

L'Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere

II - STORIA DELLA CLASSE DI
SCIENZE MATEMATICHE E NATURALI

Bruno Bertotti

Astronomia e Geodesia



ISTITUTO LOMBARDO ACCADEMIA DI SCIENZE E LETTERE



LIBRI SCHEIWILLER

BRUNO BERTOTTI*

ASTRONOMIA E GEODESIA

1. *Lo sviluppo delle discipline astronomiche*

Anche al fine di giudicare correttamente la storia dell'astronomia lombarda, è utile passare brevemente in rassegna, con alcune date e scoperte miliari, lo stato e lo sviluppo delle discipline astronomiche dal XIX secolo fino all'inizio della seconda guerra mondiale. Le attività degli astronomi si potevano classificare in quattro gruppi¹:

1. SISTEMA PLANETARIO. Dal punto di vista osservativo i corpi del sistema solare differiscono dalle stelle per il loro moto nel cielo, spesso rapido, rispetto a queste; si pone quindi immediatamente il problema di una teoria dinamica in grado di spiegarlo. Esso era stato risolto da I. Newton per il caso di due corpi (il "moto kepleriano"), appropriato al caso, più frequente, in cui la forza gravitazionale che agisce sui pianeti è prevalentemente dovuta al Sole (o, per i satelliti naturali, al pianeta corrispondente); le osservazioni erano in buon accordo con le previsioni. Tuttavia il moto di un corpo sottoposto all'azione di più di un centro gravitante è assai più complesso; per esempio, la coppia Terra-Luna è soggetta ad importanti perturbazioni dovute al Sole e agli altri pianeti. Nel '700 e '800, per risolvere problemi dinamici concreti con tre o più corpi, furono sviluppati, soprattutto da matematici francesi e inglesi, complessi e potenti metodi analitici, anche in grado di mettere in relazione le osservazioni astronomiche con le predizioni teoriche. P.S. Laplace (1749-1827) esercitò un'influenza immensa sulla meccanica celeste e la fisica matematica, in particolare con il suo grande trattato in cinque volumi *Traité de mécanique céleste* (Parigi, 1798-1825). Il moto dei pia-

* Dipartimento di Fisica Nucleare e Teorica - Università di Pavia.

¹ Per la storia dell'astronomia italiana nell'800 si veda D. CENAPELLI e P. TUCCI, *I contributi di studiosi italiani all'astronomia gravitazionale, astronomia osservativa e all'astronomia descrittiva alla fine del XIX secolo*, Atti del Convegno Annuale di Storia dell'Astronomia (1999), a cura di P. Calzedda e E. Proverbio, Cagliari 2000.

neti era così diventato, almeno in linea di principio, comprensibile razionalmente e matematicamente. La scoperta di Nettuno – l'ottavo pianeta, all'esterno di Urano – è una straordinaria manifestazione di questa profonda interconnessione: nel 1845 e 1846 J. C. Adams e U.J. Le Verrier suggerirono indipendentemente che certe irregolarità nell'orbita di Urano potevano essere attribuite ad un altro pianeta, mai osservato prima d'allora; e furono anche in grado di calcolarne l'orbita e la posizione su di essa. Disponendo di queste predizioni J. G. Galle e H. L. d'Arrest all'Osservatorio di Berlino individuarono il 23 settembre 1846 il nuovo pianeta nella regione del cielo prevista. È interessante notare che la predizione aveva un errore di solo 2°, quattro volte il diametro della Luna. Nel XIX secolo l'astronomia del sistema solare era anche impegnata nella scoperta di nuovi corpi, in particolare le comete e gli asteroidi, e alla determinazione della loro orbita. Infine l'aspetto ottico e la rotazione dei pianeti, in particolare Venere, Marte e Giove, furono oggetto di grande interesse.

2. LE OSSERVAZIONI E I CATALOGHI STELLARI. L'astronomia stellare fu, fino verso la fine del XIX secolo, una disciplina essenzialmente geometrica ed empirica, il cui scopo principale era quello di costruire accurati cataloghi, comprendenti la magnitudine apparente e la posizione degli astri nella volta celeste. A questo scopo era richiesto agli astronomi un assiduo e paziente lavoro osservativo notturno, in stretta collaborazione con le altre sedi. La natura delle nebulose extragalattiche, e l'ingresso della cosmologia nell'astronomia, rimase incerta fino all'inizio degli anni 20 del 900, in cui astronomi americani (in particolare E. Hubble) furono in grado di risolverle in stelle. A differenza del moto dei pianeti, la comprensione razionale della struttura e dell'evoluzione delle stelle non fu pienamente accessibile sino agli anni 30. Essa fu resa possibile da due sviluppi difficili e lenti: la determinazione della distanza degli astri più vicini con la tecnica della parallasse annua (la prima misura, realizzata nel 1838 per la stella 61 *Cygni*, è dovuta a F. W. Bessel (1748-1846)); il grande e centrale problema teorico della sorgente energetica della radiazione di una stella e quello, conseguente, della sua durata. Fino al 1938, anno in cui H. Bethe e, indipendentemente, C. F. von Weizsäcker, ne trovarono la soluzione nelle reazioni nucleari di fusione, l'unica candidatura seria era quella dell'energia gravitazionale dovuta al collasso iniziale del Sole, proposta per la prima volta nel 1854 da *Hermann von*

*Helmoltz*_[1868] (1821-1894); ma ciò portava a un'età del sistema solare troppo breve, in contraddizione con l'evidenza geologica.

3. LO SVILUPPO DI NUOVA STRUMENTAZIONE, in particolare, sia la costruzione e l'uso di nuovi telescopi, in particolare i riflettori, che le tecniche fotografiche e spettroscopiche. Sempre più costosa e complessa, essa richiedeva non solo la soluzione di problemi organizzativi e finanziari, ma anche il costante e paziente impegno di osservatori e di abili tecnici. Le tecniche di spettroscopia astronomica (e la teoria atomica relativa), oggi fondamentali, ebbero inizio, per quanto riguarda il Sole, con J. von Fraunhofer (1787-1826); solo con esse si è potuta lentamente sviluppare l'astrofisica, con la quale i meccanismi con cui le stelle irraggiano e si evolvono sono finalmente diventati oggetto di comprensione razionale.

