



Publication Year	2016
Acceptance in OA	2020-05-21T09:32:10Z
Title	The development of solar physics in 19th century
Authors	CHINNICI, Ileana
Handle	http://hdl.handle.net/20.500.12386/25034

The development of solar physics in 19th century

Ileana Chinnici

After the enthusiastic wave that followed the invention of the Galilean telescope, which made it possible to observe sunspots and discover solar rotation, the interest of astronomers in the main star of our sky suffered a decline until the end of the 18th century, when it was raised again by the discovery of the Wilson effect (1774)¹. In the solar model resulting from it, formulated by William Herschel (1738-1822) in 1795, the Sun was described as being cold (and even habitable), surrounded by a warm and bright atmosphere². Throughout the 19th century a renewed interest in the Sun and solar radiation derived from the studies on solar infrared radiation ("heat rays") carried out in 1800 by Herschel and the discovery of solar ultraviolet emission ("chemical rays") by Johann Wilhelm Ritter (1776-1810) in 1801. The following year, Thomas Young (1773-1829) demonstrated the wavelike nature of light, thus making a crucial advancement in solar radiation studies. However, the turning point in the development of solar physics was the application of two new techniques which led to the birth of astrophysics: spectroscopy³ and photography (see Pa. 07). The discovery of spectral lines in the sunlight, first observed by William Wollaston (1766-1828) in 1802 and re-observed and classified in 1817 by Joseph von Fraunhofer (1787-1826) (see Na. 01) was a milestone in the history of astrophysics. It opened⁴ a long and controversial debate on the nature of these lines, which ended around the 1860s, thanks to the decisive spectral analysis work carried out in Heidelberg by Gustav R. Kirchhoff (1824-1887) and his

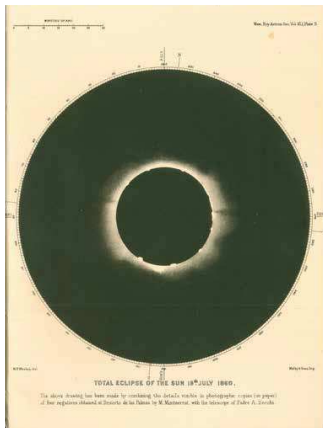
collaborators (see Pa. 01). Firstly, he formulated the radiation laws, published in 1859, in which spectral lines were correctly interpreted as being absorption lines produced by various chemical elements present in the solar atmosphere; afterwards, his team started a massive spectroscopic work in order to produce a detailed map of the solar spectrum⁵. In the meantime, attempts to determine the temperature of the Sun were carried out in the 1840s by John Herschel (1792-1871), who tried to measure the solar constant and discovered some absorption bands in the infrared region of the solar spectrum. Solar thermodynamics was developed in the 1850s, thanks to Hermann von Helmholtz (1821-1894) and William Thomson (1824-1907) – better known as Lord Kelvin – who both proposed hypotheses based on gravitational contraction to explain the huge amount of energy produced by the Sun⁶. Regarding early contributions from photography, Edmond Becquerel (1820-1891) in 1842 and John William Draper (1811-1882) in 1843 succeeded in obtaining a photograph of the complete solar spectrum, from infrared to ultraviolet. Two years later, Armand Hyppolite Fizeau (1819-1896) and Léon Foucault (1819-1868) obtained the first daguerreotype of the Sun, which reproduced the solar photosphere and confirmed the phenomenon of *limb-darkening* (the solar limb appearing less bright than the photosphere), consequently demonstrating the existence of a solar absorbing atmosphere. Towards the end of the century, the combination of spectroscopy and photography led to the invention of the spectroheliograph by George Ellery Hale (1868-1938)

Lo sviluppo della fisica solare nel XIX secolo

Ileana Chinnici

Dopo l'entusiasmo seguito all'invenzione del telescopio galileiano, grazie al quale era stato possibile osservare le macchie solari e scoprire la rotazione del sole, l'interesse degli astronomi verso l'astro principale del nostro cielo conobbe un certo declino fino alla fine del XVIII secolo, quando venne rilanciato dalla scoperta dell'effetto Wilson (1774)¹. Ne seguì la formulazione di un modello solare, proposto da William Herschel (1738-1822) nel 1795, che prevedeva un sole freddo (e persino abitabile) circondato da un'atmosfera calda e luminosa². Nel corso del XIX secolo, assistiamo ad un rinnovato interesse verso il Sole e le sue emissioni: ciò avvenne in conseguenza degli studi sulla radiazione infrarossa ("raggi caloric") condotti nel 1800 da Herschel e della scoperta della radiazione ultravioletta ("raggi chimici") da parte di Johann Wilhelm Ritter (1776-1810) nel 1801. L'anno successivo, Thomas Young (1773-1829) dimostrò la natura ondulatoria della luce, segnando un passo importante nello studio della fisica solare. Tuttavia, la svolta nello sviluppo della fisica solare fu determinata dall'applicazione delle due nuove tecniche che portarono alla nascita dell'astrofisica: la spettroscopia³ e la fotografia (cfr. Pa. 07). La scoperta delle righe spettrali, osservate per la prima volta da William Wollaston (1766-1828) nel 1802 e riobservate e classificate nel 1817 da Joseph von Fraunhofer (1787-1826; cfr. Na. 01) fu una pietra miliare nella storia dell'astrofisica. Segui un lungo e controverso dibattito sulla natura di queste righe⁴ che si concluse intorno al 1860, grazie al decisivo lavoro di analisi spettrale condotto all'Università di

Heidelberg da Gustav R. Kirchhoff (1824-1887) e dai suoi collaboratori (cfr. Pa. 01). Egli formulò dapprima le leggi sulla radiazione, pubblicate nel 1859, grazie alle quali le righe spettrali vennero correttamente interpretate come righe di assorbimento prodotte dai vari elementi chimici presenti nell'atmosfera solare; in seguito, diede inizio ad un imponente programma di ricerche spettroscopiche, per realizzare la mappatura dettagliata e l'identificazione delle righe dello spettro solare⁵. Intanto, alcuni tentativi di determinare la temperatura del Sole vennero eseguiti nel decennio 1840-1850 da John Herschel (1792-1871), che tentò di misurare la costante solare (cfr. Rm. 02) e scoprì alcune bande di assorbimento nell'infrarosso. Il decennio successivo vede invece lo sviluppo della termodinamica solare, grazie agli studi di Hermann von Helmholtz (1821-1894) e William Thomson (1824-1907) – noto come Lord Kelvin – che discussero alcune ipotesi basate sulla contrazione gravitazionale per tentare di spiegare l'enorme quantità di energia prodotta dal sole⁶. Per quanto riguarda il contributo dato dalla fotografia, Edmond Becquerel (1820-1891) nel 1842 e John William Draper (1811-1882) nel 1843 furono i primi a riuscire a fotografare l'intero spettro solare, dall'infrarosso all'ultravioletto. Due anni dopo, Armand Hyppolite Fizeau (1819-1896) e Léon Foucault (1819-1868) ottennero il primo dagherrotipo del sole, che riproduceva la fotosfera solare e confermava il fenomeno del *limb-darkening* (il bordo solare appare meno luminoso della fotosfera), e dimostrava così l'esistenza di un'atmosfera solare assorbente. Verso la fine del secolo, la



1. Totality of solar eclipse of 1860, photographed by Secchi in Spain (from Ranyard 1879) / Fase di totalità dell'eclisse del 1860 fotografata da Secchi in Spagna (da Ranyard 1879)

in the US and, independently, by Henri Deslandres (1853-1948) in France: detailed pictures of the Sun in monochromatic light – usually corresponding to the K line (singly ionized calcium) – could be obtained and studied. Around the middle of the century, important advancements were made concerning solar cycles. In 1843 the amateur astronomer Heinrich Schwabe (1789-1875) published the results of a statistical study on sunspots, remarking a periodicity of about ten in their appearance years. A similar periodicity in the variation of Earth's magnetism was recorded by Edward Sabine (1788-1883) who correlated the two cycles, showing that high frequency and intensity of magnetic storms corresponded with the maximum of sunspots appearance. This coincidence showed that Earth and Sun form an interconnected system whose interaction is manifested through the occurrence of magnetic storms (see Pa. 12) and polar aurorae (see Pa. 13). As to the nature of sunspots, in 1847 John Herschel formulated his cyclonic theory, based on the analogy between solar and terrestrial meteorology: sunspots were identified as cyclones, associated to whirlwind motions in solar atmosphere. Many astronomers, however, questioned this theory all along the 19th century and rather considered the sunspots as phenomena produced by slow eruptions of photospheric materials. A key role in the birth of modern solar physics was played

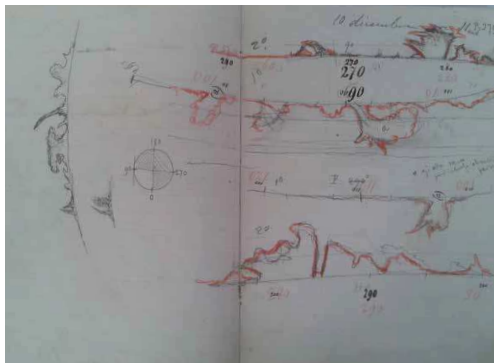
by the observation of total solar eclipses. The magnificent view of the solar corona, and sometimes of the prominences (see Pa. 11), had been observed since antiquity but, in the 1860-1870 decade, the combined use of photographic and spectroscopic means produced a considerable leap forward in the understanding of the physical constitution of the Sun. Thanks to the results gained from eclipse observations (fig. 2), Herschel's solar model was rejected and replaced by Kirchhoff's model: a hot fluid Sun, surrounded by a colder gaseous atmosphere – a model, however, which was soon questioned by some puzzling results, as shown hereinafter. Photography allowed images to be fixed quickly and in a non-subjective way (drawing) and became an indispensable technique during total unlike eclipses, since the whole duration of the totality does not exceed seven minutes. The first daguerreotype of the totality obtained in 1851 and the photographs taken during the eclipse of 1860 in Spain demonstrated unequivocally that the corona and prominences were not the product of optical illusions or atmospheric interference, but phenomena really pertaining to the Sun (see Sec 3). Moreover, during the eclipse of 1860 (fig. 1; see Rm. 08), many astronomers recorded that prominences were joined at their base by a red arc; in 1868 Lockyer argued that prominences were extensions of this layer for which they suggested the name of "chromosphere". The French astronomer Jules



