

Mappa gamma della Galassia ottenuta con il satellite COS-B (Cortesia: Archivio Occhiaini-Dilworth)

GIUSEPPE «BEPPO» OCCHIALINI

DAL POSITRONE ALLA MAPPA GAMMA DELLA GALASSIA

di *Leonardo Gariboldi**

La fisica dei raggi cosmici, uno dei più interessanti e vasti campi d'indagine delle scienze fisiche del XX secolo, si è sviluppata grazie anche ai fondamentali contributi di scienziati italiani. Il 2007 offre l'occasione di ricordare uno dei più grandi studiosi italiani di raggi cosmici, Giuseppe Occhialini, autore di scoperte di primaria importanza sia nell'infinitamente piccolo, la fisica delle particelle elementari, sia nell'infinitamente grande, la fisica dello spazio. L'autore presenta con puntigliosa precisione gli eventi, scientifici e non, della sua vita facendone emergere tutta la ricchezza e la complessità. Non solo uno scienziato di grande carisma, ma un maestro severo e appassionato: così lo ricordano i suoi studenti dell'ateneo milanese. Lezioni chiare e affascinanti alla fine del corso di studi diradavano la nebbia attorno alla domanda che urgeva in ciascuno dei prossimi laureati: chi è un fisico? Quanto imparato, spesso in modo frammentario, si componeva in una visione sintetica e la domanda trovava per ciascuno la risposta nella sua viva testimonianza.

Nato nella cittadina marchigiana di Fossombrone nel 1907, da una famiglia di tradizioni liberali e massoniche, Giuseppe (detto «Beppo») Occhialini era figlio d'arte. Il padre, Raffaele Augusto Occhialini (1878-1951), si era laureato in fisica a Pisa nel 1903 e aveva iniziato la sua carriera scientifica come collaboratore di Angelo Battelli (1862-1916) nella stessa città. Augusto Occhialini continuò la sua carriera all'Università di Firenze (dal 1918 al 1921) come assistente di Antonio Garbasso (1871-1933) e, in seguito, alle Università di Sassari, di Siena e infine di Genova dal 1929 alla morte nel 1951.¹

Cresciuto a Pisa e a Firenze, Beppo Occhialini rimase con la madre, Etra Grossi, in quest'ultima città anche dopo il trasferimento del padre a Sassari. Iscrittosi ancora quindicenne al Partito Fascista, come atto di ribellione adolescenziale alle idee liberali del padre, maturò un'insofferenza al fascismo già prima dell'omicidio di Giacomo Matteotti nel 1924. Conclusi gli studi al liceo scientifico, Beppo si immatricolò come studente di fisica all'ateneo fiorentino, dove si laureò nel 1929.

*Ricercatore di Storia della Fisica presso l'Istituto di Fisica Generale Applicata e il Museo Astronomico-Orto Botanico di Brera dell'Università degli Studi di Milano.

¹ Tra le opere principali di Augusto Occhialini, si segnalano in particolare i trattati *La radioattività* (del 1910) ed *Elettrotecnica* (del 1921-1922).

La Scuola di Arcetri

Alcuni membri del gruppo di Arcetri; in senso orario da sinistra: Giuseppe Occhialini (seduto in alto), Pier Giovanni Caponi, Daria Bocciarelli, Gilberto Bernardini e Bruno Rossi

Cortesia: Archivio Occhialini-Dilworth



Negli anni Venti, l'Istituto di Fisica di Arcetri era sotto la direzione di Antonio Garbasso (1871-1933) e, nonostante versasse in pessime condizioni finanziarie, riusciva a ospitare un'interessante produzione scientifica, soprattutto in spettroscopia, grazie a fisici come Rita Brunetti (1890-1942), Franco Rasetti (1901-2001), Vasco Ronchi (1897-1988) ed Enrico Fermi (1901-1954). Alla fine degli anni Venti, con l'arrivo a Firenze di Bruno Rossi (1905-1993) da Bologna e di Gilberto Bernardini (1906-1995) da Pisa, nacque una grande scuola di fisica italiana, la «Scuola di Arcetri», coeva della più nota scuola romana dei «Ragazzi di via Panisperna» con la quale fu sempre in ottimi rapporti. La «Scuola di Arcetri» comprendeva, oltre a Beppo Occhialini, anche Daria Bocciarelli (1910-...), Giulio «Yoel» Racah (1909-1965) e Lorenzo Emo Capodilista (1909-1973). Proveniente dal gruppo romano, Enrico Persico (1900-1969) fu il docente di Fisica Teorica che garantì ai fisici fiorentini una formazione approfondita in Meccanica Quantistica. Un'ulteriore stretta collaborazione si ebbe con l'Osservatorio di Arcetri, il cui direttore, Giorgio Abetti (1882-1982), aveva istituito un «Seminario Fisico e Astrofisico» al quale prendevano parte fisici italiani e stranieri che vi esponevano i dettagli delle loro ricerche.