4. GEODESIA E GEOFISICA. Nel '700 e '800 l'astronomia era strettamente connessa con i problemi della rotazione e della forma della Terra. Le mappe catastali richiedevano accurate misure di latitudine e longitudine; la misura del tempo aveva un'importanza concreta e ufficiale. Poiché le osservazioni astronomiche sono fatte sulla superficie della Terra rotante, è essenziale conoscere con accuratezza l'orientazione del suo asse e la sua velocità angolare. La latitudine è il complementare dell'angolo tra lo zenit di un luogo e l'intersezione con la volta celeste dell'asse istantaneo di rotazione. Già nella prima metà del XIX secolo si sapeva, per ragioni teoriche, che tale asse può non essere fisso; in tal caso la latitudine cambia col tempo e, quindi, deve essere corretta per essere applicabile alla topografia di precisione. La prima evidenza osservativa risale al 1873; nel 1891 S. C. Chandler fu in grado di descrivere il piccolo spostamento del polo in funzione del tempo, aprendo una problematica complessa e importante, ancor oggi di grande attualità. Più in generale, le misure geodetiche circa la forma, la dimensione e l'assetto della Terra e la loro interpretazione costituiscono un collegamento necessario tra l'astronomia di posizione e la topografia. Al problema della deformazione centrifuga della Terra, anche quando la sua densità dipende dalla distanza dal centro, diede importanti contributi il fisico matematico francese A.-C. Clairaut (1713-1765)²; questa analisi è ancora attuale e usata correntemente.

² A.-C. CLAIRAUT, *Theorie de la figure de la Terre*, Paris 1743.

Gli astronomi italiani ebbero un ruolo importante nello studio del moto del polo. Il matematico *V. Volterra* ne analizzò la dinamica nell'importante pubblicazione "Sulla teoria dei movimenti del polo terrestre", *Astron. Nachr.*, 138, 33-52 (1895); egli fu in stretto rapporto con *G. V. Schiaparelli*, che nel 1899 pubblicò "De la rotation de la Terre sous l'influence des actions géologiques" (*Opere*, X 497-525).

Un'analisi dettagliata e interessante, in particolare riguardo ai contributi di membri dell'Istituto, si trova in *P. Broglia* e *A. Manara*, "Note su alcuni tra i primi studiosi italiani del moto del polo", in: "Storia del servizio internazionale delle latitudini e delle imprese di cooperazione internazionale (1850-1950)", a cura di *P. Calledda* e *E. Proverbio*. Convegno annuale di storia dell'astronomia, Cagliari 1999, pp. 187-201.

2. *L'Istituto Lombardo e l'Osservatorio di Brera*

L'interesse dell'Istituto Lombardo per l'astronomia e le discipline connesse, come la geodesia, è stato strettamente connesso con l'Osservatorio di Brera. Esso era stato fondato nel 1764 da un grande astronomo e matematico, *Ruggero Boscovich*³; fin dall'inizio l'Istituto fu associato al centro di istruzione e cultura che l'ordine dei Gesuiti aveva creato nel '600 nel palazzo di Brera a Milano, e lo sviluppo di strette relazioni con l'Osservatorio fu naturale. Gli astronomi, spesso impegnati in costosi progetti di sviluppo strumentale, certo si avvantaggiavano dall'appartenenza al prestigioso Istituto e della risonanza culturale che la partecipazione alle sue attività e la stampa di memorie nelle sue pubblicazioni poteva assicurare. *Angelo Cesaris*_[1803] nel 1817 divenne il primo direttore formale dell'Osservatorio; da allora sino al 1970 tutti i direttori furono anche membri dell'Istituto⁴. Si deve anche sottolineare il ruolo che astronomi membri dell'Istituto ebbero nello sviluppo dell'astronomia italiana. *Giuseppe Piazzi*_[1803] fu direttore dell'Osservatorio di Palermo ed ebbe una rinomanza internazionale per la scoperta nel 1801 di un

³ P. BURSILL-HALL (ed.), *R.J. Boscovich: Vita e attività scientifica: His life and scientific work* (Rome, 1993).

⁴ Per una breve storia dell'Osservatorio, vedi: E. MIOTTO, G. TAGLIAFERRI e P. TUCCI, *La strumentazione nella storia dell'Osservatorio Astronomico di Brera*, Milano, Unicopli 1989.

asteroide, denominato Cerere⁵; *Giovanni Plana*_[1844], assai noto in campo internazionale per la sua teoria sul moto della Luna, fu direttore dell'Osservatorio di Torino dal 1813 al 1864.

Il ruolo che l'Istituto ebbe nell'astronomia lombarda e l'interazione con l'Osservatorio sono stati certo importanti, ma spesso impliciti e non documentabili. Il veicolo istituzionale per la diffusione delle ricerche astronomiche dell'Osservatorio erano le «Effemeridi» (dal 1774 al 1874); ma anche le pubblicazioni dell'Istituto erano diventate un importante mezzo di comunicazione e di discussione astronomica a livello europeo e mondiale, e furono ampiamente usate dagli astronomi di Brera per la diffusione e la discussione pubblica dei loro risultati. Si può rilevare la grande differenza con il presente, in cui i risultati delle ricerche astronomiche (a parte gli argomenti di carattere locale) sono generalmente pubblicati solo su riviste specialistiche (con due eccezioni, «Nature» e «Science») e di carattere internazionale. Parecchi astronomi ebbero ruoli di rilievo nella direzione dell'Istituto; in particolare, *A. Cesaris* (che diresse temporaneamente anche ambedue le classi dell'Istituto), *Giuseppe Piola*_[1862], *Francesco Carlini*_[1812], *Giovanni Schiaparelli*_[1862] e *Giovanni Celoria*_[1873] ne furono anche presidenti. Dal 1822 al 1830 *Cesaris* presiedette alla distribuzione dei Premi d'Industria, compito che in seguito svolsero anche *Carlini*, *Piola* e *Paolo Frisiani*_[1840]. Più oltre, di alcuni di essi saranno brevemente illustrati i contributi al progresso della disciplina.