2. Pages of *Le Soleil* treatise, showing the sunspots and the photospheric granulation (see Pa. 06) / Pagine del trattato *Le Soleil* raffiguranti le macchie e la granulazione della fotosfera solare (cfr. Pa. 06)

combinazione tra spettroscopia e fotografia portò all'invenzione dello spettroeliografo da parte di George Ellery Hale (1868-1938) negli Stati Uniti e, indipendentemente, da parte Henri Deslandres (1853-1948) in Francia: fu così possibile ottenere immagini dettagliate del sole in luce monocromatica – generalmente in corrispondenza della riga K (prodotta dal calcio ionizzato). Intorno alla metà del secolo, vi furono importanti progressi riguardo al ciclo solare. Nel 1843 l'astronomo amatoriale Heinrich Schwabe (1789-1875) pubblicò i risultati di uno studio statistico delle macchie solari, notando una periodicità della loro comparsa ad intervalli di circa dieci anni. Una simile periodicità fu registrata nelle variazioni del magnetismo terrestre da parte di Edward Sabine (1788-1883), che mise in correlazione i due cicli, mostrando come i periodi di alta frequenza ed intensità delle tempeste magnetiche coincidesse con quelli del massimo numero di macchie sul sole. Questa coincidenza mostrava la terra e il sole formano un sistema interconnesso, la cui interazione si manifesta con l'apparire di tempeste magnetiche (cfr. Pa. 12) e aurore polari (cfr. Pa. 13). Per quanto riguarda la natura delle macchie solari, nel 1847 John Herschel formulò la teoria ciclonica, fondata sull'analogia tra la meteorologia terrestre e quella solare: le macchie venivano infatti identificate come cicloni, associati a moti vorticosi dell'atmosfera solare. Molti astronomi, tuttavia, misero in discussione questa teoria nel corso del XIX secolo e preferirono considerare le macchie come fenomeni prodotti da eruzioni di materiale fotosferico.

Un ruolo chiave nello sviluppo della moderna fisica solare fu giocato dalle eclissi totali di sole. Lo splendido spettacolo della corona solare (cfr. Pa. 11) era stato osservato fin dall'antichità, e così pure alcune protuberanze, ma nel decennio 1860-1870, l'uso combinato di mezzi fotografici e spettroscopici produsse un decisivo salto di qualità nella comprensione della costituzione fisica del sole. Grazie alle osservazioni eseguite durante le eclissi totali (fig. 2), il modello herscheliano del sole fu abbandonato a favore del modello proposto da Kirchhoff: un sole caldo e fluido, circondato da un'atmosfera gassosa più fredda – un modello che, comunque, sarà presto messo in discussione da alcuni risultati contrastanti, come vedremo nel seguito. La fotografia permetteva di fissare le immagini velocemente e in modo non soggettivo (come invece avveniva nel caso dei disegni) e divenne indispensabile durante le eclissi totali, poiché la durata della totalità non supera i sette minuti. Il primo dagherrotipo della totalità, ottenuto nel 1851, e le fotografie realizzate in Spagna durante l'eclisse del 1860 (fig. 1; cfr. Rm. 08) mostrarono inequivocabilmente che le protuberanze sono fenomeni realmente appartenenti al sole e non effetto di illusioni ottiche (vedi Sez. 3). Inoltre, durante la stessa eclisse, molti astronomi osservarono che le protuberanze erano collegate alla base da un arco rosso luminoso, più tardi denominato "cromosfera". Nel 1868 per la prima volta gli astronomi utilizzarono mezzi spettroscopici per indagare la natura delle protuberanze, che risultarono di natura gassosa, producendo uno spettro con righe in emissione, in particolare quelle



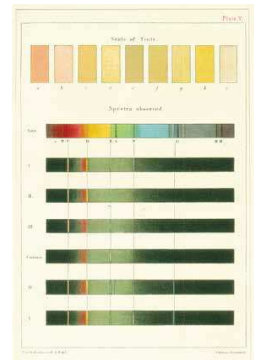
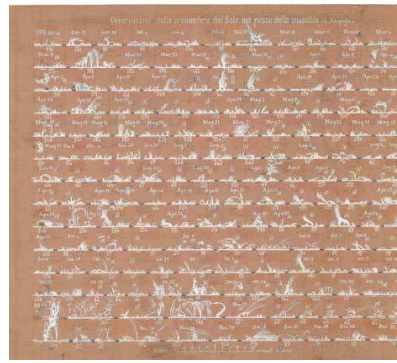
3. Drawings of solar prominences observed during the 1870 eclipse by Tacchini and Lorenzoni in Sicily (see Sec. 3) (INAF-Rome Astronomical Observatory, Historical Archives) / Disegni di protuberanze solari eseguiti durante l'eclisse del 1870 da Tacchini e Lorenzoni in Sicilia (cfr. Sez. 3) (INAF-Osservatorio Astronomico di Roma, archivio storico)

4. Details of the chromosphere drawn by Respighi in 1870 (see Sec. 2) (INAF-Rome Astronomical Observatory, Historical Archives) / Dettagli della cromosfera disegnati da Respighi nel 1870 (cfr. Sez. 2) (INAF-Osservatorio Astronomico di Roma, archivio storico)

5. Plate showing the coronal spectrum with the green emission line observed in 1869 (from Harkness 1871) / Tavola dello spettro coronale con la riga verde in emissione osservata nel 1869 (da Harkness 1871)

C. Janssen (1824-1907) was so impressed by the intensity of the hydrogen lines observed in the spectra of prominences during the eclipse of 1868 that he tried to observe them spectroscopically while the Sun was uneclipsed, by positioning the slit of the spectroscope tangentially to the solar limb. Norman Lockyer (1836-1920) in London, independently, applied the same adjustment successfully and both scientists were later accredited with the discovery of the method for observing prominences in the full (uneclipsed) disk*. Solar prominences were therefore observed, drawn (fig. 4) and classified (see Pa. 10) all along the last quarter of the 19th century. Eclipses, however, were to reserve further surprises. In 1870, the American astronomer Charles A. Young (1834-1908) observed for the first time the spectrum of the lower chromosphere, also called *flash-spectrum*. In 1872 he compiled a catalogue of flash-spectrum lines, showing that in many cases they differed, for intensity and location, from Fraunhofer spectrum lines. This fact was confirmed later from photographs of the flash-spectrum obtained during an eclipse in 1883. Scientists were puzzled by this result, wondering why some Fraunhofer lines appeared in emission and others did not⁹. The problem of interpreting the flash-spectrum lines was to be solved later, in 1920, thanks to the ionization theory by Megh Nad Saha (1893-1956), after the discovery of the electron and the atomic theory of Niels Bohr (1885-1962) which paved the way to understanding the structure of matter. At the end of the 19th century one of the most controversial points in solar physics was the nature of the corona. In the 18th century various hypotheses had been formulated to

explain the luminous halo surrounding the eclipsed Sun, visible only in the few minutes of totality. What mostly interested 19th century astronomers, once they could rely on spectroscopic means, was to find out if this effect was either due to the presence of the Earth or the Moon, or if it was a solar phenomenon and, if so, whether shining of the corona was caused by emitted or reflected light. Unfortunately, the results of spectroscopic and polariscopic observations carried out during eclipses were often contradictory and could be verified only in the course of the following eclipse, as at that time all attempts to observe the corona out of an eclipse were still unsuccessful¹⁰. A series of confusing results rendered the corona a puzzle which became more and more difficult to solve. The first coronal spectrum observations, for example, made during the eclipse of 1868, gave a weak continuous spectrum, while during the eclipse of 1869 a green emission line (fig. 5) was observed overlaying the continuous spectrum. It was at first identified as a Fraunhofer line, attributed to iron and indicated as 1474 in Kirchhoff's scale (5322Å); later, it was confused with a line usually observed in the spectrum of polar aurorae¹¹. In 1876 Young found that the 1474K line was a double one and attributed its second component to an unknown element, named "coronium". Thanks to the photographs of the coronal spectrum obtained by Alfred Fowler (1868-1940) in 1898 during an eclipse, a dozen new coronal lines were recorded and the position of the main green coronal line (1474K) could be unequivocally measured. The result showed that it did not correspond to any Fraunhofer line and the attribution to coronium, whose nature was to remain unknown



rosse dell'idrogeno e quella gialla di un elemento ancora sconosciuto, denominato "elio". L'astronomo francese Jules C. Janssen (1824-1907) fu talmente colpito dall'intensità di tali righe, che tentò di osservarle spettroscopicamente in pieno sole, posizionando la fenditura tangenzialmente al bordo solare, e riuscì nell'intento. Norman Lockyer (1836-1920) a Londra, indipendentemente, applicò con successo lo stesso sistema ed ad entrambi gli scienziati fu accreditata la scoperta del metodo per osservare le protuberanze in pieno sole⁹. Le protuberanze solari furono quindi osservate, disegnate (fig. 4) e classificate (cfr. Pa. 10) nel corso dell'ultimo quarto del XIX secolo. Le eclissi, tuttavia, avrebbero riservato altre sorprese. Nel 1870, l'astronomo statunitense Charles A. Young (1834-1908) osservò per la prima volta lo spettro della bassa cromosfera, detto *flash-spectrum* (spettro-lampo), in cui le righe compaiono per un qualche istante in emissione (oggi questo strato della cromosfera è infatti denominato *reversing layer*). Nel 1872 compilò quindi un catalogo delle righe del flash-spectrum, notando che in molti casi la posizione e l'intensità di queste righe differiva da quelle di Fraunhofer. Tale risultato fu confermato dalle fotografie del flash-spectrum ottenute durante l'eclisse del 1883. Gli scienziati furono disorientati da questo risultato, che mostrava come solo alcune righe di Fraunhofer apparivano in emissione nel flash-spectrum ed altre no⁹. Il problema dell'interpretazione delle righe del flash-spectrum venne risolto più tardi, nel 1920, grazie alla teoria della ionizzazione di Megh Nad Saha (1893-1956), dopo che la scoperta dell'elettrone e la teoria dell'atomo di Niels Bohr (1885-1962) aprirono la strada alla comprensione della struttura della materia.