La nascita della «Scuola di Arcetri» è legata in particolare alla lettura collettiva di un articolo di due fisici tedeschi, Walther Bothe (1891-1957) e Werner Kolhörster (1887-1946). In questo articolo veniva descritto un esperimento che aveva segnato un punto di

svolta nelle ricerche sulla radiazione cosmica.²

I raggi cosmici erano stati scoperti nel 1912 dal fisico austriaco Victor Hess (1883-1964) come una radiazione proveniente dall'alto grazie a una serie di voli in pallone durante i quali aveva misurato la variazione della velocità di scarica di un elettroscopio a diverse quote. Rimaneva misteriosa la natura di tali raggi. Trattandosi di una radiazione molto penetrante, si ritenne in un primo tempo che si avesse a che fare con raggi gamma di alta energia.

Dallo studio della curva di assorbimento della radiazione cosmica si pensò che in realtà tale curva fosse data dalla sovrapposizione di più curve corrispondenti a raggi gamma di cammini di assorbimento differenti: 300 g/cm², 1250 g/cm² e 2500 g/cm². Partendo da questi dati, il fisico americano Robert Millikan (1868-1953) determinò le energie corrispondenti ai cammini di assorbimento (26 MeV, 110 MeV e 220 MeV) e osservò che corrispondevano all'energia delle reazioni di fusione nucleare dell'idrogeno produttori i nuclei di elio, del gruppo dell'ossigeno e del gruppo del silicio, vale a dire gli elementi più abbondanti nell'universo

² Walther Bothe, Werner Kolhörster, *Das Wesen der Höhenstrahlung*, in: *Zeitschrift für Physik* n. 56, 1929, pp. 751-777. Walther Bothe, Werner Kolhörster, *Die Natur der Höhenstrahlung*, in: *Die Naturwissenschaften* n. 17, 1929, pp. 271-273.

osservato. Millikan formulò così una teoria cosmologica, la *Birth Cry Theory*, che considerava i raggi cosmici come i raggi gamma liberati durante le reazioni di fusione nucleare che davano vita ai nuclei dei vari elementi chimici. Erano, pertanto il «grido natale» (*birth cry*) dei nuclei.

La teoria di Millikan, per quanto affascinante, non resse alla prova delle successive indagini. In particolare, le misure di assorbimento attraverso spessori diversi di materia condotte da Bothe e Kolhörster misero in evidenza la natura corpuscolare della radiazione cosmica. Non i raggi gamma, ma particelle cariche (elettroni o protoni) di altissima energia erano probabilmente i costituenti dei raggi cosmici. Le misure condotte dai fisici tedeschi richiedevano una strumentazione poco costosa, essenzialmente alcuni contatori di Geiger-Müller e lingotti di piombo per la schermatura della strumentazione dalla radiazione. Oggi sappiamo che i raggi cosmici provenienti dallo spazio, detti «primari», sono in prevalenza nuclei atomici e che, interagendo nell'atmosfera terrestre, possono produrre altri tipi di particelle, i raggi cosmici «secondari»: elettroni, fotoni, pioni, muoni, neutrini.

La novità di un argomento entusiasmante di ricerca e l'economicità della strumentazione necessaria furono le caratteristiche che favorirono il riorientamento delle ricerche fiorentine dalla spettroscopia allo studio della radiazione cosmica. Una fondamentale innovazione nei circuiti elettronici usati nello studio dei raggi cosmici fu il «circuito di Rossi» che permise di osservare la scarica simultanea di un sistema di contatori di Geiger-Müller opportunamente collegati tra loro.³

Si trattava del circuito che è alla base degli odierni circuiti in coincidenza. Beppo Occhialini apprese da Bruno Rossi l'uso magistrale del contatore di Geiger-Müller. La sua prima pubblicazione scientifica fu un breve articolo descrivente una particolare conformazione del contatore per lo studio della radiazione beta emessa da sorgenti debolmente radioattive,⁴ un articolo che prelude ai più importanti contributi successivi di Occhialini allo sviluppo della strumentazione scientifica per lo studio delle particelle elementari.

