

Erede della grande tradizione fisica germanica, Bruno Touschek è uno dei padri della fisica  $e^+ e^-$ . In Italia dai primi anni Cinquanta, formò una nuova generazione di teorici e consolidò quella che sarebbe divenuta una caratteristica dei Laboratori di Frascati: la simbiosi tra teoria, sperimentazione e costruzione di macchine acceleratrici



# Un mitteleuropeo a Frascati

Luisa Bonolis

**L**a storia di Bruno Touschek, un personaggio fuori del comune, diventato quasi leggendario nel mondo dei fisici, comincia negli anni Venti del secolo scorso per finire precocemente trent'anni fa, il 25 maggio 1978.

Touschek nacque a Vienna nel 1921, in un momento assai delicato per le future sorti della democrazia in Europa. Nell'autunno dell'anno successivo, la marcia su Roma avrebbe segnato l'avvento del fascismo in Italia. In Germania, dopo la sconfitta della prima guerra mondiale, stavano maturando i presupposti che nell'arco di un decennio avrebbero portato all'instaurarsi del regime nazista. Bruno era ebreo da parte di madre, una circostanza che segnò profondamente il corso della sua vita di ragazzo e di studente, intrecciandola strettamente con le vicende drammatiche della prima metà del Novecento.

In quel periodo accadevano cose assai importanti per la storia della fisica. Negli anni Venti personaggi come il fisico danese Niels Bohr, i tedeschi Max Born, Pasqual Jordan, Werner Heisenberg e Wolfgang Pauli, l'inglese Paul Dirac, l'austriaco Erwin Schrödinger, ponevano le basi teoriche per la descrizione del mondo microscopico. La meccanica quantistica, una teoria che è alla base della moderna concezione scientifica del mondo, Touschek l'apprese dai padri stessi, dai protagonisti di questa rivoluzione. Così come ebbe modo di inserirsi fin dall'inizio nel campo dello sviluppo delle macchine acceleratrici, che gradualmente avrebbero avuto un ruolo crescente proprio nello studio dei componenti elementari della materia.

Nei primi anni Trenta, l'avvento di Hitler e l'escalation verso l'olocausto inaugurata dalle leggi razziali, iniziò in Germania l'esodo di scienziati, e non solo, che cercarono rifugio in altri paesi europei e poi, gradualmente, con l'avanzare della politica di conquista e con lo scoppio della guerra, verso gli Stati Uniti. Alcuni capirono immediatamente. Il caso più eclatante fu quello di Albert Einstein, che fin dal dicembre del 1931 aveva deciso di rinunciare al suo posto a Berlino. Un anno prima i nazionalsocialisti avevano ottenuto un successo spettacolare aumentando i loro seggi al Reichstag da dodici a centosette. Ne ottennero ben duecentotrenta nel luglio del 1932. Il 10 dicembre di quello stesso anno Einstein e sua moglie Elsa partirono verso la California, per non far più ritorno. Il 30 gennaio 1933 Hitler giunse al potere e iniziò il regno del terrore.

Vivendo in Austria, Touschek non ebbe particolari problemi fino al 13 marzo 1938, data dell'*Anschluss*. A questo punto cominciò per lui un periodo assai difficile. Dopo essere stato espulso dalla scuola all'inizio dell'ultimo anno di liceo, riuscì a prendere la maturità liceale come privatista e subito dopo venne in Italia a trovare la nonna materna e la zia Ada, sposata con un uomo d'affari italiano. Iniziò a seguire alcune lezioni alla facoltà di ingegneria, ma il suo desiderio era quello di andare in Inghilterra, a studiare chimica a Manchester. Lo scoppio della guerra nel settembre 1939 fece svanire il suo sogno e così Touschek tornò a Vienna e cominciò a frequentare i corsi di fisica e matematica, cercando di non farsi notare. Nel giugno del 1940 fu espulso dall'Università per ragioni razziali e grazie all'aiuto del fisico Paul Urban, e all'appoggio di Arnold Sommerfeld, ebbe una lettera di presentazione per l'Università di Amburgo, dove nessuno lo conosceva. Per mantenersi agli studi faceva vari lavori contemporaneamente.