Uno dei punti più controversi della fisica solare alla fine del XIX secolo fu la natura della corona. Nel XVIII secolo varie ipotesi erano state formulate per spiegare l'alone luminoso che circonda il sole eclissato, visibile solo nei pochi istanti della totalità. Ciò che interessava gli astronomi del XIX secolo, una volta in possesso di strumenti spettroscopici, era dunque verificare se si trattasse di un effetto ottico dovuto all'atmosfera della terra e/o all'interposizione della luna, oppure se fosse un fenomeno appartenente al sole – ed in tal caso, se la corona splendesse di luce propria o di luce riflessa. Sfortunatamente, i risultati delle osservazioni spettroscopiche e polariscopiche condotte durante le eclissi risultarono spesso contraddittori – peraltro, essi non erano verificabili se non nel corso della successiva eclisse, dal momento che tutti i tentativi di osservare la corona fuori dalle eclissi erano stati fino ad allora infruttuosi¹⁰. Una serie di risultati contrastanti rese a lungo la corona un vero rompicapo, sempre più difficile da risolvere. Le prime osservazioni dello spettro coronale, eseguite durante l'eclisse del 1868, ad esempio, avevano dato come risultato un debole spettro continuo, mentre durante l'eclisse del 1869 era stata osservata una riga di emissione nel verde (fig. 5). Questa fu dapprima identificata con una riga di Fraunhofer, attribuita al ferro e indicata come 1474 nella scala di Kirchhoff (5322Å); in seguito, fu invece confusa con una riga solitamente osservata nello spettro delle aurore polari¹¹. Nel 1876 Young trovò che la riga 1474K line era doppia e attribuì la seconda componente ad un elemento sconosciuto, denominato "coronio". Grazie alle fotografie dello spettro coronale ottenute da

for a long time, was reinforced. Only in 1941, thanks to the development of quantum physics, would the Swedish spectroscopist Bengt Edlén (1906-1993) identify the most intense coronal lines as being produced by highly ionized iron (Fe XIV): the mysterious coronium did not exist at all. At the beginning of the 20th century, Hale discovered the Zeeman effect in sunspots and the complexity of the subject further increased, due to the crucial role of magnetic field in solar physics, which is still being explored today. The development of space astronomy in the 1960s-1970s made it possible to observe solar radiation screened by the Earth's atmosphere: rockets and satellites revealed the existence of a solar flux of particles (solar wind)¹, and provided high-resolution X-ray pictures of the Sun, showing the presence of dark coronal "holes" and the existence of intense emission regions and coronal loops, with ionized gas (plasma) at temperatures of millions of degrees². Even if the current continuous monitoring of the Sun by satellites such as SOHO (Solar Heliospheric Observatory, launched in 1995 and still in operation) have considerably improved our knowledge of the Sun, new challenges are

continuously opened and examined. The Sun is the best model for our understanding of stellar physics, but much is still unexplained. For example, what kind of physical-chemical processes are able to heat the corona to millions of degrees, temperatures high enough to ionize iron and make corona a thousand times hotter than the solar photosphere? What is the physical explanation for solar activity cycles? Where do high-energy processes, like plasma ejections, originate from? The answer to these questions lies in the interaction of the corona with the complex structures of the Sun's magnetic field, in the turbulent and convective transport of plasma from the inner layers to the photosphere and in the comprehension of the mechanism of the solar dynamo: these are the main topics in modern solar physics. Only the development of powerful computing devices and new theories in plasma physics, as well as high-resolution space missions aimed at exploring the full range of solar radiation could lead to important advancements in solar physics in the future. Our star has not revealed all its secrets – and probably it will keep them yet for a long time.

¹ Alexander Wilson (1714-1786), after long studying on sunspots, noticed that they appeared as depressions on the solar surface and concluded that they were neither clouds, as Galileo had stated in 17th century, nor mountains, as his contemporary Jérôme de Lalande (1732-1807) affirmed, but cavities in the solar surface (see Meadows 1970, pp. 1-4).
² According to William Herschel (see Herschel 1795) the sunspots were "holes" in the solar atmosphere, which consisted of two gaseous layers: through the hole in the outer layer both the inner layer (less luminous than the outer one) and the cold dark surface of the Sun could be seen: this way Herschel explained the existence of a less bright region (penumbra) surrounding the dark central spot (umbra); see Pa. 09.
³ In spectroscopic instruments light is dispersed by means of glass prisms or diffraction gratings (see Pa. 03 and Pa. 04), depending on the light of the source (bright or faint, point-

like or diffused) to be examined.
⁴ In 1833 David Brewster (1781-1868) showed that some spectral lines were due to absorption produced by the Earth's atmosphere (telluric lines); see Pa. 06. The debate notwithstanding, Fraunhofer lines were telluric animated the scientific community for many years: see Meadows 1970, pp. 27-28.
⁵ Other mapping work was carried out by Volkert van der Willigen (1822-1878) and by Anders J. Ångström (1814-1874); see Pa. 05.
⁶ Bio-geological evidences showed a solar age by far older than expected, with a simple gravitational contraction mechanism (see HURBAUER 1991, pp. 55-57); this puzzle was solved in the 1930s, when Hans Bethe (1906-2005) theorized that nuclear fusion was the main source of the Sun's energy.
⁷ The first recording of a solar flare by Richard Carrington (1826-1875) in 1859, which was preceded by a strong perturbation of Earth's mag-

netic field, confirmed the existence of such an interconnection. Carrington also proved the differential rotation of the Sun, by studying sunspot migration, whose pattern would be described later in 1904 with Edward Maunder's "butterfly diagram".
⁸ In 1869 William Huggins (1824-1910) improved this method by widening the slit of the spectroscope so that the entire prominence could be observed, provided that the instrument was powerful enough.
⁹ Lockyer tried to solve the puzzle by hypothesizing that chemical elements in the solar atmosphere were ordered on a radial basis, according to their atomic weight: lightest elements were located in the higher layers of the solar atmosphere, while heaviest elements would be found in the lower chromosphere. Lockyer proposed also a theory on the dissociation of chemical elements in proto-elements, which was criticized especially by Huggins. See LEONE, ROBERTI 2000.

¹⁰ The invention of the coronagraph in 1930 by Bernard Lyot (1897-1952) allowed the solar corona to be studied outside of eclipses.
¹¹ The spectrum of polar aurorae was observed for the first time by Ångström in 1866; he found a single yellow-green emission line at 5579Å. The auroral spectrum was also often confused with that of the zodiacal light; thanks to the spectroscopic observations carried out at Palermo Observatory in 1872, Charles Piazzi Smyth (1819-1900) definitely solved the question, showing that zodiacal light produces a continuum (see PIAZZI SMYTH 1872).
¹² See HURBAUER 1991, pp. 221-252.
¹³ It is worthy mentioning that remarkable contributions were given in this field by Italian ASSEI (*American Science & Engineering*) scientists such as Bruno Rossi (1905-1993), Riccardo Giacconi (b. 1931) and Giuseppe S. Vaiana (1935-1991), the latter become director of Palermo Observatory. See GIACCONI 1992.

Alfred Fowler (1868-1940) durante l'eclisse del 1898, una dozzina di nuove righe coronali vennero registrate e la posizione della riga verde (4474Å) misurata inequivocabilmente. Il risultato mostrò che essa non corrispondeva ad alcuna delle righe di Fraunhofer e ciò ne rafforzò l'attribuzione al coronio, la cui natura rimase a lungo sconosciuta. Solo nel 1941, con lo sviluppo della fisica quantistica, lo spettroscopista svedese Bengt Edlén (1906-1993) identificherà le righe coronali più intense come righe prodotte dal ferro altamente ionizzato (Fe XIV): il misterioso coronio non esisteva affatto. Agli inizi del XX secolo, Hale scoprirà l'effetto Zeeman nelle macchie solari e la complessità del quadro risulterà ancor più evidente, perché rivelerà il ruolo cruciale del campo magnetico nei fenomeni solari, un ruolo tuttora in fase di studio. Lo sviluppo dell'astronomia spaziale negli anni Sessanta e Settanta permetterà infine di osservare la radiazione schermata dall'atmosfera terrestre: razzi e satelliti riveleranno l'esistenza di un flusso solare di particelle (vento solare)³ e forniranno immagini in raggi X del sole ad alta risoluzione, che mostreranno la presenza di scuri "buchi" coronali e l'esistenza di regioni ad intensa emissione e di archi coronali, con gas ionizzato (plasma) a temperature di milioni di gradi⁴.

¹ Alexander Wilson (1714-1786), dopo un lungo studio delle macchie solari, notò che esse apparivano come depressioni nella superficie solare e concluse che non si trattava né di nubi, come riteneva Galileo nel XVII secolo, né di montagne, come affermava il contemporaneo Jérôme de Lalande (1732-1807) bensì di cavità nella superficie solare (vedi Meadows 1970, pp. 1-4).
² Secondo William Herschel (vedi HERSCHTEL 1795) le macchie erano "squarci" nell'atmosfera solare, composta da due strati gassosi; lo scarpaccio nello strato esterno rendeva visibile sia lo strato interno (meno luminoso di quello esterno) sia la superficie fredda e scura del sole. In tal modo, Herschel spiegava l'esistenza di una regione meno luminosa (penumbra) che circonda la macchia centrale scura (umbra); vedi Pa. 09.
³ Negli strumenti spettroscopici il mezzo dispersivo può essere costituito da prismi di vetro o da reticoli di diffrazione (vedi Pa. 03 e Pa. 04), a seconda dell'intensità della sorgente luminosa da esaminare (brillante o

fioca, puntiforme o estesa, eccetera).
⁴ Nel 1833 David Brewster (1781-1868) mostrò che alcune righe spettrali erano prodotte dall'atmosfera terrestre (righe telluriche); cfr. Pa. 06. Il dibattito se tutte le righe di Fraunhofer fossero righe telluriche animò la comunità scientifica per molti anni; cfr. Meadows 1970, pp. 27-28.
⁵ Altre note mappature vennero eseguite da Volkert van der Willigen (1822-1878) e Anders J. Ångström (1814-1874); cfr. Pa. 05.
⁶ Alcune evidenze di carattere biologico e geologico mostravano tuttavia che l'età del sole era di gran lunga maggiore di quella prevista con un semplice meccanismo di contrazione gravitazionale (vedi HURBAUER 1991, pp. 55-57); il rompicapo fu risolto negli anni Trenta, quando Hans Bethe (1906-2005) teorizzò che la principale fonte di energia del sole fosse la fusione nucleare.
⁷ La prima osservazione di un brillamento solare, registrato da Richard Carrington (1826-1875) nel 1859, che era stata preceduta da una forte

