żarnower (a sinistra) e Peggy Guggenheim alla mostra "16 Gouaches" dell'aprile 1946. (Museum of Art in Łódź, Polonia)

Copernico realizzata negli anni Quaranta dall'artista polacca Teresa Żarnower (o Żarnowerówna; 1895-1949), una delle più rilevanti personalità artistiche dell'avanguardia costruttivista polacca degli anni Venti, la quale, abbandonata la Polonia nel 1937, aveva proseguito con grande successo i suoi lavori a New York (FIG. 7).

Questo certificava l'attribuzione dell'opera a un'importante artista del Novecento e decidemmo, quindi, di farla subito restaurare ed esporre in museo, lungo le scale che portano alla sommità della Specola (FIG. 8) e alla sala dove è esposta la lente conica per le stelle cadenti che necessitava del delicato intervento di Giorgio Morandi, quasi a chiudere un ciclo artistico-scientifico nell'ampia visione culturale interdisciplinare di Guido Horn d'Arturo.



FIG. 8. La statua di Copernico – realizzata negli anni Quaranta da Teresa Żarnower e donata da Janet e Arthur Abramowicz insieme a Guido Horn d'Arturo – restaurata ed esposta al Museo della Specola dell'Università di Bologna. (Foto F. Bònoli)

IL DOCUMENTO:

FIG. 1. Biglietto di Guido Horn d'Arturo con cui chiede l'intervento "artistico" di Giorgio Morandi per ottenere un diaframma sulla lente conica per rilevare spettri di sciami meteorici.

Fabrizio Bònoli, già professore associato, è attualmente professore a contratto di Storia della cosmologia presso l'Alma Mater Studiorum - Università di Bologna.

Agnese Mandrino è responsabile della Biblioteca e dell'Archivio storico dell'Osservatorio Astronomico di Brera a Milano. Coordina il progetto «Specola 2000» per il riordino e la valorizzazione degli archivi storici degli Osservatori.

Mauro Gargano, laureato in Astronomia presso l'Università di Padova, è responsabile del Museo degli Strumenti Astronomici dell'Osservatorio Astronomico di Capodimonte a Napoli, dove si occupa anche di studi storici sull'astronomia, principalmente partenopea.

Antonella Gasperini è responsabile della Biblioteca e dell'Archivio storico dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri. Collabora con le attività di diffusione della cultura scientifica e di valorizzazione del patrimonio storico dell'Osservatorio.

Le luci di Horn

Storie di un astronomo a Bologna

Museo Ebraico di Bologna
20 maggio | 30 luglio 2017

Mostra a cura di:

Stefano Nicola Sinicropi, *Università di Bologna*

Caterina Quarenì, *Museo Ebraico di Bologna*

Sandra Caddeo, *Ethnos*

Comitato scientifico:

Fabrizio Bònoli, *Università di Bologna*

Flavio Fusi Pecci, *Società Astronomica Italiana*



Con il sostegno di



Con il patrocinio di



Bookshop a cura di



*Le nostre riviste Online,
la nostra libreria Internet*

www.libraweb.net

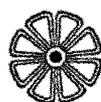
★

*Our Online Journals,
our Internet Bookshop*

www.libraweb.net



Fabrizio Serra
editore®



Accademia
editoriale®



Istituti editoriali
e poligrafici
internazionali®



Giardini editori
e stampatori
in Pisa®



Edizioni
dell'Ateneo®



Gruppo editoriale
internazionale®

Per leggere un fascicolo saggio di ogni nostra rivista si visiti il nostro sito web:

To read a free sample issue of any of our journals visit our website:

www.libraweb.net/periodonline.php

ISTRUZIONI PER GLI AUTORI

Il «Giornale di Astronomia» è una rivista di informazione, cultura e didattica, edita dalla *Società Astronomica Italiana* per promuovere la diffusione scientifica. La rivista si rivolge sia a studenti e docenti delle scuole, per fornire loro un'informazione seria, sicura e aggiornata sugli studi astronomici moderni e dibattiti su metodi e criteri didattici nel campo dell'astronomia, che a persone interessate all'astronomia, desiderose di approfondire la loro cultura al di là di quello che si fa normalmente nei libri e nei giornali divulgativi, senza arrivare a un'eccessiva specializzazione.

Il «Giornale di Astronomia» è aperto a contributi, provenienti da tutti i paesi in cui è diffuso, concernenti argomenti scientifici, esperienze osservative e tecniche professionali e non, proposte didattiche e divulgative, articoli di storia dell'astronomia e di problematiche culturali e interdisciplinari e descrizioni di istituzioni operanti nel campo dell'astronomia e dell'astrofisica.