L'Istituto non sembra avere avuto un ruolo diretto nel notevolissimo sviluppo della strumentazione astronomica presso l'Osservatorio nel XIX secolo; è tuttavia utile indicarne le tappe principali. Il rifrattore Merz, con apertura di 22 cm, arrivò a Brera nel 1865 sotto la direzione di *Schiaparelli*, ma occorsero parecchi anni perché esso entrasse in funzione nel 1875 nella cupola appositamente costruita. Questo strumento è stato di recente restaurato e rimesso in funzione per scopi didattici e storici. Anche sulla scia delle osservazioni di Marte, *Schiaparelli* riuscì nel 1878 a ottenere un finanziamento statale per un nuovo rifrattore, con apertura di 49 cm; dopo molte vicissitudini esso fu costruito in Germania dalla ditta Merz e Repsold e entrò in funzione nel 1886. Esso fornì la base per l'importante attività osservativa di Brera fino agli anni 60, quando fu

⁵ G. PIAZZI, *Della scoperta del nuovo pianeta Cerere Ferdinandea, ottavo tra i primari del nostro sistema solare*, Palermo 1802.

messo da parte. All'inizio del '900 la costruzione dei telescopi si orientò decisamente verso i riflettori, che usano specchi al posto di sistemi di lenti. Nel 1923, sotto la direzione di *Emilio Bianchi*^[1923], fu ordinato alla ditta Zeiss un nuovo telescopio riflettore con uno specchio con diametro di 102 cm; nel 1927 entrò in funzione a Merate, ove era stata istituita da *Bianchi* una seconda sede dell'Osservatorio con migliori condizioni di visibilità; in essa fu gradualmente trasferita tutta l'attività osservativa. La quantità di radiazione rivelabile è proporzionale all'area di raccolta, e quindi al quadrato del diametro dello strumento; quindi il passaggio da 22 cm a 49 cm e, poi, a 102, ha permesso di osservare sorgenti più deboli, più lontane e più numerose, con un miglioramento qualitativo delle osservazioni. Il riflettore Zeiss è tuttora adoperato per programmi osservativi particolari.

L'Osservatorio ebbe anche attività con risvolti applicativi e di interesse civile; in alcune di esse vi furono interazioni con l'Istituto Lombardo. Ne cito quattro esempi:

– Per esigenze militari e civili nel '700 il Governo incaricò gli astronomi dell'inquadramento delle mappe catastali con misure di longitudine e latitudine e fornì risorse finanziarie a Brera per migliorarne la dotazione strumentale. Era allora in corso una riforma della misura del tempo e gli astronomi *Francesco Reggio*^[1803] e *Cesaris* furono incaricati di costruire una meridiana nel Duomo di Milano, che forniva l'istante del mezzogiorno con una precisione di 1-2 secondi. La determinazione della longitudine, essenziale per la costruzione di mappe topografiche e per le osservazioni astrometriche, richiedeva orologi accurati, la cui tecnologia era in gran parte basata su competenze artigianali; per questo e per la cura di tutta la strumentazione, l'Osservatorio aveva istituito il posto di "Macchinista di Brera". Nel 1870 esso fu assegnato al tecnico di origine austriaca Giuseppe Kohlschitter⁶. Nell'Ottocento l'Istituto Lombardo ha avuto un importante ruolo di promozione tecnologica con la periodica assegnazione dei "Premi d'industria" a innovazioni di carattere industriale; tra essi ha rilievo il premio assegnato a Kohlschitter nel 1871 da *F. Carlini*, allora presidente dell'Istituto, per un particolare tipo di scappamento. Esemplari di queste "invenzioni" erano raccolti in sette stanze del "Gabinetto Tecnologico dell'I.R. Istituto Lombardo"; un inventario del 1846 elenca nella terza stanza alcuni scappamenti e meccanismi di orologi.

⁶ L. PIPPA, *Giuseppe Kohlschitter, "Macchinista" del Regio Osservatorio Astronomico di Brera*. «La Voce di Hora», p. 35, dicembre 1999.

– Sin dalle origini l'Osservatorio di Brera ha curato il rilevamento quotidiano della pressione, temperatura, umidità, ecc. Le tavole meteorologiche così ottenute erano regolarmente incluse nelle «Effemeridi» e, dal 1841 al 1971, nelle pubblicazioni dell'Istituto. Questi dati costituiscono una serie storica importante per la ricostruzione del clima in Lombardia e per lo studio della sua statistica.

– Dopo l'ultima guerra mondiale vi fu un'intensa attività da parte degli Stati Uniti, l'Unione Sovietica e la Gran Bretagna per i test di armi nucleari, in generale nell'atmosfera e anche per bombe a fusione ad alto potenziale (sino a più di 10 Megaton). L'Osservatorio, in collaborazione con l'Aeronautica Militare e l'Istituto di Fisica dell'Università di Bologna, costruì e mise in funzione nel 1951-52 una semplice strumentazione per la raccolta del pulviscolo atmosferico e la misura della sua radioattività; le rilevazioni giornaliere fino al 1961 sono state pubblicate nei «Rendiconti» e costituiscono una notevole e documentata rilevazione della contaminazione radioattiva⁷, con un contributo pionieristico ad un problema oggi sempre attuale.

– Gli astronomi di Brera, in particolare *A. Cesaris*, *F. Reggio* e *Barnaba Oriani*_[1802], avevano portato a termine dal 1788 al 1796 una carta topografica della Lombardia austriaca con rilevazioni dirette sul terreno, ancorate a determinazioni astronomiche di latitudine e longitudine. Ne furono pubblicati nove fogli, ristampati nel 1992 a cura dell'Istituto di Fisica Generale dell'Università di Milano. Nel 1821, sotto la direzione di *F. Carlini*, l'attività topografica riprese con una campagna topografica per una catena di capisaldi lungo il 45⁰ parallelo dalla Savoia all'Adriatico, terminata nel 1827. Questa attività di geodetica è poi proseguita sino al 1860⁸.

3. I principali protagonisti

Questa scelta, naturalmente, non è completa ed è basata anche su criteri soggettivi; ho dato particolare rilievo a *P. Frisiani* per il suo stile creativo di lavoro, che prelude alla moderna fisica teorica.

⁷ L. SANTOMAURO e A. CIGNA, *Prime misure sulla radioattività delle precipitazioni atmosferiche*, «Ann. Geofisica» 6, N. 3 (1953); L. SANTOMAURO, *Inquinamento atmosferico da prodotti radioattivi artificiali a Milano (Brera) nel 1958*, R. 1959; L. SANTOMAURO e F. ZAGAR, *Inquinamento atmosferico da prodotti di fissione*, R. 1961.

⁸ C. MONTI e L. MUSSIO, *L'attività geodetica-astronomica, topografica e cartografica degli astronomi di Brera dal 1772 al 1860*, M. 1980.