Anche se l'attuale continuo monitoraggio del sole da parte di satelliti come SOHO (Solar Heliospheric Observatory, lanciato nel 1995 e ancora operativo) hanno migliorato considerevolmente le nostre conoscenze sul sole, sono ancora tante le sfide che in questo ambito rimangono. Il Sole è il modello migliore per la nostra comprensione della fisica stellare, ma c'è ancora molto da scoprire. Per esempio, quali processi chimico-fisici riscaldano la corona a milioni di gradi, tanto da ionizzare il ferro e renderla migliaia di volte più calda della fotosfera, in apparente contrasto coi principi della termodinamica? Come si spiegano i cicli solari, secondo la fisica? Cosa produce i processi ad alta energia, come i getti di plasma? La risposta a queste domande risiede nello studio dell'interazione tra corona e strutture complesse del campo magnetico solare, del trasporto convettivo e turbolento di plasma dagli strati interni della fotosfera a quelli esterni e dei meccanismi fisici della dinamo solare: sono questi, oggi, i principali temi di ricerca della fisica solare. Solo lo sviluppo di supercalcolatori e di nuove teorie di fisica del plasma, nonché missioni spaziali ad alta risoluzione, in grado di esplorare tutto il range della radiazione solare, potranno portare ad importanti progressi in futuro. La nostra stella non ha ancora finito di rivelare i suoi segreti – e forse li conserverà ancora a lungo.

perturbazione del campo magnetico terrestre, confermò l'esistenza di tale correlazione. Carrington dimostrò anche che il sole ha una rotazione differenziale, studiando la migrazione delle macchie solari, il cui comportamento era descritto nel 1904 da Edward Maunder con il cosiddetto "diagramma a farfalla".
⁸ Nel 1869 William Huggins (1824-1910) migliorò questo metodo allargando la fenditura dello spettroscopio, in modo da osservare l'intera protuberanza, purché lo strumento assicurasse un'alta risoluzione.
⁹ Lockyer tentò di risolvere il rompicapo formulando l'ipotesi che gli elementi chimici nell'atmosfera solare fossero ordinati radialmente secondo il loro peso atomico: gli elementi più leggeri si trovavano negli strati più esterni dell'atmosfera solare, mentre i più pesanti si sarebbero trovati nella bassa cromosfera. Lockyer propose anche una teoria della dissociazione degli elementi chimici in proto-elementi, che fu criticata soprattutto da Huggins. Cfr. LEONE, ROBERTI 2000.

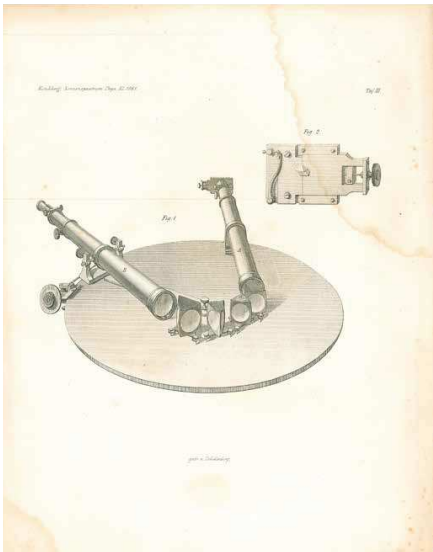
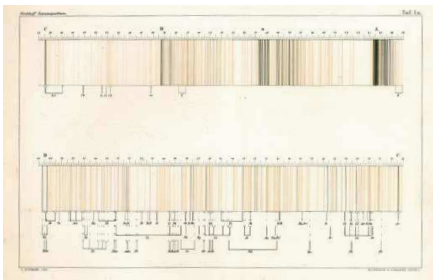
¹⁰ L'invenzione del coronografo nel 1930 da parte di Bernard Lyot (1897-1952) permise in seguito di studiare la corona solare anche in pieno sole.
¹¹ Lo spettro delle aurore polari fu osservato per la prima volta da Ångström nel 1866; egli trovò solo una linea gialla in emissione a 5579Å. Lo spettro aurorale venne inoltre spesso confuso con quello della luce zodiacale; grazie ad alcune osservazioni spettroscopiche eseguite all'Osservatorio di Palermo nel 1872, Charles Piazzi Smyth (1819-1900) risolse definitivamente la questione, mostrando che la luce zodiacale produce uno spettro continuo (cfr. PIAZZI SMYTH 1872).
¹² Cfr. HURBAUER 1991, pp. 221-252.
¹³ Va qui ricordato l'importante contributo dato in questo settore presso l'ASSEI (*American Science & Engineering*) da scienziati italiani come Bruno Rossi (1905-1993), Riccardo Giacconi (b. 1931) e Giuseppe S. Vaiana (1935-1991), poi divenuto direttore dell'Osservatorio di Palermo. Cfr. GIACCONI 1992.

PA. 01. KIRCHHOFF, GUSTAV (1824-1887)
Untersuchungen über das Sonnenspektrum und die Spectren der chemischen Elemente 3. abd.
 Berlin: Ferd. Dummler's, 1866-1875
 2 v. (4), 43 p., 3 pl.; 16 p., 2 pl.; 300 mm
 on the cover of both volumes is printed
 "Società degli Spettroscopisti Italiani"
 INAF-Palermo Astronomical Observatory*,
 Historical Library

Third edition of the famous work (Research on the solar spectrum and the spectra of chemical elements) by Gustav Kirchhoff, professor of Physics at Heidelberg University. In 1859, he and the chemist Robert Bunsen laid the fundamentals of spectral analysis and explained the mechanisms leading to the formation of the typical absorption and emission lines shown by many chemical elements. The analysis of the lines of stellar spectra allowed astronomers to determine the chemical composition of the Sun and other stars.

The present work was presented to the Academy of Science in Berlin by Kirchhoff in 1861 and it was published the following year. The two volumes are endorsed with the stamp of Società degli Spettroscopisti Italiani, whose President was Tacchini, during his stay in Palermo, and it is likely that they were acquired by him. Volume I is open on plate III, which illustrates the prism spectroscope used by Kirchhoff for his spectral studies; volume II is open on plate Ia, which shows the lines of the solar spectrum measured in Heidelberg. Both volumes have recently undergone conservative restoration. [i.c., d.r.]

Bibl.: HENTSCHEL 2002, pp. 54, 125;
 HEARNshaw 1989, pp. 42-43.



*Owned by Palermo University / *Proprietà dell'Università di Palermo

PA. 01. KIRCHHOFF, GUSTAV (1824-1887)
Untersuchungen über das Sonnenspektrum und die Spectren der chemischen Elemente 3. abd.
 Berlin: Ferd. Dummler's, 1866-1875
 2 v. (4), 43 p., 3 c. di tav.; 16 p., 2 c. di tav.; 300 mm
 sulla coperta di entrambi i volumi è apposto
 il timbro della Società degli Spettroscopisti Italiani
 INAF-Osservatorio Astronomico di Palermo*,
 Biblioteca

Terza edizione del celebre lavoro di Gustav Kirchhoff (titolo tradotto: *Ricerche sullo spettro solare e sugli spettri degli elementi chimici*), professore di Fisica all'Università di Heidelberg. Nel 1859, con il chimico Robert Bunsen, pose le basi dell'analisi spettrale e spiegò i meccanismi che portano alla formazione delle tipiche righe di assorbimento e di emissione da parte di vari elementi chimici. L'analisi delle righe degli spettri stellari consentì agli astronomi di determinare la composizione chimica del sole e delle altre stelle.

L'opera qui esposta fu presentata da Kirchhoff all'Accademia delle Scienze di Berlino nel 1861 e pubblicata nel 1862. I due volumi riportano il timbro della Società degli Spettroscopisti Italiani, di cui Pietro Tacchini fu Presidente durante la sua permanenza a Palermo, e furono quindi probabilmente da lui acquisiti. Il primo volume è aperto sulla tavola III, che raffigura lo spettroscopio a prismi utilizzato da Kirchhoff per le sue ricerche spettrali; il secondo volume è aperto sulla tavola Ia, che raffigura le righe dello spettro solare misurate a Heidelberg. Su entrambi i volumi è stato di recente effettuato un intervento di restauro conservativo. [i.c., d.r.]

Bibl.: HENTSCHEL 2002, pp. 54, 125;
 HEARNshaw 1989, pp. 42-43.



PA. 02. COLLECTION OF SPECTRAL TUBES
 H. Geissler, Berlin (Germany) 1882
 glass, metal; length 250 and 185 mm
 INAF-Palermo Astronomical Observatory*

These twelve glass tubes, having different lengths and sections, were purchased by the Palermo Observatory in January 1882. They are common Geissler tubes, used to study electrical discharges in gases at very low pressure. Some tubes are devoid of the metal contacts at both ends, of the almost unreadable labels on which are indicated, in German, the chemicals in question, such as *Sauerstoff*, *Kohlensäure*, *Zinkchlorid*, *Stickstoff*. From the third quarter of the 19th century until 1930, Geissler tubes were produced by various glassblowers such as Franz Müller (Geissler's Nachfolger), Greiner & Friedrichs, Rudolf Pressler and others. [i.c.]

Bibl.: FODERÀ SERIO, CHINNICI 1997, pp. 132-33.

PA. 02. COLLEZIONE DI TUBI SPETTRALI
 H. Geissler, Berlino (Germania), 1882
 vetro, metallo; lunghezza 250 e 185 mm
 INAF-Osservatorio Astronomico di Palermo*

Questi dodici tubi in vetro, di diversa lunghezza e a varia sezione, furono acquistati dall'Osservatorio di Palermo nel gennaio 1882; si tratta di comuni tubi di Geissler per scariche elettriche in gas a bassissima pressione. Alcuni sono privi dei contatti metallici alle estremità, altri delle etichette, a volte illeggibili, su cui sono indicate, in tedesco, le sostanze chimiche in questione, quali *Sauerstoff*, *Kohlensäure*, *Zinkchlorid*, *Stickstoff*. A partire dall'ultimo quarto del XIX secolo fino al 1930 i tubi Geissler furono prodotti da diverse vetrerie tedesche, come Franz Müller (Geissler's Nachfolger), Greiner & Friedrichs, Rudolf Pressler e altri. [i.c., d.r.]