All'inizio del 1943 Touschek lesse un articolo sulla rivista *Archiv für Elektrotechnik* che

avrebbe avuto un'influenza determinante nel seguito della sua vita. Il fisico norvegese Rolf Widerøe, un pioniere nell'arte delle macchine acceleratrici, proponeva la costruzione di un betatrone da 15 MeV, una macchina già messa a punto negli Stati Uniti da Donald W. Kerst. Touschek scrisse a Widerøe per segnalare alcuni errori nel calcolo relativistico della stabilità delle orbite e quest'ultimo lo invitò a lavorare con lui allo sviluppo di questa macchina, che cominciò a funzionare nell'autunno del 1944. Purtroppo le visite di Touschek alla sede della Camera di Commercio di Amburgo, dove si potevano trovare tutti i giornali stranieri, attirarono l'attenzione della Gestapo. Fu arrestato e imprigionato all'inizio del 1945. Nel corso di un trasferimento al campo di concentramento di Kiel, Touschek cadde a terra mentre marciava con il suo pesante carico di libri, in preda a una febbre altissima. Una SS gli sparò ferendolo dietro all'orecchio e così lo abbandonarono credendolo morto. Fu soccorso e portato in ospedale, ma nuovamente arrestato e su segnalazione del direttore dell'ospedale fu rinchiuso nel carcere di Altona dove rimase fino alla fine della guerra.

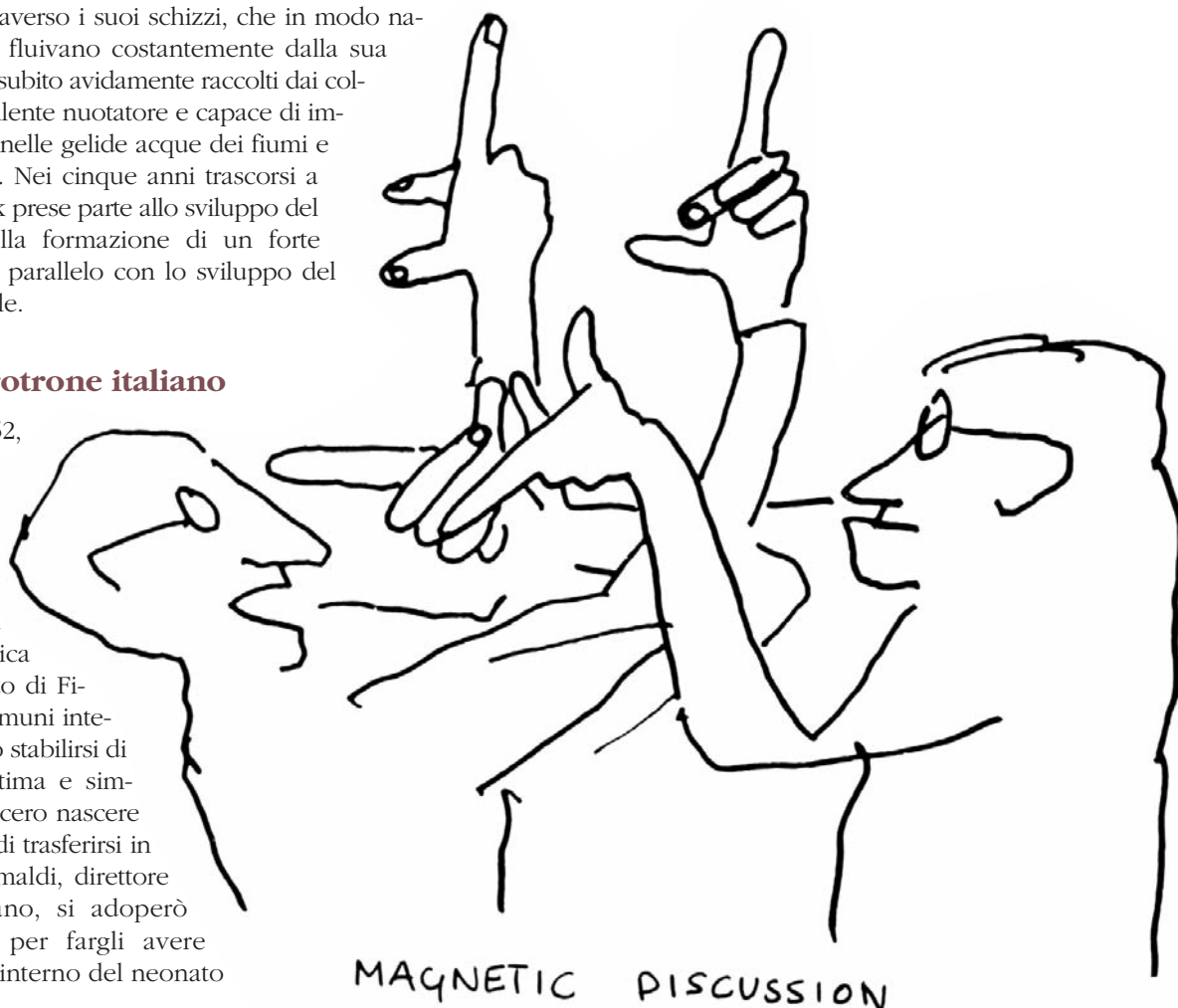
All'inizio del 1946 si trasferì a Göttingen, attirato dalla presenza di fisici eminenti e dall'esistenza di un betatrone. Lì conseguì il titolo di *diplomphysiker* con una tesi sulla teoria del betatrone e iniziò a lavorare sotto la direzione di Werner Heisenberg. Nel febbraio 1947 si trasferì a Glasgow con una borsa di studio e cominciò a interessarsi alla costruzione del sincrotrone da 350 MeV iniziata a quell'epoca sotto la direzione di Philip I. Dee. Colpito dalle evidenti capacità di Touschek, dalla sua vasta conoscenza della fisica e dal suo entusiasmo, Dee gli fece avere un posto di ricercatore. Mentre approfondiva le sue conoscenze riguardo il funzionamento del sincrotrone, Touschek si dedicava alla fisica teorica e nello stesso 1947 conseguì il Ph. D. con una tesi sulla produzione dei mesoni da parte dei nuclei eccitati da elettroni. Conduceva una vita a pieno ritmo in tutte le situazioni e nel tempo libero si dedicava al tennis, agli scacchi e alla sua grande passione per le motociclette. Fin da bambino aveva mostrato notevoli doti di disegnatore. Il suo sguardo impietoso sulla realtà, unito a un forte senso dell'umorismo e a un sarcasmo alla Karl Kraus,