La collaborazione con Blackett a Cambridge

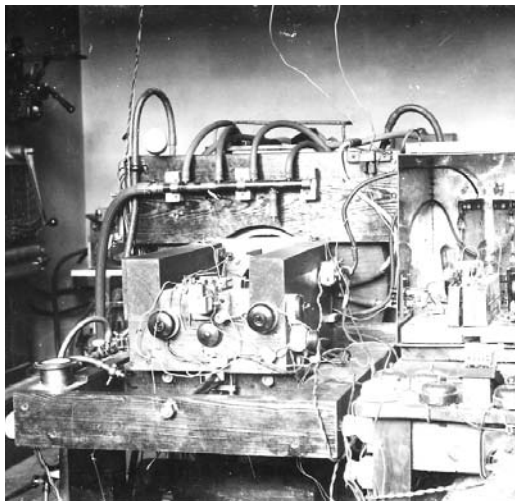
Nell'estate del 1930, durante una visita a Berlino al laboratorio di Bothe, Bruno Rossi incontrò il fisico inglese Patrick Maynard Stuart Blackett (1897-1974). Con lui Rossi organizzò l'invio per tre mesi al *Cavendish Laboratory di Cambridge* di un fisico fiorentino per studiare il funzionamento della camera a nebbia che, da alcuni anni, era oggetto di ricerche da parte di Blackett.

La camera a nebbia, inventata da Charles Wilson (1869-1959), consisteva in un contenitore trasparente con all'interno una miscela particolare di gas e vapori collegata a un pistone di espansione/compressione. Portando con un'espansione rapida la miscela in un opportuno stato termodinamico si potevano osservare la condensazione del vapore in goccioline intorno ai

³ Bruno Rossi, *Method of Registering Multiple Simultaneous Impulses of Several Geiger's Counters*, in: *Nature* n. 125, 1930, p. 636.

⁴ Giuseppe Occhialini, *Uno spettrografo magnetico per raggi β emessi da sostanze debolmente radioattive*, in: *Rendiconti della Reale Accademia Nazionale dei Lincei* n. 14, 1931, pp. 103-107.

nuclei di condensazione. Il passaggio di una particella ionizzante originava all'interno della camera a nebbia una traccia di molecole ionizzate attorno alle quali si condensava il vapore permettendo di osservare visivamente la traiettoria della particella incidente. Collegando una macchina fotografica al circuito di espansione si poteva ottenere una fotografia di tali traiettorie. Il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) stanziò una borsa di studio per il soggiorno a Cambridge di un fisico fiorentino nel 1931. Essendo Gilberto Bernardini impegnato con il servizio militare, fu deciso di inviargli Beppo Occhialini.



La camera a nebbia controllata del Cavendish Laboratory
Cortesia: Archivio Occhialini-Diworth

Il passaggio dal piccolo laboratorio di Arcetri al *Cavendish Laboratory* diretto da Lord Rutherford (1871-1937), uno dei padri della fisica nucleare, incise profondamente sulla formazione di Occhialini. La sua ottima conoscenza del funzionamento del contatore di Geiger-Müller fece sì che dalla collaborazione con Blackett nascesse uno dei più potenti strumenti d'indagine del mondo microscopico: la camera a nebbia controllata o «triggerata».

Una camera a nebbia permetteva di evidenziare la traiettoria delle particelle incidenti solo se queste entravano nella camera in un intervallo di tempo molto breve (tipicamente 10^{-2} s) dall'inizio dell'espansione. Durante un tale intervallo di tempo, generalmente nessuna particella attraversava la camera che veniva fatta espandere a tempi del tutto casuali,

per cui solo una piccola percentuale di fotografie contenevano almeno una traccia di particelle ionizzanti.

Blackett e Occhialini ebbero l'idea di collegare la camera a nebbia a un circuito di Rossi in modo tale che l'espansione fosse azionata soltanto al passaggio di una particella ionizzante attraverso l'intero apparato sperimentale. Con tale invenzione, la percentuale di fotografie contenenti tracce utili allo studio delle particelle incidenti superava abbondantemente il 70%.⁵

La camera a nebbia controllata fu impiegata per lo studio dei raggi cosmici. Blackett e Occhialini furono particolarmente colpiti dalle fotografie che riportavano le tracce lasciate da gruppi di particelle cariche provenienti da uno stesso punto detto «vertice». ⁶ Questi gruppi, chiamati sciami (shower), sono formati generalmente da elettroni e fotoni creati dalla collisione di un raggio cosmico con un nucleo della materia soprastante la camera a nebbia (il nucleo può essere nella parete della camera stessa, o nel soffitto del laboratorio, in atmosfera). La struttura delle tracce visibili nella camera a nebbia permetteva di distinguere i diversi tipi di particelle e di determinare alcune delle loro caratteristiche. Per esempio, i raggi alfa erano identificabili dalle loro tracce rettilinee con una grande concentrazione di goccioline, mentre i raggi beta da tracce distorte da eventi di diffusione e con una bassa concentrazione di goccioline. Per poter determinare il segno della carica delle par-