Bibl.: FODERÀ SERIO, CHINNICI 1997, pp. 132-33.

PA.03. ZÖLLNER-TYPE DIRECT-VISION SPECTROSCOPE
M. Tauber, Leipzig (Germany), ca. 1870
brass, steel, glass; total length 550 mm
INAF-Palermo Astronomical Observatory*

This instrument was purchased in 1870 on the occasion of the total eclipse of Sun of December, 22nd (see Sec. 3), but it did not arrive in time to be used in the scientific expedition. It was made in Leipzig by Tauber, on the design of the Austrian spectroscopist J.C.F. Zöllner, famous for having designed spectroscopes and photometers. Starting from March 1871, it was attached to the Merz Equatorial of Palermo Observatory [see Pa. 15] and used by the astronomer Pietro Tacchini (1838-1905) for his studies on solar prominences.

Thanks to the observations made with this instrument, Tacchini was able to make one of the first classifications of solar prominences [see Pa. 12], which was adopted also by Angelo Secchi [see Pa. 07] at Collegio Romano Observatory. In the same year, the two astronomers started a series of simultaneous spectroscopic observations of the solar limb, in view of the start of a program for monitoring solar activity. The idea of extending this program to other astronomers led, in October 1871, to the establishment of Società degli Spettroscopisti Italiani (see Sec. 5), whose *Memorie* (see Pd. 04) represented the first international scientific journal of Astrophysics.

It is a direct-vision spectroscope, having two trains of five prisms. The instrument, whose total length is 55 cm, is divided into three sections. The first one includes the slit (whose width can be regulated by a screw) and the collimator (a lens aimed at obtaining a coherent lightbeam). At one end is a flange with an adapter for connection to the telescope a graduated circle in silvered metal, bearing a 0-360 degree division, with numbered 10-degree segments, enabling the angular position of the examined prominence to be measured; the spectroscope can be rotated by a screw, thus allowing the slit to be placed in a tangential or normal position with respect to the solar limb.

The second section includes the prism trains and it is attached to the first one by two small clamps allowing the axis of this section to be inclined with respect to the axis of the first one, by a micrometer screw. The third section, consisting of the eye-piece, is connected to the second one through a system equal to the one described above, which



allows the eye-piece to be inclined, with respect to the prisms. On the silvered metal ring, just under the divisions, it is engraved M. Tauber, Leipzig. [i.c.]

Bibl.: FODERÀ SERIO, CHINNICI 1997, pp. 131-32; CHINNICI 2008a, pp. 40-41; 56; CHINNICI 2008b, pp. 396-407; CHINNICI 2000; *The Popular Science* 1882, p. 287.

PA. 03. SPETTROSCOPIO A VISIONE DIRETTA DI TIPO ZÖLLNER
M. Tauber, Lipsia (Germania) ca. 1870
ottone, acciaio e vetro; lunghezza totale 550 mm
INAF-Osservatorio Astronomico di Palermo*

Questo strumento fu acquistato nel 1870, in occasione dell'eclisse totale di sole del 22 dicembre, visibile dalla Sicilia (vedi Sez. 3), ma non giunse in tempo per essere utilizzato dall'apposita spedizione scientifica. Fu costruito a Lipsia dall'officina Tauber, su progetto di Johann Karl Friedrich Zöllner (1834-1882), spettroscopista austriaco celebre per la progettazione di spettroscopi e fotometri. Montato al piano focale dell'equatoriale di Merz dell'Osservatorio di Palermo [cfr. Pa. 15], a partire dal marzo 1871 fu adoperato da Pietro Tacchini per i suoi studi sulle protuberanze solari. Grazie alle osservazioni condotte con questo strumento, Tacchini fu in grado di formulare una delle prime classificazioni delle protuberanze solari [cfr. Pa. 12], che sarà poi ripresa da Angelo Secchi [cfr. Pa. 07], all'Osservatorio del Collegio Romano. Nello stesso anno, in contemporanea con Secchi a Roma, Tacchini eseguì al Merz di Palermo, con questo strumento, una serie di osservazioni spettroscopiche del bordo del sole, in vista di un programma coordinato di monitoraggio dell'attività solare. L'idea di estendere questo programma ad altri osservatori darà luogo, nell'ottobre 1871, alla fondazione della Società degli Spettroscopisti

Italiani (vedi Sez. 5), le cui celebri *Memorie* (cfr. Pd. 04) costituiscono la prima rivista scientifica internazionale di astrofisica.

È uno spettroscopio a visione diretta, composto di un doppio sistema di cinque prismi. Lo strumento, lungo complessivamente 55 cm, è diviso in tre sezioni. La prima contiene la fenditura di ampiezza regolabile mediante una vite ed un collimatore. Ad una estremità si trova una flangia su cui è montato l'adattatore per il telescopio, con filettatura e ghiera. Sulla faccia superiore della flangia, vi è un cerchio graduato in metallo argentato diviso in gradi da 0 a 360, con numerazione ogni 10 gradi, per determinare gli angoli di posizione della protuberanza osservata; mediante una vite, è possibile far ruotare lo spettroscopio in modo da portare la fenditura in posizione tangenziale o normale al bordo solare.

La seconda sezione contiene il sistema di prismi, ed è attaccata alla precedente da due piccole staffe che consentono di inclinare l'asse di questa sezione rispetto a quello della prima mediante una vite micrometrica. Una delle staffe è ricoperta da una piastrina in metallo argentato, con una scala a trenta divisioni ed una piccola alidada per la lettura dell'inclinazione. La terza sezione, costituita dall'oculare, è collegata alla seconda con un sistema identico a quello già descritto, e permette di inclinare l'oculare rispetto alla sezione contenente i prismi. Sul disco in metallo argentato, subito sotto le divisioni, si trova la scritta: M. Tauber, Leipzig. [i.c.]

Bibl.: FODERÀ SERIO, CHINNICI 1997, pp. 131-32; CHINNICI 2008a, pp. 40-41; 56; CHINNICI 2008b, pp. 396-407; CHINNICI 2000; *The Popular Science* 1882, p. 287.

PA. 04. DIFFRACTION GRATING SPECTROSCOPE
Brassart Bros., Rome (Italy) 1884
brass, iron; total length 600 mm
INAF-Palermo Astronomical Observatory*

In the inventories of the Observatory it is described as a *Diffraction grating spectroscope with circle, collimator and telescope*; it was bought in February 1884 at a cost of £. 352. In the 1890 inventory it is listed as *Spectroscope mounting - diffraction-grating returned*; a copy of the same inventory bears an annotation in Ricco's handwriting: *The diffraction plate is a gift from Prof. Tacchini*.

The instrument is made of brass with burnished parts; its overall length, including the right-angle telescope, is about 60 cm. The tube bearing the slit and the collimator is 28 cm long, has a 5 cm diameter and is equipped with the usual screw to adjust the width of the slit. On the side of the slit it is connected to a collar, of 15 cm diameter, which rotates by means of a screw. On the collar it is engraved a circular scale, in silvered metal, numbered every 30° segment. Two needles made of burnished metal, diametrically opposed and fixed to the main tube, allow the position of the prominences observed on the solar limb to be determined. The small telescope is approximately 3.5 cm in aperture and its maximum protrusion from the tube is 10.5 cm. A steel burnished armor connects the main tube to a burnished metal cylindrical box, 6 cm high and with a 9 cm diameter, with a screw for sliding the side door. The box housed the diffraction grating, now missing.

The small 16-cm long telescope is connected through special supports to a metal plate which rotates, by a screw, around the lateral opening of the box, along a circular track. On the outer rim of the collar, the following inscription is engraved: FLLI BRASSART - ROMA. [i.c.]

Bibl.: FODERÀ SERIO, CHINNICI 1997, p. 133; CHINNICI 2000.



PA. 04. SPETTROSCOPIO A RETICOLO DI DIFFRAZIONE
Fratelli Brassart, Roma (Italia) 1884
ottone, ferro; lunghezza totale 600 mm
INAF-Osservatorio Astronomico di Palermo*

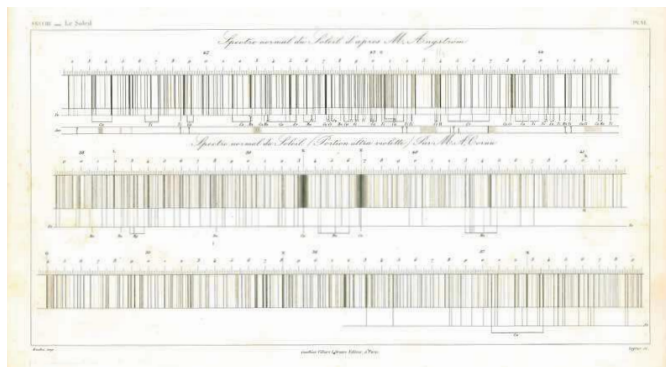
Negli inventari dell'Osservatorio è descritto come *Spettroscopio a lastrine di diffrazione con cerchio di posizione, collimatore e cannocchiale*; venne acquistato nel febbraio 1884 al costo di £. 352. In un inventario del 1890 lo stesso strumento compare con la dicitura *Montatura di spettroscopio a diffrazione - restituito reticolo*; in una copia, con un'annotazione di mano di Ricco, si legge: *La piastrina di diffrazione è dono del prof. Tacchini*.

Lo strumento è in ottone con parti brunito; la sua lunghezza complessiva, col cannocchiale ad angolo retto, è di circa 60 cm. Il tubo che alloggia la fenditura e il collimatore è lungo 28 cm, ha un diametro di circa 5 cm ed è dotato della consueta vite per regolare l'ampiezza della fenditura. Dal lato della fenditura è connesso al tubo il cerchio di posizione, del diametro di circa 15 cm, che ruota per mezzo di una vite. Su di esso è inserita una scala graduata circolare, in metallo argentato, con numerazione ogni 30°. Due indici in metallo brunito, diametralmente opposti e fissati al tubo principale, permettono di determinare la posizione della protuberanza osservata sul bordo solare. Il collimatore ha un'apertura di circa 3,5 cm; la sua sporgenza massima dal tubo principale è

di 10,5 cm. Un'armatura in acciaio brunito connette il tubo principale ad una scatola cilindrica di metallo brunito, alta 6 cm e di diametro di 9 cm, dotata superiormente di una vite che aziona uno sportellino laterale scorrevole. La scatola alloggiava il reticolo di diffrazione, oggi mancante.