si manifestava attraverso i suoi schizzi, che in modo naturale e continuo fluivano costantemente dalla sua penna, per venire subito avidamente raccolti dai colleghi. Era un eccellente nuotatore e capace di imprese memorabili nelle gelide acque dei fiumi e dei laghi scozzesi. Nei cinque anni trascorsi a Glasgow Touschek prese parte allo sviluppo del dipartimento e alla formazione di un forte gruppo teorico in parallelo con lo sviluppo del lavoro sperimentale.

### L'elettrosincrotrone italiano

Nel settembre 1952, durante uno dei suoi viaggi in Italia, Touschek era andato a cercare Bruno Ferretti, che ricopriva la cattedra di Fisica Teorica nell'Istituto di Fisica di Roma. I comuni interessi scientifici e lo stabilirsi di un rapporto di stima e simpatia reciproca, fecero nascere in lui il desiderio di trasferirsi in Italia. Edoardo Amaldi, direttore dell'Istituto romano, si adoperò immediatamente per fargli avere una posizione all'interno del neonato

Elettroni o positroni? Quando vennero accumulate le prime particelle in AdA, il primo anello di accumulazione per elettroni e positroni, questo interrogativo generò una discussione che ispirò il più famoso dei disegni di Bruno Touschek. A pagina 6, Touschek negli anni Cinquanta (cortesia famiglia Touschek).





La prima mensa dei Laboratori di Frascati, 1956 (INFN). Sotto: Italo Federico Quercia, Giorgio Salvini e Gianfranco Corazza nella seconda metà degli anni Cinquanta (LNF).