1. Inviare il lavoro proposto per la pubblicazione via e-mail all'indirizzo della Direzione.
2. Il testo (massimo 30.000 battute, spazi compresi) deve essere scritto con spaziatura 2 in formato Word 98 o superiore, oppure RTF, con *tabelle e figure in forma definitiva*, **NON** inserite nel testo, ma allegate in *file* a parte.
3. Le immagini **NON** devono essere inserite nel *file* di testo, ma separate e in formato tif, gif o jpg, a *buona risoluzione* (min. 300 dpi) e correttamente numerate. Le didascalie devono essere inserite alla fine dell'articolo con il numero di riferimento all'immagine (p.e.: FIG. 1.). I *crediti* per le immagini devono essere citati in parentesi alla fine della relativa didascalia.
4. Ogni lavoro deve portare in testa: il titolo, il nome ed il cognome dell'autore, l'istituzione di appartenenza. Allegare al lavoro sottomesso una breve *biografia dell'autore* (3-4 righe max).
5. I richiami a note a piè di pagina o a fine articolo vanno fatti con cifre arabe. Le figure, le tabelle e le formule vanno numerate con cifre arabe. Per formule, simboli matematici e unità di grandezze fisiche vanno usate le notazioni internazionali. La parola "figura" va sempre abbreviata con "FIG.".
6. Si raccomanda un'estrema chiarezza nella compilazione delle tabelle. Si raccomanda di accompagnare ogni tabella con una breve didascalia.
7. Per le citazioni bibliografiche si raccomanda di seguire il seguente criterio:
 - *referenze a libri* devono includere l'iniziale del nome dell'autore ed il cognome (in 'm.lo/m.letto'); titolo del libro (in corsivo), luogo di pubblicazione, editore, anno, n. di pagina. Il tutto con la prima riga sporgente. Esempio:
J. D. NORTH, *The Fontana History of Astronomy and Cosmology*, London, Fontana Press, 1994, p. yy.
 - *referenze ad articoli in periodici* devono includere l'iniziale del nome dell'autore ed il cognome (in 'm.lo/m.letto'); titolo dell'articolo in corsivo, titolo del periodico non abbreviato alto/basso tra virgolette basse, anno, n. del volume, n. di pagina dell'articolo o della pagina citata. Il tutto con la prima riga sporgente. Esempio:
S. G. BRUSH, *The Reception of Mendeleev's Periodic Law in America and Britain*, «Isis», 1996, 87, p. yyy.
8. Agli autori verranno inviate tre copie del fascicolo in cui il loro articolo è stato pubblicato. Estratti a pagamento possono essere richiesti direttamente alla Casa editrice prima della stampa.
9. È responsabilità dell'autore ottenere il permesso per la pubblicazione di materiale preso da altre fonti.
10. I lavori proposti per la pubblicazione sono sottoposti al vaglio di referee e la rivista non restituisce il materiale non accettato per la pubblicazione.
11. La SAIt e la casa editrice *Fabrizio Serra editore*[®] acquisiscono il copyright sugli articoli pubblicati. La SAIt acquisisce anche i diritti di traduzione dell'articolo nelle lingue dei paesi in cui il *Giornale* è diffuso.
12. La SAIt e la casa editrice *Fabrizio Serra editore*[®] si dichiarano pienamente disponibili, nel caso di involontari errori, a regolare eventuali pendenze con gli aventi diritto che non sia stato possibile contattare.
13. Per la migliore riuscita delle pubblicazioni, si invitano gli autori ad attenersi, nel predisporre i materiali da consegnare alla Redazione ed alla Casa editrice, alle norme specificate nel volume FABRIZIO SERRA, *Regole editoriali, tipografiche e redazionali*, Pisa · Roma, Serra, 2009² (Euro 34,00, ordini a: fse@libraweb.net). Il capitolo *Norme redazionali*, estratto dalle *Regole*, cit. è consultabile *Online* alla pagina «Pubblicare con noi» di www.libraweb.net

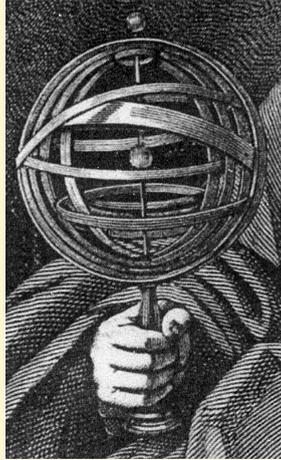
Composto, in carattere *Serra Dante*, dalla *Fabrizio Serra editore*[®], Pisa · Roma.
Stampato e rilegato nella *Tipografia di Agnano*, Agnano Pisano (Pisa).

★

Marzo 2019

(czz/FG21)





Società Astronomica Italiana

Con il patrocinio della
Camera dei Deputati