Il cannocchiale infine, lungo circa 16 cm, dall'apertura di 3,5 cm, tramite degli appositi sostegni è connesso ad una piastrina metallica che ruota, mediante una vite, intorno all'apertura laterale della scatola, lungo una guida circolare ed essa fissata. Sul cerchio di posizione, nel bordo esterno alla scala, è incisa la scritta: FLLI BRASSART - ROMA. [i.c.]

Bibl.: FODERÀ SERIO, CHINNICI 1997, p. 133; CHINNICI 2000.



PA. 05. SECCHI, ANGELO (1818-1878)
Le soleil: exposé des principales découvertes modernes sur la structure de cet astre, son influence dans l'univers et ses relations avec les autres corps célestes. 2. éd., revue et augmentée
 Paris, Gauthier-Villars, 1875-1877
 3 v., ill.; 250 mm
 P1, Texte. - 1875. - xx, 428 p.
 P1, Atlas. - 1875. - xv, 484 p., [13] plates
 P2. - 1877. - viii, 484 p., [13] plates
 INAF-Palermo Astronomical Observatory*, Historical Library

This text is one of the most important 19th century treatises on the sun. Angelo Secchi were presents the results of his contemporary studies which contributed to deepen the knowledge of the chemical-physical nature of the sun. The first edition of *Le Soleil* was published in 1870 and became so successful that the volume was enlarged, revised and published again, in several editions and translations. The volume on show is the second edition of the book, in which are included Secchi's studies on the Sun carried out after 1870, which were initially published in *Memorie della Società degli Spettroscopisti*, the journal edited in Palermo by Pietro Tacchini, starting from 1872. Volume I is open on the pages explaining the Wilson effect (sunspots are represented as cavities); volume II is open on the plate

illustrating the first three types of the classification of star spectra proposed by Secchi. The volumes are accompanied by an atlas of solar spectrum lines, open on the page reporting the atlas of Sun spectrum lines made by Anders Jonas Ångström in 1868, where it also appears a handwritten annotation by Tacchini, in correspondence with the 1474K coronal line on table V and some manganese lines on table VI. [i.e., d.r.]

Bibl.: CHINNICI 2014, pp. 80-82; CHINNICI 2009, p. 201.

PA. 05. SECCHI, ANGELO (1818-1878)
Le soleil: exposé des principales découvertes modernes sur la structure de cet astre, son influence dans l'univers et ses relations avec les autres corps célestes. 2. éd., revue et augmentée.
 Paris, Gauthier-Villars, 1875-1877
 3 v., ill.; 250 mm
 P1, Texte. - 1875. - xx, 428 p.
 P1, Atlas. - 1875. - 6 c. di tav. rip.
 P2. - 1877. - viii, 484 p., [13] c. di tav.
 INAF-Osservatorio Astronomico di Palermo*, Biblioteca

È uno dei principali trattati dell'Ottocento sul Sole. In quest'opera, Angelo Secchi presenta i risultati degli studi dell'epoca che contribuiscono ad approfondire la conoscenza della na-

tura chimico-fisica del Sole. La prima edizione di *Le Soleil* fu pubblicata nel 1870 ed ebbe un tale successo che il volume fu ripubblicato, in versione ampliata e riveduta, in numerose edizioni e traduzioni.

La copia in esposizione è la seconda edizione dell'opera, che integra gli studi sul sole successivi al 1870, già in larga parte pubblicati da Secchi sulle *Memorie della Società degli Spettroscopisti*, edita a Palermo, a cura di Pietro Tacchini, a partire dal 1872. Il primo volume è aperto alle pagine 70-71, che riportano la descrizione dell'effetto Wilson; il secondo volume è invece aperto alla tavola I. (tra le pp. 450-451), che raffigura i primi tre tipi della classificazione spettrale delle stelle proposta da Secchi. L'opera è corredata da un atlante delle righe dello spettro solare, che include l'atlante delle righe telluriche, realizzato da Janssen, lo spettro solare fotografato da Draper e l'atlante delle righe dello spettro solare determinato da van der Willigen nel 1866 e da Ångström nel 1868, mostrato nella pagina esposta, alle tavole V-IV; si noti l'annotazione di mano Tacchini che riporta la posizione della riga coronale 1474K nella tavola V e la dicitura *righe sospettate lucide sul sole in corrispondenza di alcune righe del manganese nella tavola VI*. [i.e., d.r.]

Bibl.: CHINNICI 2014, pp. 80-82; CHINNICI 2009, p. 201.



PA. 06. DOMENICO COSTANTINO
(1840-1915)
Angelo Secchi, ca. 1870
Plaster sculpture; height 600 mm
INAF-Palermo Astronomical Observatory*

The Jesuit director of the Collegio Romano Observatory was a pioneer in astrophysics. To him were due important studies on solar physics, as well as one of the first stellar spectra classification schemes. He played a key role for the Palermo Observatory as his collaboration with Pietro Tacchini, with whom he began a fruitful partnership, led to the foundation of Società degli Spettroscopisti Italiani in 1871. The bust was commissioned to Domenico Costantini, a disciple of the sculptor Valerio Villareale, after Secchi's death, probably around 1870, and was donated to the Palermo Observatory. [i.c.]

Bibl.: CHINNICI 2015, p. 15.



PA. 06. DOMENICO COSTANTINO
(1840-1915)
Angelo Secchi, ca. 1870
gesso; altezza 600 mm
INAF-Osservatorio Astronomico di Palermo*

L'astronomo gesuita direttore dell'Osservatorio del Collegio Romano fu uno dei pionieri dell'astrofisica. A lui si devono importanti studi di fisica solare, nonché una delle prime classificazioni spettrali delle stelle. Secchi ebbe un ruolo importante per l'Osservatorio di Palermo per la sua collaborazione con Pietro Tacchini, col quale avviò una proficua collaborazione porterà alla fondazione della Società degli Spettroscopisti Italiani nel 1871. Il busto porta la firma di Domenico Costantini, allievo dello scultore Valerio Villareale (1773-1854); fu probabilmente commissionato alla morte di Secchi e donato all'Osservatorio di Palermo. [i.c.]

Bibl.: CHINNICI 2015, p. 15.



PA. 07. FOLDED CAMERA
[John Piggott & Co.], London, end of 19th -
turn of 20th century
brass, mahogany, glass, leather; box size
38x34x23 cm
INAF-Palermo Astronomical Observatory*

This special type of camera was very popular between the end of the 19th and the 30's of the 20th century. After the invention of the daguerrotype camera, the introduction of the bellows connecting the photosensitive plate to the objective, improved the focus of the picture, thanks to basculing and decentering of the focal plan as well as of the plate. The camera on display is a *Tourist Camera*, designed for travel photographers and therefore suitable for scientific expeditions, as it can be used both outdoor and indoor. It was probably used by the astronomer Temistocle Zona (1848-1910) during the expedition to Sfax, in Tunisia, aimed at observing the total solar eclipse of 1905. The camera is provided with a stand, about 165 cm high, kept in a leather case; it is equipped with a wooden box for travelling and is accompanied by another wooden case containing three plate-holders, each one bearing a double plate. It is well known that, at that time, glass plates, about 1 mm thin, were covered with a photosensitive emulsion (generally silver bromide).

On the outer part of the box is a small brass plate where it is engraved the name of the importer: FORNITURA GENERALE per la FOTOGRAFIA ERRICO MELENDEZ Piazza Marina N° 88 PALERMO.

The camera has recently been cleaned and restored: the missing frosted glass for focusing has been put anew and the missing brass screw fixing the camera to its stand has been remade; the stand has been repaired and cleaned, and the original objective has been replaced by a coeval one (Rapid Rectilinear ser. A, made by Manhattan Optical Company N.Y.). [i.c.]

PA. 07. MACCHINA FOTOGRAFICA
A SOFFIETTO
[John Piggott & Co.], Londra, fine XIX-inizi
XX secolo
ottone, mogano, vetro, cuoio; dimensioni
cassa 38 x 34 x 23 cm
INAF-Osservatorio Astronomico di Palermo*

Questo particolare tipo di fotocamera conobbe un'ampia diffusione tra la fine dell'Ottocento e gli anni Trenta del Novecento. Dopo l'invenzione della camera dagherrotipica, l'introduzione del soffietto, che collega la lastra fotosensibile all'obiettivo, permise una migliore messa a fuoco dell'immagine, grazie al basculaggio e al decentramento operabili sia sul piano pellicola che sul piano

ottico. L'esemplare in mostra è una *Tourist Camera*, realizzata per fotografi viaggiatori e quindi ideale per le spedizioni scientifiche; essa ha il doppio vantaggio di poter essere utilizzata sia per fotografie all'aperto che in interni. Fu probabilmente utilizzata dall'astronomo Temistocle Zona (1848-1910) durante la spedizione a Sfax, in Tunisia, per osservare l'eclisse totale di Sole del 1905.

La fotocamera è dotata di un cavalletto a treppiede, alto circa 165 cm, con custodia in cuoio, è alloggiata in una cassetta di legno per il trasporto ed è corredata da una seconda cassetta contenente tre porta-lastre, ognuno con doppia lastra. Come è noto, le lastre dell'epoca erano in vetro, di spessore 1mm circa, ricoperte da emulsione fotosensibile (generalmente bromuro d'argento).

Sull'esterno della cassa è infissa una targhetta in ottone che riporta il nome dell'importatore: FORNITURA GENERALE per la FOTOGRAFIA ERRICO MELENDEZ Piazza Marina N° 88 PALERMO. La macchina è stata di recente sottoposta a pulitura e restauro: il vetro satinato per la messa a fuoco, mancante, è stato ripristinato e la vite di ottone di fissaggio della macchina al cavalletto, mancante, è stata rifatta; il treppiede è stato riparato e pulito, mentre l'obiettivo originale è stato sostituito con un coevo (Rapid Rectilinear ser. A, prodotto dalla Manhattan Optical Company N.Y.). [i.c.]