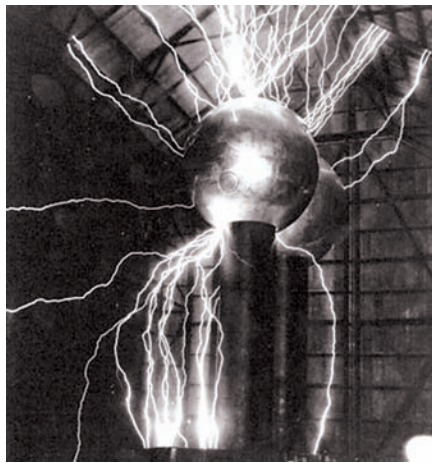


Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN). A quell'epoca, nonostante il suo passato travagliato e avventuroso, Bruno Touschek aveva appena trent'anni. La seconda guerra mondiale era finita da soli sette anni. I giovani assaporavano per la prima volta un clima di libertà denso di iniziative e le vecchie comunità di studiosi stavano riprendendo fiato dopo un lungo periodo di disagi e ristrettezze. La fisica nucleare era ormai esplosa nell'apoteosi della *big science*, ma non ancora in Italia. I "decani" della comunità dei fisici italiani, Edoardo Amaldi e Gilberto Bernardini, eredi di Enrico Fermi e Bruno Rossi, avevano conservato lo spirito pionieristico della scuola di via Panisperna e dei pochi nuclei sopravvissuti nel resto del paese. Durante e subito dopo la guerra, i più anziani si erano sforzati di riprendere il filone che si era interrotto, mettendo a frutto le loro competenze in una nuova e più economica direzione: quella dei raggi cosmici. Ma il sogno di un acceleratore che consentisse l'uso di fasci di particelle più controllabili, coltivato da Enrico Fermi verso la fine degli anni Trenta, riaffiorò ben presto. Così che, nel 1952, Amaldi e Bernardini riuscirono a far finanziare il progetto per una grossa macchina per elettroni del tipo "sincrotrone". L'impresa era formidabile: richiedeva sia il favore dei politici, sia la collaborazione dell'appena risorto apparato industriale italiano: il tutto affidato a una comunità assai giovane di fisici provvisti solo del loro entusiasmo. Le difficoltà politiche erano non piccole, perché diversi esponenti di spicco pensavano che questo tipo di ricerche fosse un lusso di paesi ricchi, come gli Stati Uniti; meno problematico fu invece ottenere l'interesse di alcune industrie in pieno rilancio (come per esempio l'Ansaldo e la Passoni-Villa). Erano davvero altri tempi. Tempi in cui la costruzione di laboratori per i raggi cosmici in alta montagna veniva finanziata da un gruppo di industriali del Nord.

La grande capacità di convincimento di Gilberto Bernardini ed Edoardo Amaldi sortì il miracolo di procurare i mezzi necessari a mettere in piedi anche un laboratorio che sod-

## La corsa alle macchine acceleratrici

La crescente comprensione della fisica delle particelle elementari, particolarmente negli ultimi sessant'anni, è andata di pari passo con l'evoluzione degli acceleratori di alta energia e allo sviluppo di adeguati rivelatori. Nei primi anni del 1900 Ernest Rutherford utilizzava particelle alfa provenienti dal decadimento di sorgenti radioattive naturali per bombardare l'idrogeno. Soltanto nei primi anni Trenta John D. Cockcroft e Ernest Walton inventarono un acceleratore elettrostatico a moltiplicazione di tensione che fu utilizzato per accelerare artificialmente le particelle alfa e studiare il comportamento della materia a livello nucleare. Con questo tipo di acceleratore fu ottenuta la prima trasmutazione di un nucleo, il più antico esempio di una nuova categoria di test per  $E = mc^2$ . Nello stesso periodo l'americano Robert J. Van de Graaff inventò un generatore elettrostatico che utilizzava una cinghia in movimento per



trasportare cariche a un terminale che poteva raggiungere circa 10 milioni di volt. La massima differenza di potenziale ottenibile è determinata dalla condizione che il campo elettrico non superi in alcun punto la rigidità elettrica del mezzo nel quale opera la macchina. Un'alternativa all'uso dei campi elettrici è quella di sfruttare il fatto che le particelle vengono accelerate in un campo magnetico

variabile nel tempo come se fossero una corrente nel circuito secondario di un trasformatore. Esistono due possibilità di questo tipo: l'acceleratore circolare, concepito dall'ingegnere elettrico Rolf Wideröe nel 1923-25 e l'acceleratore lineare, sviluppato ugualmente da Wideröe a partire da un'idea dello svedese Gustav Ising nel 1924.