⁵ Patrick Blackett, Giuseppe Occhialini, *Photography of Penetrating Corpuscular Radiation*, in: *Nature* n. 130, 1932, p. 363

⁶ Patrick Blackett, Giuseppe Occhialini, *Some Photographs of the Tracks of Penetrating Radiation*, in: *Proceedings of the Royal Society of London* n. A 139, 1933, pp. 699-727.

ticelle si poneva la camera a nebbia all'interno di un campo magnetico in modo da curvare le traiettorie. Analizzando con cura le fotografie degli sciami di raggi cosmici era immediatamente evidente la presenza di tracce di natura elettronica lasciate da particelle di carica sia positiva sia negativa. Gli elettroni positivi, o «positroni», osservati da Blackett e Occhialini confermarono la notizia della loro scoperta pubblicata dal fisico americano Carl David Anderson (1905-1991) nel 1932.⁷

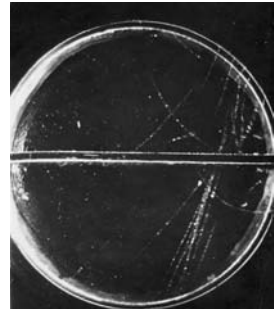
I positroni erano stati previsti teoricamente da un altro grande fisico di Cambridge, Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984) e furono proprio Blackett e Occhialini a identificare l'elettrone positivo di Anderson con quello di Dirac. Erano frequenti i casi di sciami costituiti da sole due particelle. Si parlava in questo caso di «coppie» di particella e antiparticella. Le coppie erano originate dalla trasformazione, in prossimità di un nucleo atomico, di un raggio gamma sufficientemente energetico: $\gamma \rightarrow e^+ + e^-$. Indicando con m la massa dell'elettrone (positivo o negativo), l'energia del raggio gamma doveva valere $E_\gamma > 2mc^2$. Blackett e Occhialini avevano trovato così la prima conferma osservativa della trasformazione di energia in massa prevista da Albert Einstein (1879-1955) nella teoria della relatività ristretta.

L'intermezzo italo-brasiliano

Tornato in Italia nel 1934 per soddisfare gli obblighi militari presso la Scuola Militare di Lucca, Occhialini si trovò a proseguire la sua attività scientifica in una situazione profondamente mutata in peggio. I suoi colleghi avevano lasciato l'istituto di Arcetri. Bruno Rossi aveva creato un nuovo gruppo di ricerca in raggi cosmici all'Università di Padova, mentre Enrico Persico insegnava ora a Torino. Il legame sempre più stretto dell'Italia con la Germania hitleriana e le guerre di Spagna e di Etiopia spinsero Beppe Occhialini a organizzare la diffusione clandestina di volantini informativi anti-fascisti, nonostante formalmente avesse giurato fedeltà al regime per proseguire nella carriera universitaria. Le sue ricerche, sempre di buona qualità, vertevano in questi anni su misure di radioattività ma, per la scarsità di fondi e di strutture, non potevano competere in importanza con quelli del suo soggiorno a Cambridge.

Nel 1937, probabilmente organizzato dal padre, preoccupato per la sua attività anti-fascista, giunse l'invito da parte del fisico italiano di origine ucraina Gleb Vassilievich Wataghin (1899-1986) a raggiungerlo all'Università di São Paulo in Brasile. Questo ateneo era stato fondato pochi anni prima su pressione della borghesia paulista che, in rapida ascesa economica, intendeva creare un polo culturale alternativo a Rio de Janeiro in mano alle famiglie tradizionalmente alla guida del paese. Wataghin diede un grande impulso allo sviluppo della fisica in Brasile creando a São Paulo un'importante scuola di fisica cosmica, e faceva

⁷ Carl Anderson, *The Apparent Existence of Easily Deflectable Positives*, in: *Science* n. 76, 1932, pp. 238-239.