PA. 08. [MERZ EQUATORIAL TELESCOPE OF PALERMO ASTRONOMICAL OBSERVATORY] [Elli Tagliarini], Palermo, last quarter of 19th century
 fotografia; 220x290 mm
 INAF-Palermo Astronomical Observatory*, Historical Archives

This telescope, which was bought in Munich by the director Domenico Ragona (1820-1892), arrived to the Palermo Observatory in 1858 but was installed only in 1865 by Pietro Tacchini. The instrument was identical to the one used by Father Angelo Secchi at the Collegio Romano Observatory, and this circumstance allowed the two astronomers to start a coordinated program of spectroscopic observations of the solar chromosphere, which led in October 1871 to the foundation of Società degli Spettroscopisti Italiani.

In the 50's of the past century the telescope on undergoing a "modernization" intervention by Officine Salvadori in Florence, was irreversibly changed and lost some original pieces. In 1999 it was restored and brought as close as possible to its original conditions; the unusual marble pillar, in which signs of damage had been recently noticed, was restored in 2013. The photograph shows the telescope as it was around the end of the 19th century, inside its room equipped with a cylindrical dome, which was later deeply modified and renewed. It is quite likely that the photo was made by the brothers Antonino and Tommaso Tagliarini, famous Palermo-based photographers, who often collaborated with the Observatory. [i.c., d.r.]

Bibl.: CHINNICI, BRENNI 2015; CHINNICI 2008a, p. 96.

PA. 08. [EQUATORIALE MERZ DELL'OSSERVATORIO DI PALERMO] [Elli Tagliarini], Palermo ultimo quarto XIX secolo
 fotografia; 220 x 290 mm
 INAF-Osservatorio Astronomico di Palermo*, Archivio Storico

Il telescopio, acquistato a Monaco di Baviera dal direttore Domenico Ragona (1820-1892), arrivò all'Osservatorio di Palermo nel 1858 ma fu montato soltanto nel 1865 da Pietro Tacchini. L'esemplare era identico a quello utilizzato da Padre Angelo Secchi al Collegio Romano, circostanza che consentì ai due astronomi di avviare un programma coordinato di osservazioni spettroscopiche della cromosfera solare, dal quale nell'ottobre del 1871 scaturì la fondazione della Società degli Spettroscopisti Italiani.

Negli anni '50 dello scorso secolo, lo strumento fu sottoposto ad un intervento di "ammmodernamento" da parte delle Officine Salvadori di Firenze, intervento che operò alcune modifiche irreversibili, nonché la perdita di alcune parti originali dello strumento. Nel 1999 il telescopio è stato restaurato e riportato il più vicino possibile alle sue condizioni originali; l'insuale pilastro in marmo, nel quale era stata di recente riscontrata una lesione, è stato invece restaurato nel 2013.

La fotografia qui esposta mostra il telescopio come appariva intorno alla fine del XIX secolo, all'interno della sala con cupola cilindrica che lo ospitava, oggi profondamente modificata e rinnovata. È altamente probabile che sia stata realizzata dai fratelli Antonino e Tommaso Tagliarini, celebri fotografi palermitani dell'epoca, che collaborarono con l'Osservatorio. [i.c., d.r.]

Bibl.: CHINNICI, BRENNI 2015; Chinnici 2008a, p. 96.



PA. 09. TACCHINI, PIETRO (1838-1905)
 "Macchie solari" (sunspots)
Bullettino meteorologico del Reale Osservatorio di Palermo
 vol. I, 1865.
 134 p., [4] plates, 350 mm
 Mimeographed handwritten manuscript
 INAF-Palermo Astronomical Observatory*, Historical Library

Although *Bullettino* was devoted to diffusing the meteorological data collected at the observatory, its editor, the director Gaetano Cacciatore, decided to include in the magazine also those articles being of major importance in the actuality of science, and which can contribute to its amelioration and development (CACCIATORE 1871, p. 1). The first solar studies made by Pietro Tacchini with the Merz telescope were thus published in *Bullettino*.

However, starting from 1872, this type of articles was no longer included, because in the same year the journal *Memorie degli Spettroscopisti Italiani* (see Pd. 04) the official publication of the Society (see Sec. 5), was started, being purposely made to issue works on solar spectroscopy (CACCIATORE 1872, p. 1).

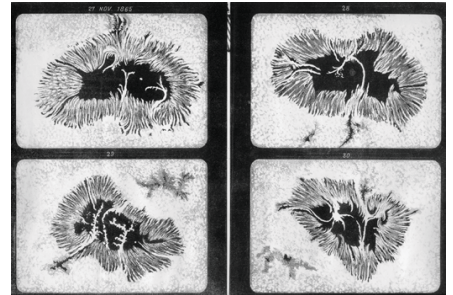
This volume shows the reproduction of Tacchini's first hand drawings of solar spots, which he made in 1865 soon after the installation of the Merz telescope. [i.c., d.r.]

Bibl.: CACCIATORE 1871; CACCIATORE 1872.

PA. 09. TACCHINI, PIETRO (1838-1905)
 "Il Sole veduto con ..."
Bullettino meteorologico del Reale Osservatorio di Palermo
 vol. I, 1865
 1 vol. 134 p., [4] p. di tav., 350 mm
 volume a stampa ciclostilata da manoscritto
 INAF-Osservatorio Astronomico di Palermo*, Biblioteca

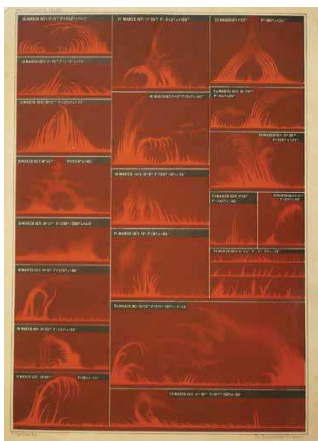
Pur essendo dedicato alla diffusione dei dati meteorologici raccolti presso l'Osservatorio, per scelta editoriale del direttore di allora, Gaetano Cacciatore (1814-1889), il *Bullettino* pubblicava anche quei lavori che nell'attualità della scienza hanno una maggiore importanza, e che possono concorrere al suo miglioramento ed incremento (CACCIATORE 1871, p. 1). Furono pertanto qui pubblicati i primi studi solari eseguiti a Palermo con il telescopio Merz da parte di Pietro Tacchini.

Dal 1872, tuttavia, tali lavori non furono più



inclusi nel *Bullettino meteorologico*, perché nello stesso anno prese avvio la pubblicazione delle *Memorie degli Spettroscopisti Italiani* (cfr. Pd. 04), appositamente creato per raccogliere i lavori di spettroscopia solare (cfr. CACCIATORE 1872, p. 1). Il volume è aperto alla pagina contenente i primi disegni di macchie solari eseguiti da Tacchini nel 1865 subito dopo l'installazione del telescopio Merz. [i.c., d.r.]

Bibl.: CACCIATORE 1871; CACCIATORE 1872.



PA. 10. TACCHINI, PIETRO (1838-1905)
"Fisica solare" (solar physics)
Bullettino del Reale Osservatorio di Palermo
vol. VII, 1871
[2], 164 p., [10] plates, ill., 360 mm
5 lithographed plates, 1871. Litografia
Fraunfelder, Palermo
March (a); 315x230 mm
March (b); 315x230 mm
INAF-Palermo Astronomical Observatory*,
Historical Library

The exhibited plates are the lithographed drawings of solar prominences observed by Pietro Tacchini with the Tauber spectroscope (see Pa. 01) applied to the Merz telescope (see Pa. 13) of Palermo Observatory. The comparison between the simultaneous observations of the solar limb made from Palermo Observatory and Collegio Romano Observatory, later also from Padua Observatory, during the same year led foundation of Società degli Spettroscopisti Italiani (see Sec. 5).

Tacchini, who was very clever at observing and drawing the solar limb and the chromosphere structures, in 1871 was among the first astronomers to classify solar protuberances

into *nebulous, filamentous and radial* (TACCHINI 1871, pp. 93-94).

Recent comparisons with coronagraph images highlight the accuracy and quality of details of these drawings, which show Tacchini's skills in observing and drawing. [i.e., d.r.]

Bibl.: TACCHINI 1871; CHINNIGI 2008b;
CHINNIGI 2009, pp. 202-203.

PA.10 TACCHINI, PIETRO (1838-1905)
"Fisica solare"
Bullettino del Reale Osservatorio di Palermo
vol. VII, 1871

[2], 164 p., [10] plates, ill., 360 mm
5 tavole litografate, 1871. Litografia

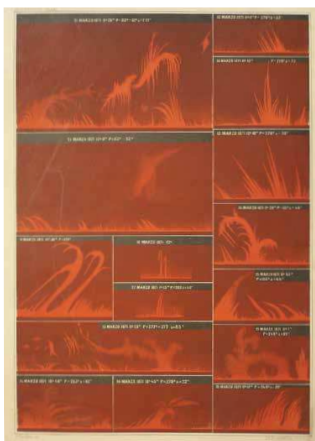
Fraunfelder, Palermo

Marzo (a); 315 x 230 mm

Marzo (b); 315 x 230 mm

INAF-Osservatorio Astronomico di Palermo*

Le tavole in mostra sono le litografie dei disegni di protuberanze solari osservate da Pietro Tacchini mediante lo spettroscopio Tauber [cfr. Pa. 01] applicato al telescopio Merz [cfr. Pa. 13] dell'Osservatorio di Palermo.



Il confronto delle osservazioni contemporanee del bordo solare tra gli Osservatori di Palermo e del Collegio Romano, poi anche dell'Osservatorio di Padova, porterà in quello stesso anno alla fondazione della Società degli Spettroscopisti Italiani (cfr. Sez. 5). Tacchini, particolarmente abile nell'osservare e disegnare il bordo solare e le strutture della cromosfera, nel 1871 formulò una delle prime classificazioni delle protuberanze solari, distinguendole in *nebulose, filamentose e radiate* (TACCHINI 1871, pp. 93-94). Recenti confronti con immagini ottenute al coronografo evidenziano l'accuratezza e la qualità dei dettagli di questi disegni, che mettono in rilievo la straordinaria abilità di Tacchini. [i.e., d.r.]