Nome	Direzione Osservatorio	Membro dal	Morte
<i>Barnaba Oriani</i>		1802	1832
<i>Giuseppe Piazzi</i>		1803	1826
<i>Angelo Giovanni Cesaris</i>	1817-1832	1803	1832
<i>Francesco Carlini</i> (p)	1832-1862	1812	1862
<i>Paolo Frisiani</i>		1840	1880
<i>Giovanni Plana</i>		1844	1864
<i>Giovanni Virginio Schiaparelli</i> (p)	1862-1900	1862	1910
<i>Gabrio Piola</i> (p)		1862	1904
<i>Giovanni Celoria</i> (p)	1900-1917	1873	1920
<i>Luigi Gabba</i>	1917-1921	1910	1948
<i>Luigi Volta</i>	1942-1948	1910	1952
<i>Emilio Bianchi</i>	1922-1941	1922	1941
<i>Francesco Zagar</i>	1948-1971	1949	1976

TAV. 1 - Elenco, in ordine di ammissione, dei principali membri dell'Istituto che hanno contribuito al progresso dell'Astronomia. La scelta è basata sui loro contributi alle pubblicazioni dell'Istituto e sull'importanza delle loro ricerche. È interessante notare che solo *Piazzi* e *Plana* sono citati (e illustrati) nella grande (e splendida) storia dell'Astronomia diretta da M. Hoskin⁹. (p) indica coloro che sono stati Presidenti dell'Istituto. *L. Volta* era discendente del grande *Alessandro Volta*_[1802].

3.1. *Giuseppe Piazzi (1746-1826)*

Piazzi fu chiamato alla cattedra di Astronomia dell'Università di Palermo nel 1786 ed ebbe un ruolo determinante nell'istituzione della Specola siciliana (v. Tavola a colori). Ebbe una grande notorietà negli ambienti astronomici per la scoperta nel 1801 di Cerere, un corpo del sistema solare che non apparteneva ad alcune delle categorie precedentemente note. Successivamente C. F. Gauss ne calcolò l'orbita, rendendo così possibile il suo successivo ritrovamento nel cielo. Cerere fu il primo di una lunga serie di *asteroidi* (oggi ne sono catalogati parecchie migliaia), piccoli corpi rocciosi che si muovono su orbite assai diverse da quelle dei pianeti, grosso modo tra Marte e Giove. Gli accurati cataloghi

⁹ *The General History of Astronomy* (M. Hoskin, general editor), in four volumes. Cambridge University Press 1995.



FIG. 1 - Giuseppe Piazzi (1746-1826) con la musa Urania che addita il carro di Cerere. Sul tavolo si possono notare i due volumi del catalogo stellare e alcuni fogli della carta topografica della valle di Palermo, iniziata da Piazzi nel 1808 e rimasta incompleta. Il quadro, dipinto nel 1808 dal pittore Farina, è custodito all'Osservatorio Astronomico di Palermo (da G. Foderà Serio e I. Chinnici, *L'Osservatorio Astronomico di Palermo*, Palermo, Flaccovio Ed., 1993).



FIG. 2 - Barnaba Oriani (1752-1832). (da G. Foderà Serio e I. Chinnici, *L'Osservatorio Astronomico di Palermo*, Palermo, Flaccovio Ed., 1993).

Cittadino Vice Segretario e Collega

50

Nello scorso Giugno ho mandato al Segretario Avatò il principio d'una Memoria sulla Trigonometria sferoidica da presentarsi all' Istituto. Finora nè da lui nè da altri ho potuto sapere se questo scritto sia arrivato in Bologna. Ho chiesto al Citt.^o Rossi Capo della Divisione IV nel Ministero dell' Interno se v'era qualche cenno nel rapporto della seduta dell' Istituto, e mi disse che vi si notava solamente che furono presentate delle Memorie e che erano stati destinati i Censori di esse. Ora voi, Cittadino Vice Segretario, mi fareste un distinto favore indicandomi la ricevuta di questo principio d' Opuscolo, ed il nome del mio Censore, tanto più che devo far correggere in esso tre numeri, come ho già scritto al Segr.^o Avatò.

Da una lettera del P. Piazzi rilevo, ch' egli pure non sa se l' Istituto abbia ricevuta il suo Catalogo e la sua Memoria sul moto proprio delle stelle fisse, e questa incertezza lo inquieta. Egli bramerebbe che ritirassi io questa Memoria per farvi alcune importanti variazioni. Vi prego dunque a scrivere due righe di ricevuta a Piazzi;

Ho l' onore di protestarvi la più distinta stima

Milano li 10 Ottobre 1804

Barnaba Oriani

FIG. 3 - Milano 10 ottobre 1804. Barnaba Oriani chiede al Vice Segretario Giuseppe Avanzini notizia di una memoria inviata dal Piazzi per la presentazione all'Istituto.

stellari del 1803 e 1814 elaborati da *Piazzi* mettevano in evidenza i moti propri delle sorgenti e, in particolare, quello della stella 61 *Cygni*, di cui nel 1838 Bessel misurò la parallasse e, quindi, la distanza. I rapporti di *Piazzi* con l'Istituto Lombardo furono, invero, scarsi, a parte una fitta corrispondenza con *B. Oriani* (v. Fig. 3).

3.2. *Barnaba Oriani (1752-1832)*

Oriani, uno dei 30 membri dell'Istituto nominati alla fondazione, ebbe un ruolo importante nello sviluppo scientifico e istituzionale dell'Osservatorio e anche dell'astronomia italiana. La sua grande figura deve essere ricordata anche per la sua dedizione personale alla scienza (nel suo testamento destinò 200.000 lire per giovani astronomi) e per la dignitosa e ferma posizione presa nel 1798 nei confronti dell'amministrazione napoleonica, che aveva manifestato l'intenzione di trasferire in Francia i migliori scienziati milanesi. Due anni dopo, su incarico del governo della Repubblica, elaborò nuovi ordinamenti per le Università di Bologna e Pavia, proponendone anche alcuni professori. Intrattenne estese relazioni scientifiche in Europa ed ebbe un ruolo importante nella formazione degli astronomi italiani; in particolare furono suoi discepoli *Carlini*, *Plana*, *Ottaviano Mossotti*^[1844], *Frisiani*, ecc. Fu astronomo di grande valore e, come spesso accadeva a quell'epoca, era interessato e competente in campi diversi, sia osservativi che teorici. La sua notorietà è principalmente legata al pianeta Urano, scoperto nel 1781 da W. Herschel; *Oriani* ne calcolò l'orbita, determinando le perturbazioni periodiche e secolari dovute a Giove e a Saturno; essa risultò in buon accordo con le osservazioni successive. Egli perfezionò anche i calcoli di Laplace sull'effetto di Urano sulle orbite di Giove e Saturno. Dopo *Piazzi*, anche *Oriani* osservò il nuovo asteroide Cerere e contribuì alla teoria per il calcolo della sua orbita, applicata poi anche agli altri pianetini successivamente individuati. Si occupò della teoria del moto della Luna, avviando a queste ricerche *Plana* e *Carlini*. Partecipò con *Reggio* e *Cesaris* alla campagna geodetica per la carta topografica della Lombardia e del mantovano. Dal 1806 al 1810 *Oriani* pubblicò negli «Atti» dell'Istituto l'opera *Elementi di trigonometria sferoidica*, con applicazioni alla geodesia teorica.