Sciami di raggi cosmici rivelato con la camera a nebbia controllata (1933)

Cortesia: Archivio Occhialini-Dilworth



I fisici di São Paulo alla fine degli anni Trenta con i loro assistenti; da sinistra a destra: Roberto Xavier de Oliveira, Maria Caseira, Giuseppe Occhialini, Marcelo Damy de Souza Santos, José Caseiro, Yolande Monteux, Abrahão de Moraes, Mário Schönberg, Gleb Wataghin, Francisco Bentivoglio Guidolin
Cortesia: Archivio Occhialini-Dilworth

parte di un gruppo di professori italiani chiamati in Brasile per insegnarvi materie scientifiche. Nello stesso tempo il regime fascista favoriva l'emigrazione di scienziati italiani in America Latina con l'idea di procedere a una sorta di colonizzazione culturale di quei paesi. Tra i primi studenti e collaboratori di Beppo Occhialini vi furono due fisici brasiliani di primo ordine: Mário Schönberg (o Schenberg) (1914-1990), il fisico teorico più importante del Brasile, in seguito collaboratore di George Gamow (1904-1968) e Subramanyan Chandrasekhar (1910-1995), e il fisico sperimentale Marcelo Damy de Souza Santos, ancora vivente.

La scelta dei raggi cosmici era dettata non solo dalle scarse risorse finanziarie ma anche dalla posizione del Brasile alle basse latitudini geomagnetiche. Il campo magnetico terrestre è approssimabile a un dipolo che non è parallelo all'asse di rotazione. I raggi cosmici primari vengono deviati dalle linee di forza del campo geomagnetico e vengono in parte concentrati verso le zone polari. Nei pressi dell'equatore magnetico si potranno misurare al suolo solo raggi cosmici secondari prodotti da primari di energia elevata, mentre in prossimità dei poli magnetici potremo trovare al suolo secondari prodotti da primari anche di bassa energia. Lo spettro dei raggi cosmici viene così a dipendere dalla latitudine geomagnetica (si parla di «effetto di latitudine»). Misure di latitudine furono compiute da Beppo Occhialini insieme a Mário Schönberg durante un viaggio in nave, di ritorno in Italia nel 1938. Il grande studioso dell'effetto latitudine, il fisico americano Arthur Compton (1892-1962), coinvolse il gruppo di ricercatori di São Paulo in un'intensa campagna di misure in America Latina i cui risultati furono presentati durante il congresso internazionale sui raggi cosmici tenuto a Rio de Janeiro nel 1941.

Con l'ingresso del Brasile in guerra a fianco degli Alleati, Gleb Wataghin dovette rinunciare alla direzione dell'Istituto di Fisica, sostituito da Marcelo Damy de Souza Santos che indirizzò parte dei ricercatori verso studi applicati alla costruzione di sonar per la rilevazione dei sottomarini tedeschi. Per evitare sospetti e possibili sabotaggi al laboratorio, Occhialini andò in volontario esilio sui monti di Itatiaia, posti tra São Paulo e Rio de Janeiro, dove sopravvisse facendo la guida alpina interrompendo ogni forma di comunicazione con l'Europa. Nel frattempo, la diplomazia britannica si interessò delle sue sorti dietro azione di Patrick Blackett, allora all'Ammiragliato, anche per un suo eventuale impiego nella ricerca di guerra alleata. Dopo la firma italiana dell'armistizio, Beppo uscì dall'esilio e si adoperò per tornare in Europa il prima possibile e contribuire alla liberazione dell'Italia. Ospite nel 1944 del laboratorio di biofisica di Carlos Chagas jr

(1910-2000) a Rio de Janeiro, Beppo si riunì brevemente al gruppo di São Paulo dove ebbe per breve tempo come studente Cesare Lattes (1924-2005), prima di tornare in Inghilterra nel gennaio del 1945.

La collaborazione con Powell a Bristol

Fallito ogni tentativo di impiegarlo nella ricerca di guerra, Blackett suggerì ad Arthur Mannering Tyndall (1881-1961) di invitare Beppo Occhialini a far parte del gruppo di ricerca in emulsioni nucleari diretto da Cecil Frank Powell (1903-1969) ai Laboratori Wills di Bristol. Durante il soggiorno a Rio de Janeiro, Beppo Occhialini aveva discusso con un ricercatore franco-canadese, Charles Leblond (1919-2007), dell'utilizzo di emulsioni fotografiche per monitorare i traccianti radioattivi nei tessuti viventi.