Energie superiori a circa 10 MeV non sono ottenibili per via elettrostatica. Il ciclotrone, inventato da Ernest Lawrence nel 1930, fu la prima macchina a superare questo limite. Utilizzava un campo magnetico per indurre le particelle a curvare e si basava sul ben noto principio che il periodo dell'orbita di particelle cariche non relativistiche costrette a seguire un'orbita circolare in presenza di un campo magnetico uniforme è indipendente dall'energia. Se un campo elettromagnetico oscillante sincrono con la frequenza di rivoluzione viene applicato in una piccola zona di spazio (*gap* o *intervallo*) all'interno del campo, le particelle guadagnano energia tutte le volte che attraversano l'intervallo e compiono un moto a spirale uscendo fuori dal magnete. Questo accade perché il campo magnetico nel caso dei ciclotroni resta costante. Ciclotroni sempre più grandi furono costruiti negli anni successivi e fin dall'inizio furono impiegati anche per scopi medici, fornendo isotopi radioattivi per gli ospedali e traccianti biologici per indagini cliniche. Un nuovo passo avanti fu fatto durante la guerra, quando Donald William Kerst e Robert Serber costruirono il betatrone, un acceleratore per elettroni, il cui principio era stato già delineato da Wideröe e la cui topologia era simile a quella del ciclotrone, ma il fascio di particelle si manteneva in un'orbita circolare a raggio costante, invece di muoversi lungo una spirale. Il principio del ciclotrone falliva per gli elettroni, il cui moto diventa relativistico già ad energie moderate. Per la metà degli anni Quaranta i betatroni, facevano una notevole concorrenza ai ciclotroni, sorpassandoli in energia e divenendo sempre più grandi. Nonostante ciò, anche i più grandi ciclotroni e betatroni risultavano ancora inadeguati per fare ricerca nel campo della fisica delle particelle. L'energia

disfacesse le esigenze della grande cooperazione nazionale appena nata sotto la sigla dell'INFN. I Laboratori nazionali di Frascati sorsero sulla Macchia dello Sterparo alle porte di Roma, lì dove c'era un campo per lo studio della fillossera: baracche di legno all'inizio, convertite ben presto in edifici attrezzati pronti per ricevere moderni impianti di ricerca. In realtà l'occupazione di questo territorio cominciò dopo un periodo di studio durato circa tre anni, con un nucleo centrale all'Università di Pisa, dove insegnava Giorgio Salvini, il direttore dell'impresa, e qualche attività a Roma, sia presso l'Istituto Superiore di Sanità (Mario Ageno, iniettore del sincrotrone) sia all'Università, dove lavorava il gruppo teorico sotto la guida di Enrico Persico.

È in questi anni che si affermò l'idea di "pensare al futuro", di pianificare lo sviluppo della fisica nel paese. Nella varietà delle attività di questa scienza sperimentale i cosiddetti fisici teorici hanno un ruolo importantissimo di promotori della fantasia creativa. Spesso sono le loro idee a indirizzare le ricerche e le speranze di risolvere annosi problemi scientifici. Grazie alla sua brillante personalità di teorico e alla sua aura affascinante del tutto fuori dagli schemi – un misto di cultura mitteleuropea e di fisica della grande tradizione di area germanica – Touschek mise in breve tempo in movimento l'ambiente accademico italiano, sia attraverso la collaborazione e la discussione con i colleghi, come Giacomo Morpurgo, Luigi Radicati, Marcello Cini, Raul Gatto, sia formando una nuova generazione di teorici. I suoi primi laureandi furono Nicola Cabibbo e Francesco Calogero, che nel seguito rivestirono un ruolo da protagonisti nella comunità internazionale dei fisici. Nel diventare un riferimento per chi volesse fare una tesi in fisica delle particelle, Touschek stava iniziando a contribuire in modo decisivo al consolidarsi di quella che sarebbe divenuta una vera e propria tradizione dei laboratori di Frascati: la simbiosi tra teoria, sperimentazione e costruzione di macchine acceleratrici.



Bruno Touschek e Giuseppe Occhialini durante il convegno internazionale sulle particelle elementari tenuto a Pisa nel 1955 (cortesia famiglia Touschek).

Nel box, a pagina 8, il generatore Van de Graaff; in questa pagina, sotto, da sinistra a destra, Franz Kurie, Donald Cooksey, Edwin McMillan, Ernest Lawrence e Robert Thornton mentre lavorano al ciclotrone dell'Università di Berkeley, 1958 (LBLN Image Library).