3.3. *Giovanni Plana (1781-1864)*

Il barone *Giovanni Plana* (nome completo Giovanni Antonio Amedeo Plana; in Francia noto come *Jean Plana*) è certo l'astronomo membro dell'Istituto Lombardo più noto a livello internazionale. La sua formazione fu avvantaggiata dalla frequentazione dell'École Polytechnique di Parigi, ove seguì anche le lezioni di uno dei fondatori della meccanica celeste, J.L. Lagrange; in seguito, su suggerimento di Lagrange stesso, fu nominato professore di astronomia all'Università di Torino. Dal 1813 fu direttore dell'Osservatorio Astronomico di Torino (ora a Pino Torinese), di cui può essere considerato il fondatore. Le sue relazioni con l'Istituto furono legate ad una lunga collaborazione con *F. Carlini* sulla teoria del moto della Luna.

Benché la Luna segua, con buona approssimazione, un'orbita kepleriana attorno alla Terra, il suo moto è, su tempi lunghi, fortemente perturbato dal Sole e, in misura minore, dagli altri pianeti. Le precise osservazioni, condotte per secoli, avevano già attirato l'attenzione di I. Newton sulle discrepanze del suo moto da quello kepleriano. Iniziò così una lunga serie di ricerche teoriche, ancor oggi non esaurite, sul calcolo dell'orbita lunare. Nel XIX secolo erano già a disposizione accurate osservazioni della sua posizione nel cielo e anche misure della sua distanza. Il problema è caratterizzato da parecchi parametri adimensionali piccoli, quali il rapporto tra la massa della Luna e quella della Terra ($1/80$), l'eccentricità dell'orbita (0.055) e l'inclinazione della Luna (5.1° rispetto all'equatore). Era quindi naturale sfruttare questa piccolezza per istituire successive approssimazioni alle correzioni dell'orbita kepleriana. Alcuni astronomi usarono per questo calcoli numerici; ma Laplace diede un grande impulso alla teoria analitica della Luna, in cui l'orbita è sviluppata in serie di potenze. Queste ricerche richiedevano non solo grande familiarità con i metodi della meccanica analitica, ma anche una notevole abilità tecnica per i complessi calcoli algebrici necessari. *Plana* seguì questa via potente e universale e si affiancò a M.C.T. Damoiseau con l'uso di sviluppi in serie trigonometriche, nei quali erano individuati gli argomenti angolari (ad esempio, la longitudine della Luna e i suoi multipli); gli sviluppi in serie erano spinti anche fino a termini del quinto grado. Nel 1820 Laplace propose all'*Académie des Sciences* di Parigi di destinare uno dei suoi periodici premi astronomici per lo sviluppo di metodi analitici per il moto della Luna; esso fu assegnato a *Plana* e *Carlini*. La loro memoria sottoposta alla giuria non fu mai

pubblicata; ma più tardi *Plana* pubblicò da solo un esteso trattato in tre volumi¹⁰ con i risultati e i dettagli tecnici delle sue ricerche. Il metodo di *Plana* di analisi del moto lunare fu poi superato da quello di C.E. Delaunay (1816-1872), usato ancor oggi¹¹.

3.4. *Francesco Carlini (1783-1862)*

Carlini dette un notevolissimo sviluppo all'Osservatorio Astronomico, in cui entrò nel 1797 e di cui divenne direttore nel 1832; in totale vi trascorse 63 anni, da quando vi fu ammesso come studente a 16 anni alla sua morte nel 1862. Ebbe anche notevoli capacità organizzative e pratiche; suo grande merito fu il contributo alla grande campagna geodetica intrapresa dall'Osservatorio nel 1821, che, come già detto, fu dedicata alla determinazione astronomica della latitudine e longitudine e, quindi, a tutta la rete topografica europea. Le effemeridi astronomiche del *Carlini* furono fino alla metà dell'800 le migliori in Europa. Egli si impegnò molto, ma senza raggiungere lo scopo finale, per la messa in funzione di un telescopio riflettore costruito da *Giovanni Battista Amici*_[1844]. *Amici*, uno studioso di ottica e apprezzato esperto nella costruzione di telescopi, lavorava a Firenze presso il Regio Museo di Fisica e Storia Naturale. *Carlini* si occupò anche di astronomia pratica, in particolare con le tavole della rifrazione atmosferica. Collaborò con *G. Plana* alla teoria del moto della Luna e, assieme a lui, nel 1820 fu premiato dall'*Académie des Sciences* di Parigi; in seguito la loro collaborazione si interruppe, e *Carlini* pubblicò da solo nel 1838 nelle «*Mémoires*» dell'Istituto l'*Algoritmo pel calcolo delle perturbazioni lunari*.

3.5. *Paolo Frisiani (1797-1880)*

Frisiani, entrato a Brera nel 1818, benché non abbia avuto importanti responsabilità organizzative, partecipò attivamente alla vita dell'Istituto. Sono particolarmente interessanti i suoi geniali lavori sul magnetismo terrestre. Nell'800 all'Osservatorio si misurava regolarmente il

¹⁰ G. PLANA, *Théorie du mouvement de la Lune*, 3 vol., Turin 1832. Una parte del lavoro premiato è in: F. CARLINI et G. PLANA, *Observations sur l'écrit de M. de Laplace «Sur le perfectionnement de la théorie et des tables Lunaires»*, Gênevè 1820.

¹¹ Per la teoria classica della Luna e una breve storia tecnica (nel Cap. XII, con un cenno sul lavoro di *Plana*), si veda E. W. BROWN, *An introductory treatise on the Lunar theory*, Cambridge University Press 1896.

campo magnetico e la sua direzione, in una vasta rete di osservatori magnetici, contribuendo così alla rappresentazione globale del campo, di grande importanza anche pratica (ad esempio, per la navigazione). Fino al 1839 *Karl Kreil*_[1844] (anch'egli astronomo a Brera) ebbe una parte importante in queste misure.