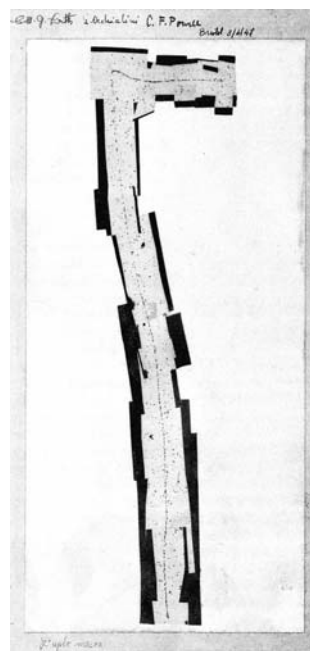
Le emulsioni nucleari sono particolari lastre fotografiche che vegnono utilizzate per lo studio delle particelle elementari. Nuovamente Beppo Occhialini si trovò impegnato in un gruppo di ricerca in cui si sviluppava uno strumento che si dimostrò essere di fondamentale importanza per l'avanzamento della fisica delle particelle elementari. Cecil Powell, in collaborazione con la *Ilford* e la *Kodak*, già da prima della seconda guerra mondiale si era interessato all'uso delle emulsioni nucleari continuando un progetto di ricerca iniziato con l'esposizione di emulsioni alla radiazione cosmica sulle Alpi austriache da parte di Marietta Blau (1894-1970) e Herta Wambacher (1903-1950).

Il passaggio di una particella in un'emulsione porta alla formazione di una traccia visibile come una successione di grani d'argento evidenziati con lo sviluppo dell'emulsione stessa. Anche nel caso delle emulsioni, le caratteristiche delle tracce permettono di risalire ad alcune proprietà delle particelle incidenti. Gli studi sulla composizione ottimale delle emulsioni permisero di ottenere emulsioni con tracce sempre più nitide e con un rallentamento della sbiaditura delle immagini sempre maggiore. L'immissione di impurità nella gelatina dell'emulsione era finalizzato allo studio delle interazioni delle particelle incidenti con i nuclei delle impurità stesse.

Lo studio delle tracce nelle emulsioni nucleari veniva eseguito osservandole al microscopio. Per poter aver risultati in tempi brevi, occorreva disporre di un numero elevato di microscopi e microscopisti, numero che poteva essere aumentato assumendo per tale lavoro microscopiste donne che venivano pagate meno dei loro colleghi. Un'importante causa di difficoltà nello studio delle tracce al microscopio era il fatto che una particella generalmente incideva un pacco di emulsioni in diagonale. La traccia della particella andava pertanto ricostruita cercando strato dopo strato i singoli frammenti di traccia.



Da destra: Giuseppe Occhialini, Patrick Blackett e Cecil Powell, colleghi di Beppo e premi Nobel per la fisica (risp. 1948 e 1950)
Cortesia: Archivio Occhialini-Dilworth



Prima traccia di un pione che decade in un muone (1947)
Cortesia: Alfredo Marques, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas

⁸ Cesare Lattes, Hugh Muirhead, Giuseppe Occhialini, Cecil Powell, *Processes Involving Charged Mesons*, in: *Nature* n. 159, 1947, pp. 694-697.



Connie Dilworth, moglie e collega di Beppo Occhialini
Cortesia: Archivio Occhialini-Dilworth

⁹ Leonardo Gariboldi, *Constance Charlotte Dilworth. Streatham (Londra) 5 febbraio 1924 - Firenze 17 maggio 2004*, in: *Il Nuovo Saggiatore* n. 10, 2004, pp. 16-21

Raggiunto a Bristol da Cesare Lattes e, in seguito, da Ugo Camerini, Beppo Occhialini contribuì allo sviluppo di nuovi tipi di emulsione e delle relative tecniche di sviluppo e di osservazione microscopica. Nel 1946, Occhialini portò un pacco di emulsioni sul *Pic-du-Midi*, una montagna dei Pirenei francesi da lui esplorata durante alcune campagne speleologiche. Lo sviluppo e lo studio di queste emulsioni permise l'identificazione di una coppia di tracce che corrispondevano a una nuova particella, il pione.⁸

Il pione, o mesone π , fu ipotizzato dal fisico teorico giapponese Hideki Yukawa (1907-1981) per spiegare le caratteristiche del campo di interazione nucleare forte. Identificato in un primo tempo erroneamente nel muone (chiamato allora mesone μ), il pione fu scoperto dal gruppo di Bristol e valse il premio Nobel per la fisica nel 1950 a Powell.

Insoddisfatto delle condizioni di lavoro a Bristol, Beppo Occhialini accettò l'invito di un collega fisico e speleologo, il belga Max Cosyns (1906-1998), a collaborare con lui alla creazione del Centro di Fisica Nucleare dell'Università Libera di Bruxelles, in particolare di un nuovo gruppo di emulsioni nucleari. Beppo fu seguito in questa avventura bruxellese da Yves Goldschmidt-Clermont (1922-1988) e da Constance («Connie») Charlotte Dilworth (1924-2004), la sua futura moglie.⁹ Da subito, Beppo organizzò un gruppo molto attivo che divenne ben presto il secondo per importanza, dopo quello di Bristol. Una nuova rivista scientifica, il *Bulletin du Centre de Physique Nucléaire de l'Université Libre de Bruxelles*, fu creato per la migliore e più rapida diffusione dei risultati delle loro scoperte. Un'idea geniale di Beppo e Connie Dilworth fu lo sviluppo di un particolare metodo di sviluppo «in temperatura» delle emulsioni nucleari.