Bibl.: TACCHINI 1871; CHINNIGI 2008b;
CHINNIGI 2009, pp. 202-203.

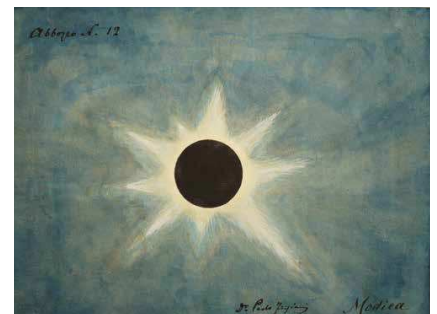


PA. 11. 1. [ABBOZZO N. 5: NOTO /
PAOLO FRISIANI]; 2. [ABBOZZO N. 12:
MODICA / PAOLO FRISIANI]
1. Corrado Cassone, Noto 1870
2. [Paolo Frisiani], Modica 1870
watercolours; 350x450 mm
INAF-Palermo Astronomical Observatory*,
Historical Archives, Serie III: Eclisse 1870,
58.5.

The watercolours illustrating the totality of the 1870 eclipse (see Sec. 3) were made in Noto and Modica by amateur astronomers belonging to the task force of volunteers gathered to observe and draw the phenomenon, upon call by Paolo Frisiani, professor of Physics at Modica High School. The watercolours were thus enclosed to the scientific report sent by Frisiani to the state Commission charged with the observation of the event.

In cases like this, the contribution given by amateur astronomers was very relevant, and called for by professional astronomers (see Na. 04). In the two watercolours the Sun corona, i.e. the light halo appearing around the solar disc during totality, is represented with a different shape. The different appearance of the corona in the various observation sites was one of the elements which made more difficult the understanding of the nature of coronal light. [i.e., d.r.]

Bibl.: CHINNIGI 2008a; CHINNIGI 2009, p. 209.



PA. 11. 1.[ABBOZZO N. 5: NOTO /
PAOLO FRISIANI]; 2. [ABBOZZO N. 12:
MODICA / PAOLO FRISIANI]
1. Corrado Cassone, Noto 1870
2. [Paolo Frisiani], Modica 1870
acquerello; 350x450 mm
INAF-Osservatorio Astronomico di
Palermo*, Archivio Storico, Serie III: Eclisse
1870, 58.5

I disegni raffigurano la fase di totalità dell'eclisse del 1870 (cfr. Sez. 3), e furono eseguiti a Noto e a Modica da alcuni osservatori amatoriali della rete di volontari messa in campo da Paolo Frisiani, professore di Fisica presso il liceo di Modica, per osservare e disegnare il fenomeno. Essi furono pertanto allegati alla relazione scientifica che Frisiani inviò all'apposita Commissione governativa italiana incaricata di osservare il fenomeno.

Il contributo dato dagli astronomi amatoriali in questi casi era molto importante, perché diffuso sul territorio, ed era richiesto e sollecitato dagli stessi astronomi professionisti (cfr. Na. 04). Nei due acquerelli qui esposti si noti la diversa forma con cui è raffigurata la corona solare, ovvero l'alone luminoso che appare intorno al sole al momento della totalità dell'eclisse. La diversa apparenza della corona in vari luoghi di osservazione della stessa eclisse costituì uno degli elementi che complicarono la comprensione della natura della luce coronale. [i.e., d.r.]

Bibl.: CHINNIGI 2008a; CHINNIGI 2009, p. 209.

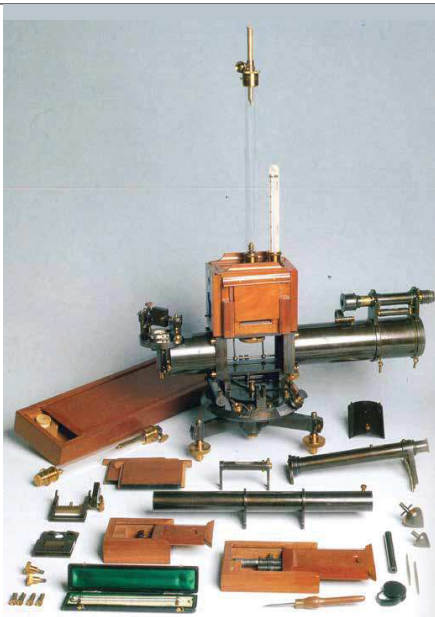
PA. 12. KEW OBSERVATORY UNIFILAR MAGNETOMETER
 Dover, London (United Kingdom) 1904
 steel, brass, iron, glass; size of the box
 545x295x300 mm
 INAF-Palermo Astronomical Observatory*

The unifilar magnetometer is a standard instrument in the field of geomagnetic measurements; it was built on a standard approved by Kew Observatory in England. Needed for measuring both the variation and the horizontal intensity of a magnetic field, it came either as a fixed or a portable instrument. It was the first of the geomagnetic instruments of which the Observatory came into possession in the early 20th century. It was commissioned in 1904 and arrived in Palermo in May 1905. The magnetometer was tested at the *National Physical Laboratory of Kew*, which also sent the instructions for use and special modules for the observations of oscillation, deviation and absolute declination. Seems that the Director of the time, Filippo Angelitti, intended to use this instrument to determine the solar azimuth. The instrument is made of burnished brass, and has three legs with adjusting screws. The horizontal circle has a graduated nonius in 20', accommodations for reading microscopes, bolts and a bubble level. Above the chamber for the suspended magnet stands a wooden box for the suspended magnet, with sliding wooden doors, and on the top of it are inserted a glass suspension tube and a thermometer to check the temperature of the magnet room. At the two sides of the box are, respectively, a small telescope, with rack and pinion focusing, bubble level and filters, and the mirror frame for solar observations, with its horizontal axis and screws on a plate. On the horizontal circle it is engraved the inscription: *Dover Charlton Kent N.° 155*. The exceptional state of preservation suggests that it has never been used. It is preserved in its elegant mahogany case, inside its padded transport sleeve. [i.c.]

Bibl.: FODERÀ SERIO, CHINNICI 1997, p. 161.

PA. 12. MAGNETOMETRO UNIFILARE DI KEW
 Dover, Londra (Regno Unito) 1904
 acciaio, ottone, ferro, vetro; dimensioni cassa
 545 x 295 x 300 mm
 INAF-Osservatorio Astronomico di Palermo*

Il magnetometro unifilare costituisce uno stru-



mento campione nel campo delle misure di geomagnetismo; esso veniva costruito su uno standard approvato dall'Osservatorio di Kew, in Inghilterra. Serviva per misure sia di variazione che di intensità orizzontale di campo magnetico ed era utilizzato sia come strumento portatile che da laboratorio. Fu il primo degli strumenti di geomagnetismo di cui l'Osservatorio entrò in possesso, ordinato nel 1904 arrivo a Palermo nel maggio dell'anno successivo. Lo strumento venne testato presso il *National Physical Laboratory of Kew*, da dove vennero inviate le istruzioni per l'uso ed appositi moduli per le osservazioni di oscillazione, di deviazione e di declinazione assoluta. Da una richiesta di appositi moduli da parte del direttore di allora, Filippo Angelitti (1856-1931), pare che egli intendesse utilizzare questo strumento per la determinazione dell'azimut

solare; insieme a tali moduli si conservano in archivio le istruzioni dattiloscritte per l'uso. Lo strumento è in ottone brunito, con tre piedi dotati di viti di regolazione. Il cerchio orizzontale graduato è dotato di nonio ventesimale; è completo di microscopi per la lettura, viti di bloccaggio e livella a bolla. Sull'alloggiamento centrale si innestano il tubo di sospensione del magnete ed il termometro per controllare la temperatura della camera del magnete. È firmato *Dover Charlton Kent N.° 155*. L'eccezionale stato di conservazione fa supporre che non sia stato mai utilizzato. È conservato nella sua elegante cassa in mogano, all'interno della contraccassa, imbottita, da trasporto. [i.c.]

Bibl.: FODERÀ SERIO, CHINNICI 1997, p. 161.

PA. 13. [AURORA] III, IV, V
 G. Montemagno, Callagirone, 1870
 watercolour; 270x340 mm
 INAF-Palermo Astronomical Observatory*,
 Historical Archives

The three plates on show were part of a six-watercolour sequence illustrate the various phases of the aurora which took place in the nights of 24 and 25 October 1870. It was not an unusual occurrence, during the maximum solar activity, to observe auroras at relatively low latitudes, given the purity of the sky at that time. The 1870 auroras were quite spectacular and they were accompanied by the usual geomagnetic perturbations which take place simultaneously. The aurora lights were spectroscopically analyzed in the 19th century, but the wavelength of the aurora spectral lines was difficult to be determined with some precision. Nowadays we know that auroras are produced by charged particle in the solar wind interacting with the ionosphere (upper part of the terrestrial atmosphere) and that they occur more frequently in the periods of maximum solar activity. [i.c., d.r.]

Bibl.: TACCHINI 1870; CHINNICI 2009, p. 235.

PA. 13. [AURORA BOREALE] III, IV, V
 G. Montemagno, Callagirone 1870
 acquerello; 270 x 340 mm
 INAF-Osservatorio Astronomico di
 Palermo*, Archivio Storico

I tre disegni in mostra facevano parte di una sequenza di sei acquerelli che raffigurano varie fasi dell'aurora boreale verificatesi nelle notti del 24 e 25 ottobre 1870. Non era inusuale, a quell'epoca, nei periodi di massima attività solare, osservare aurore boreali anche a latitudini relativamente basse, dato lo scarso inquinamento luminoso. Le aurore del 1870 furono molto spettacolari e le tipiche perturbazioni geomagnetiche che si verificano in concomitanza al loro apparire. Anche le luci aurorali vennero analizzate spettroscopicamente nel XIX secolo, ma la lunghezza d'onda delle righe spettrali dell'aurora boreale risultò difficile da determinare. Oggi sappiamo che le aurore boreali sono prodotte dall'interazione delle particelle cariche presenti nel vento solare con la ionosfera (parte alta dell'atmosfera terrestre) e che sono più frequenti nei periodi di massima attività solare. [i.c., d.r.]

Bibl.: TACCHINI 1870; CHINNICI 2009, p. 235.