Il campo magnetico terrestre ha una componente principale variabile assai lentamente nel tempo; la sua distribuzione sul globo corrisponde approssimativamente quella generata da un anello di corrente avente per centro circa il centro della Terra e una giacitura di poco discosta dall'equatore; in termini moderni, un *dipolo magnetico* – visualizzabile come una piccola calamita perpendicolare al piano della corrente. È così possibile costruire un modello matematico preciso e dipendente solo da tre parametri (il prodotto dell'intensità della corrente per la circonferenza della spira e l'orientazione della normale al suo piano), che fornisce il valore teorico del campo per ogni punto del globo. Questo modello fu generalizzato e sublimato in un'elegante rappresentazione matematica da C. F. Gauss, che nel 1838 (nel suo trattato *Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus*, che *Frisiani* contribuì a diffondere in Italia con una traduzione commentata) applicò al campo magnetico terrestre la decomposizione in armoniche sferiche già ben nota per il potenziale gravitazionale. Il termine principale di questa decomposizione è quello di grado 1, corrispondente al dipolo magnetico. Il suo asse interseca la superficie in due punti prossimi ai poli geografici, detti poli magnetici. Si dice *declinazione magnetica* l'angolo (piccolo) in un punto della Terra tra il Nord magnetico e il Nord geografico; sappiamo che il polo Nord magnetico si sposta di circa $0,07^0$ all'anno (corrispondenti a un periodo di rotazione di 5000 anni) in direzione Ovest, mantenendo approssimativamente costante la sua distanza dal polo Nord geografico. Il modello di Gauss diventò ben presto lo strumento interpretativo primario per le osservazioni geomagnetiche. In aggiunta al campo di dipolo, già dal XVIII secolo furono osservate fluttuazioni del campo e della sua direzione, spesso in congiunzione con l'attività solare e le aurore boreali. Oggi sappiamo che la prevalenza del campo di dipolo e la sua orientazione approssimativamente parallela all'asse di rotazione corrisponde al meccanismo della *dinamo*, che, con un complesso processo di magneto-fluidodinamica, trasforma l'energia della rotazione differenziale nell'interno della Terra in energia magnetica. Vale, per il passato geologico, l'ipotesi del *dipolo assiale*: il campo prevalente è stato per la maggior parte

del tempo quello corrispondente a un dipolo posto vicino al centro della Terra e orientato lungo l'asse di rotazione, ma con un senso alternativamente, e irregolarmente, parallelo e antiparallelo.

L'interesse di *Frisiani* si concentrò su possibili modelli del campo di dipolo e della sua dinamica, in grado di spiegare le discrepanze con le osservazioni e la sua lenta variabilità temporale. Le sue analisi, di grande creatività, sono riassunte in una lunga memoria del 1862¹². A quell'epoca le conoscenze circa la struttura elettrica (in particolare, la conducibilità) dell'interno della Terra erano nulle e i processi dinamo erano completamente ignoti. Nel caratteristico procedere ardito del fisico teorico, *Frisiani* scavalca d'un balzo la complessità dei dati, pone ipotesi sostanzialmente basate solo su criteri di semplicità e procede a dedurre le loro conseguenze osservative. A p. 180 propone che le correnti telluriche "risultino da una condizione generale del sistema solare, che cioè non solo la Terra, ma tutti gli altri corpi siano percorse da analoghe correnti" (e, quindi, posseggano un analogo campo di dipolo). Questo stile di ragionamento è simile a quello, assai più recente, che P. M. S. Blackett usò nel suo articolo *The magnetic field of massive rotating bodies* («Nature» A245, 658-666, 1947), ove suppose che, per un meccanismo fondamentale e ignoto, ogni corpo rotante macroscopico abbia un momento magnetico proporzionale al momento della quantità di moto. Questa ipotesi quantitativa e precisa non resse al facile confronto con l'esperienza. *Frisiani* applicò la sua congettura qualitativa agli altri corpi del sistema solare, in particolare al Sole. (È interessante notare che la missione spaziale Ulysses ha recentemente confermato che il Sole ha un debole campo magnetico di dipolo, con una direzione approssimativamente allineato con l'asse di rotazione e un senso che si inverte con il ciclo solare). Il dipolo solare, *Frisiani* osserva, interagirebbe con quello della Terra, causando un moto di precessione di questo attorno al polo dell'eclittica. Egli, naturalmente, non sa se la materia che costituisce l'anello di corrente sia ancorata alla Terra stessa e, nell'alternativa più semplice, suppone che esso si possa muovere liberamente; in questo caso il magnetismo solare ha sul dipolo terrestre un effetto diretto e facilmente calcolabile; il che *Frisiani* fa, con notevole abilità analitica e fisica, per dedurne una variabilità diurna e annuale. Più avanti, egli nota che se la corrente fosse solidale con la Terra, il dipolo solare influenzerebbe la ben

¹² P. FRISIANI, *Ricerche sul magnetismo terrestre*, M. 1862.

nota precessione lunisolare dell'asse terrestre attorno al polo dell'eclittica. In una seconda, interessante speculazione, *Frisiani* tenta di spiegare le discrepanze tra il modello di dipolo e le misure terrestri, già allora osservate per tutte e tre le componenti del campo magnetico. Seguendo idee del norvegese C. Hanseen e di altri, egli prova a costruire un modello quantitativo con due anelli di corrente e a confrontarlo con le osservazioni. Come ci si potrebbe attendere, egli non raggiunge conclusioni precise in un fenomeno così complesso e scarsamente conosciuto, ma certo indica una strada notevole per penetrare con gli scarsi mezzi di indagine allora disponibili la natura vera del geomagnetismo. *Frisiani* sembra aver trascurato la possibilità che il dipolo sia scostato dal centro della Terra; in tal caso si hanno altri tre parametri liberi e, quindi, una maggiore flessibilità nel confronto con le osservazioni. Sappiamo oggi che tale spostamento ammonta a circa 450 km.