Il ritorno in Italia

Vincitore di un concorso, Beppo Occhialini poté tornare in Italia come successore del padre all'Università di Genova pur continuando a collaborare a metà tempo con il laboratorio di Bruxelles dove si adoperò nella formazione di una generazione di emulsionisti italiani che, a loro volta, ritornavano poi in Italia per costituire nuovi gruppi di ricerca di emulsioni nucleari.

Nel 1951 morì il padre Augusto, e l'anno successivo Giovanni Polvani invitò Beppo Occhialini all'Università di Milano, sede di una delle Sezioni dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) da poco fondato. Il 1952 fu anche l'anno del ritorno di Occhialini a Rio de Janeiro per alcuni mesi, a capo di una missione dell'Unesco a sostegno dello sviluppo delle ricerche fisiche in Brasile. Beppo, insieme a Lattes e Camerini, si adoperò molto per l'organizzazione del laboratorio di raggi cosmici di Chacaltaya, sulle Ande boliviane, uno dei principali centri di ricerca ad alta quota al mondo.

Il gruppo di Bruxelles si spaccò a causa della responsabilità di Cosyns nella morte di un giovane speleologo, Marcel Loubens (1923-1952), durante una

campagna nella grotta *Pierre-Saint-Martin*. Il laboratorio di Milano assunse così la guida delle ricerche dirette da Occhialini e diventò il punto di riferimento dei progetti di collaborazione internazionale che hanno segnato la fisica dei raggi cosmici degli anni Cinquanta.

I laboratori di diverse università europee univano le loro forze in progetti comuni di lancio su pallone di grandi pacchi di emulsioni nucleari. Un buon numero di nuove particelle erano sotto esame, per esempio i mesoni K e gli iperoni. Contemporaneamente erano in costruzione, soprattutto negli Stati Uniti, le grandi macchine acceleratrici. Per poter ottenere risultati prima degli acceleratori, era necessario organizzare il maggior numero possibile di esposizioni di emulsioni ad alta quota da distribuire poi ai vari laboratori per lo studio delle tracce contenutevi.

Il ruolo dell'Italia in queste campagne internazionali era primario essendo il paese europeo alle più basse latitudini geomagnetiche. Occhialini fu così il referente italiano nell'organizzazione dei grandi voli del Mediterraneo che sono culminati con il volo del *G-Stack* del 1954. Si poté giungere a riconoscere l'identità di particelle prima identificate come tipi diversi di mesoni K.

I grandi acceleratori erano entrati in funzione nel frattempo. La maggiore comodità di produzione e di studio delle particelle elementari segnò la fine dell'esposizione delle emulsioni nucleari alla radiazione cosmica a vantaggio dell'esposizione delle stesse ai fasci di particelle artificialmente prodotte. Alcuni degli studenti e collaboratori di Occhialini iniziarono così a collaborare con il CERN (allora denominato *Conséil Européen de la Recherche Nucléaire*) di Ginevra e si interessarono particolarmente allo sviluppo di una nuova tecnica di rivelazione, la camera a bolle.

Il suo primo maestro, Bruno Rossi, invitò Occhialini e Connie Dilworth al *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) a trascorrere un anno sabbatico (1959-1960) per collaborare alle sue ricerche in fisica dello spazio. I raggi cosmici tornavano a essere oggetto diretto di studio. Tornato a Milano, Occhialini organizzò un nuovo gruppo di ricerca, costituito come Istituto di Fisica Cosmica e Tecnologie Relative. La fisica dello spazio italiana si sviluppò intorno alle sedi di Bologna, Frascati, Milano e Torino come Gruppo Italiano di Fisica Cosmica, con due ulteriori sezioni a Firenze e Palermo, e si inserì subito nel più generale contesto europeo.

La fisica dello spazio europea fu istituzionalizzata nell'*European Space Research Organization* (ESRO), in seguito *European Space Research and Technology Centre* (ESTEC), che vide Beppo Occhialini come guida del «gruppo raggi cosmici» (COS) e membro del *Launching Program Advisory Committee* (LPAC). Le prime ricerche di fisica dello spazio furono in collaborazione soprattutto con il gruppo francese di Saclay. Furono organizzati voli in pallone ad alta quota per lo studio degli elettroni cosmici con un



Gli emulsionisti di Milano; da sinistra: Giuseppe Occhialini, Riccardo Levi-Setti, Livio Scarsi, Bice Locatelli e Alberto Bonetti
Cortesia: Archivio Occhialini-Dilworth

nuovo strumento di rivelazione di particelle, la camera a scintille, progettata e costruita dal gruppo di Saclay.

Dopo pochi anni fu già possibile inviare strumentazione su satellite. Per ottimizzare ogni lancio, nei satelliti venivano disposti più strumenti preparati dai vari gruppi di ricerca europei. Le misure su satellite permisero finalmente a Occhialini di studiare direttamente i raggi cosmici al di fuori dell'atmosfera.

Tra le misure più interessanti compiute con i primi satelliti vi sono quelle dei neutroni di albedo. I raggi cosmici primari, interagendo con gli strati più alti dell'atmosfera, possono produrre neutroni che in parte sono diretti verso l'alto, come se fossero riflessi dall'atmosfera (per cui si dicono «di albedo»). Essendo neutri non vengono deflessi dal campo geomagnetico. Una volta decaduti (il neutrone libero, cioè non facente parte di un nucleo, è infatti beta radioattivo e decade con una vita media di circa 103 s secondo lo schema $n \rightarrow p + e + \bar{\nu}_e$), i protoni di decadimento restano intrappolati nel campo geomagnetico e contribuiscono alla formazione della fascia di radiazione di Van Allen.

L'ultimo satellite inviato nello spazio con la collaborazione attiva di Beppo Occhialini fu COS-B, ideato dalla collaborazione *Carovane* (Garching, Leiden, Milano, Nordwijk, Palermo, Saclay) e lanciato nello spazio l'8 agosto 1975. I rivelatori su COS-B misurarono i raggi gamma permettendo di tracciare la prima mappa gamma della nostra Galassia. La mappa di COS-B ha messo in evidenza la struttura a spirale della nostra Galassia con un rigonfiamento in corrispondenza del nucleo galattico.

Con la costituzione dell'*European Space Agency* (ESA) nel 1975, Beppo Occhialini fu sempre meno attivo nelle attività istituzionali e di ricerca fino al suo ultimo intervento a sostegno del satellite SAX. Rinominato *Beppo-SAX* in suo onore, questo satellite ha misurato le emissioni di raggi X emessi durante i *Gamma Ray Bursts*, esplosioni cosmiche che erano state già rivelate dai satelliti militari americani *Vela*, utilizzati per la rivelazione di test nucleari in atmosfera. La «vera» scoperta dei *Gamma Ray Bursts* fu pertanto coperta dal segreto militare durante gli anni della guerra fredda.

Ritiratosi con Connie Dilworth nella sua casa di campagna a Marcialla di Certaldo, Beppo Occhialini è morto a Parigi il 30 dicembre 1993, lasciando all'Italia e al mondo un'eredità scientifica e umana che i suoi numerosi allievi si sforzano di trasmettere a loro volta alle future generazioni di scienziati. ❖

INDICAZIONI BIBLIOGRAFICHE

- Patrick Blackett, *The Old Days of the Cavendish*, in: *Rivista del Nuovo Cimento* numero speciale, 1969, pp. xxxii-xxxix.
 R.G. Chambers, M. Hart, M. *Histories of Physics in Bristol*. <http://www.phy.bris.ac.uk/history.html>
 John Hendry (a cura di) *Cambridge Physics in the Thirties*, Adam Hilger, Bristol 1984.
 John Krige, Arturo Russo, *A History of the European Space Agency*, 2 voll., ESA Publications Division, Dordrecht 2000.
 Mary Jo Nye, *Blackett. Physics, War, and Politics in the Twentieth Century*, Harvard University Press, Cambridge 2004.
 Giuseppe Occhialini, *Occhialini, Giuseppe*, in: *Scienziati e Tecnologi Contemporanei* vol. II, Mondadori, Milano 1974, pp. 322-324.
 Pietro Redondi, Giorgio Sironi, Pasquale Tucci, Guido Vegni (a cura di) *The Scientific Legacy of Beppo Occhialini*, SIF, Bologna 2006.
 Xavier Roqué, *The Manufacture of the Positron*, in: *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* n. 28, 1997, pp. 73-129.
 Bruno Rossi, *I raggi cosmici*, Einaudi, Torino 1971.
 Bruno Rossi, *Momenti nella vita di uno scienziato*, Zanichelli, Bologna 1987.