3.6. *Giovanni Virginio Schiaparelli (1835-1910)*

Schiaparelli è certo l'astronomo italiano del XIX secolo più noto in Italia. Egli entrò all'Osservatorio nel 1860 e succedette nella sua direzione a *F. Carlini* nel 1862, a soli 27 anni. A differenza del fisico matematico *G. Plana*, egli svolse prevalentemente un'amplissima attività di osservazione astronomica, di sviluppo strumentale e di interpretazione dei dati. È noto per aver contribuito in maniera determinante a chiarire la natura delle stelle cadenti e delle meteore, da lui connesse con le traiettorie di specifiche comete; come sappiamo, esse orbitano nella loro stessa scia e appaiono nell'atmosfera terrestre quando la Terra la attraversa. In particolare, egli individuò l'origine dello sciame meteorico delle Leonidi (così chiamato perché sembrano provenire dalla costellazione del Leone), che appare ogni anno attorno al 18 novembre; essi sono nella scia della cometa 55P/Tempel-Tuttle, che ha un periodo orbitale di 33 anni e fu osservata per la prima volta nel 1865; per lo sciame dei Perseidi (attorno al 12 agosto) egli correttamente ne indicò l'origine nella cometa 109P/Swift-Tuttle. Assai interessante è la sua memoria dal titolo *Sopra le distanze delle stelle fisse dei vari ordini di splendori*, presentata all'Istituto Lombardo nel 1863 e pubblicata nel 1864 nelle «Effemeridi» di Milano. Nella linea di F.W. Herschel (1738-1822) e di F. von Struve (1793-1864), in essa egli affronta, anche con premesse matematiche, il grande problema della distribuzione nello spazio delle stelle e, quindi, della struttura dell'Universo osservato. *Schiaparelli* ebbe

molti riconoscimenti internazionali per le sue ricerche astronomiche, in particolare la medaglia d'oro della Società Italiana delle Scienze del XL (1868), il premio Lalande dell'Accademia delle Scienze di Francia (1868), la medaglia della Royal Astronomical Society di Londra (1872) e il premio Cothenius dell'Accademia germanica Leopoldina-Carolina (1876). Uomo di grande cultura, anche umanistica e delle lingue antiche, diede contributi importanti alla storia dell'astronomia classica, in particolare circa le origini del sistema eliocentrico; nel 1903 apparve la sua opera *L'Astronomia nell'Antico Testamento*. Le sue opere storiche sono state raccolte in tre volumi. Ma forse il suo contributo più importante all'astronomia italiana fu lo sviluppo di strumenti di osservazione e per l'attività dell'Osservatorio, che vide un periodo di grande fioritura: come detto sopra, ambedue i rifrattori Merz entrarono in funzione quando *Schiaparelli* ne era direttore.

Le osservazioni visuali del pianeta Marte, che *Schiaparelli* condusse sin dal 1877 col primo rifrattore, furono, e sono ancora, il più grande motivo della sua notorietà per il pubblico; tuttavia, esse non hanno rilevanza astronomica, ma costituiscono un interessante episodio connesso con la neurofisiologia della visione e la sociologia. Sostanzialmente, il pianeta appariva all'osservazione visuale con contrasti assai maggiori del reale e determinati anche dalle precedenti osservazioni e elaborazioni. I limiti netti e spesso lineari nelle varie zone e, soprattutto, lo sdoppiamento di tali linee (la "geminazione dei canali") erano certo prodotto di illusioni ottiche, favorite anche dalla risonanza sociale che tali "scoperte" destavano e dalla notizia di simili osservazioni da parte di altri astronomi¹³. L'osservazione astronomica con telescopi è assai affetta dalle fluttuazioni locali e irregolari dell'atmosfera. L'immagine, come dice *Schiaparelli* stesso, all'inizio è fluttuante e indistinta; ma, proseguendo ostinatamente, quando si verifica un momento di quiete, il sistema visivo individua, elabora e fissa i particolari, che poi costituiscono la base per le successive osservazioni e era oggettivato in dettagliatissime mappe¹⁴. Queste "scoperte" possono essere inquadrare nel clima di entusiasmo positivista dell'epoca, in cui le speculazioni circa la vita extraterrestre erano all'ordine del giorno. In un articolo divulgativo¹⁵ l'astronomo si

¹³ G. V. SCHIAPARELLI, *Corrispondenza su Marte*, Pisa, Domus Galileiana 1943.

¹⁴ W. SHEEHAN, *Planets and Perception. Telescopic Views and Interpretation*, University of Arizona Press 1988.

¹⁵ G. SCHIAPARELLI, *La vita sul pianeta Marte*, «Natura ed Arte», Anno IV, n. 11 (1985).

diffonde a lungo sui possibili scopi e metodi che una presunta civiltà marziana forse applicava nella costruzione e nell'uso dei "canali" e suggerisce che tali grandiosi progetti di scala planetaria su Marte potrebbero essere favoriti da forme di socialismo collettivo.

La fama di cui *Schiaparelli* godette a lungo in Italia fu immensa e agiografica, giustificata anche dalla sua straordinaria e disinteressata dedizione all'astronomia; fu anche senatore del Regno. Le sue opere astronomiche sono state pubblicate dal 1929 al 1943 in 11 volumi (due dei quali dedicati alle osservazioni di Marte); dell'epistolario riguardante le osservazioni di Marte sono apparsi due volumi, con circa 400 lettere. Le commemorazioni e le biografie ufficiali risentono di questo straordinario fascino, anche popolare, e in genere non affrontano criticamente il problema dei "canali" e dell'incertezza di osservazioni astronomiche soggette a illusioni ottiche e difficilmente passibili di riscontri e controlli oggettivi.

3.7. *Giovanni Celoria (1842-1920)*

Stretto collaboratore e successore di *Schiaparelli* alla direzione dell'Osservatorio, è noto per ricerche sulla struttura della galassia, sul calcolo delle orbite di corpi minori nel sistema solare e per osservazioni di stelle doppie. Nel 1880 ebbe un premio dell'Accademia dei Lincei per i suoi studi di storia dell'astronomia, in particolare le antiche eclissi solari e le osservazioni di comete fatte nel XV secolo. Fu anche presidente della Commissione Geodetica Italiana e fece sorgere a Carloforte, in Sardegna, una stazione per lo studio delle variazioni di latitudine. Svolse anche importante attività politica (fu senatore del Regno).

3.8. *Francesco Zagar*_[1949] (1900-1976)

Proveniente dalla scuola astronomica padovana, fu direttore dell'Osservatorio di Bologna dal 1935 al 1945 e, dal 1948 fino al 1971, dell'Osservatorio di Brera-Merate. In questa qualità ebbe un ruolo importante nel suo rifiorire dopo la guerra e il lungo periodo di decadenza successivo. La sua attività scientifica fu caratterizzata da una straordinaria poliedricità, in cui l'analisi teorica – a cui spesso era necessario limitarsi per le carenze strumentali – si accompagnava a quella osservativa. Tra i suoi primi lavori sono notevoli quelli sulle occultazioni stellari da parte della Luna, che permettevano di ancorare accuratamente la sua posizione rispetto alle stelle fisse e, quindi, avevano un ruolo importante nello

studio della sua dinamica. I sistemi binari di stelle erano da tempo un'importante oggetto di indagine degli astronomi stellari; *Zagar* dette contributi importanti alla ricostruzione dell'orbita di un terzo membro invisibile. Il moto delle stelle vicine, investigato soprattutto attraverso misure spettroscopiche della velocità radiale, mostra un aspetto ordinato, connesso con la rotazione attorno al centro galattico; anche a questo argomento, tipicamente a cavallo tra osservazioni e teoria, *Zagar* contribuì in maniera rilevante. Egli entrò in pieno nella comunità astronomica internazionale, con parecchi incarichi e riconoscimenti; nel 1934 ebbe dall'Accademia dei Lincei il Premio Reale per l'Astronomia per le sue ricerche sui sistemi stellari tripli. È interessante notare che solo una piccola parte (circa 15) delle sue numerosissime pubblicazioni apparvero nei «Rendiconti» dell'Istituto¹⁶: un primo segnale dell'orientamento, oggi prevalente, degli specialisti a pubblicare su riviste specializzate internazionali.

4. *La geodesia moderna*

A partire dagli anni '30 si sviluppò al Politecnico di Milano, inizialmente soprattutto per l'opera di *Gino Cassinis*_[1938], un'importante scuola di geodesia e topografia, oggi molto nota e con notevoli attività, anche nel campo della geodesia spaziale, divenuta ora di importanza primaria per queste ricerche. Come, in parte, per il contributo degli astronomi di Brera, un'importante radice culturale di questo sviluppo è costituito dagli studi di fisica matematica sui corpi elastici, sulla teoria del potenziale, sulle anomalie di gravità e sulla forma della terra; in questa luce è opportuno ricordare *Carlo Somigliana*_[1899] (discendente da *A. Volta*), un importante fisico matematico allievo di *Eugenio Beltrami*_[1868] a Pavia e, poi, di E. Betti e U. Dini alla Scuola Normale Superiore di Pisa. I suoi contributi sono ancor oggi classici e hanno una connessione profonda con la geodesia teorica. Sono anche importanti le sue ricerche di geofisica, in particolare di glaciologia. Vicina alla fisica matematica è anche la ricerca di Giovanni Boaga (1902-1961); benché egli non sia stato membro dell'Istituto Lom-

¹⁶ Tra di esse è da segnalare la nota: F. ZAGAR, *Considerazioni su una irregolarità nella rotazione terrestre*, R. 1974. In essa *Zagar* segnala la possibilità che i movimenti delle masse d'acqua nell'atmosfera su scala globale possano dar luogo alle piccole variazioni nella durata del giorno osservate; un argomento oggi di grande attualità.

bardo, è interessante segnalare, per il loro interesse geodetico e la loro nitida e abile elaborazione, quattro memorie apparse nei «Rendiconti»¹⁷ e la definizione dell'ellissoide di rotazione (detto appunto di Gauss-Boaga), largamente adottata per la rappresentazione topografica della Terra.

4.1. *Gino Cassinis*

Dopo avere insegnato a Roma e a Pisa, dal 1932 *G. Cassinis* coprì la cattedra di Topografia e di Geodesia al Politecnico, ove costituì una scuola importante per queste discipline, all'inizio nota, in particolare, per i contributi alla tecnica dei rilievi topografici e fotogrammetrici. Forse il suo contributo più noto è il concetto di "gravità normale", con cui potevano essere distinte le anomalie di gravità globali, legate alla forma del geoide medio, da quelle locali; in questa linea nel 1931, per la prima volta scala mondiale, egli portò a termine misure di gravità in mare e scoprì l'anomalia positiva di gravità nel mar Tirreno, che ne ha rivelato il carattere di bacino oceanico. Le sue *Tavole fondamentali per la riduzione dei valori osservati della gravità*, pubblicate nel 1937 in collaborazione con S. Bellarin e P. Dore, sono utili ancor oggi, pur con modifiche e miglioramenti. Suoi sono anche testi di topografia e di calcolo numerico (*Calcoli numerici, grafici e meccanici*, 1925; *Lezioni di topografia e geodesia*, 1932).

Cassinis ebbe un importante ruolo pubblico. Ricoprì numerose cariche in istituzioni scientifiche, tra cui si possono citare la Presidenza della Società Internazionale di Fotogrammetria, dell'Associazione Internazionale di Geodesia, della Commissione Nazionale di Metrologia e della Commissione Geodetica Italiana. Fu preside della Facoltà di Ingegneria del Politecnico, e, dal 1944 al 1960, Rettore. È stato anche presidente dell'Accademia nazionale dei Lincei dal 1959 e, dallo stesso anno, sindaco di Milano. *Cassinis* fu assiduo frequentatore dell'Istituto Lombardo e sostenitore delle sue attività.

4.2. *Luigi Solaini*_[1962] (1909-1989)

Allievo di *G. Cassinis*, fu (dal 1950) professore al Politecnico di Milano, ove diresse, succedendo al maestro, l'Istituto di Geodesia, Topografia e Fotogrammetria; ebbe un ruolo importante nello sviluppo di queste discipline, anche in relazione con esigenze e attività concrete. A

¹⁷ G. BOAGA, R. 1938-39; 1940-41; 1941-42.

quel tempo era già in atto l'importante transizione culturale e strumentale dalla topografia, basata su misure sul terreno di distanze e di angoli, alla fotogrammetria, in cui da più immagini fotografiche della stessa area prese (dal suolo o da un aereo) da direzioni diverse viene ricostruita una mappa tridimensionale. A questa disciplina di grande interesse pratico era dedicato molto dell'interesse di *L. Solaini*, che contribuì validamente al suo sviluppo strumentale e alla sua didattica. Fu presidente (succedendo a *Cassinis*) della Società Internazionale di Fotogrammetria e dell'Organizzazione Europea di Studi di Fotogrammetria Sperimentale.

Ringraziamenti

A. Mandrino, archivista e bibliotecaria dell'Osservatorio, mi è stata di prezioso aiuto. Sono anche assai grato anche al prof. P. Broglia per gli accurati e dettagliati commenti, che ho tenuto ampiamente in conto, e per le informazioni sugli strumenti e i tecnici dell'Osservatorio. Per la Sezione 4. ringrazio i professori C. Monti e A. Selvini del Politecnico di Milano.