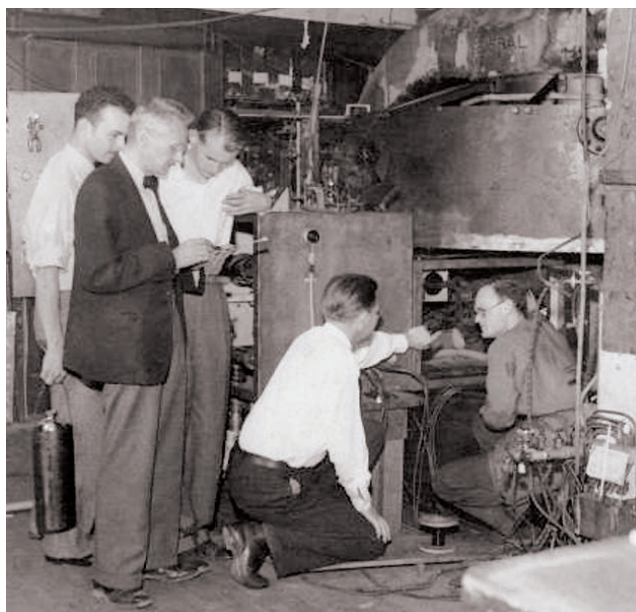
massima di un betatrone è nettamente limitata dalla perdita di energia attraverso la radiazione di sincrotrone, emessa dagli elettroni accelerati nell'orbita circolare. Tuttavia, per la loro semplicità di funzionamento e soprattutto per l'alta intensità ottenibile, i betatroni sono oggi largamente usati come sorgenti dei raggi X in impianti di radioterapia.

Restava il fatto che a quell'epoca i raggi cosmici costituivano ancora la fonte privilegiata di eventi ad alta energia e fino all'inizio degli anni Cinquanta continuarono a giocare un ruolo fondamentale rivelando l'esistenza di una gran quantità di nuove particelle, che oltre a formare un vero e proprio "zoo", misero per anni a dura prova le capacità di interpretazione dei fisici teorici. Un nuovo balzo verso energie ancora maggiori fu reso possibile da nuovi sviluppi concettuali e tecnici. La scoperta del principio del sincrotrone fatta dal fisico australiano Mark Oliphant nel 1943 aveva aperto la strada a una nuova serie di acceleratori circolari. L'uso di un anello magnetico a campo variabile poteva costringere le particelle a muoversi lungo un'orbita a raggio di curvatura costante all'aumentare della loro energia nel corso di accelerazioni successive, impresse da un campo elettrico alternato applicato fra elettrodi cavi coassiali. La scoperta del cosiddetto principio della stabilità di fase, enunciato indipendentemente da Edwin Mattison McMillan (1945) e Vladimir Iosifovic Veksler (1944) consentiva di ottimizzare al massimo la sincronizzazione tra la fase della radiofrequenza acceleratrice e i tempi di transito dei pacchetti di particelle all'aumentare dell'energia delle particelle, rendendo possibile la costruzione di nuovi tipi di macchine, in cui, in linea di principio, le particelle potevano ormai essere accelerate a energie arbitrariamente elevate.

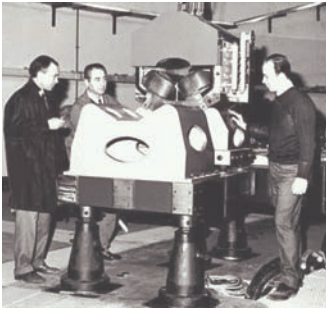
I sincrociclotroni che andarono in funzione tra la fine degli anni Quaranta e i primi anni Cinquanta sia negli USA, che in Europa e in Russia, consentirono un notevole balzo in avanti nelle ricerche fondamentali.

Di lì a poco le macchine avrebbero preso il sopravvento sulle indagini condotte con tecniche diverse attraverso lo studio dei raggi cosmici.

I primi sincrotroni erano macchine per elettroni, ma verso la fine degli anni Quaranta furono messi in cantiere negli Stati Uniti grandi protosincrotroni, come il Bevatrone (5/6 GeV) di Berkeley e il Cosmotrone (2.5/3 GeV)



di Brookhaven. Queste macchine ponevano gli americani alla frontiera della fisica delle alte energie. L'era dei grandi sincrotroni era iniziata, ma un nuovo fondamentale sviluppo era alle porte. Il principio del focheggiamento forte, scoperto indipendentemente da Nicholas Christofilos e dal gruppo di Ernest D. Courant, Milton S. Livingston e Hartland S. Snyder nel 1952, rappresentava un nuovo metodo di focalizzare il fascio di particelle attraverso una sequenza alternata di lenti magnetiche convergenti e divergenti che estendeva enormemente il range delle energie ottenibili senza forte dispendio economico. Il principio fu subito applicato al grande protosincrotrone da 10 GeV in costruzione nel neonato CERN di Ginevra, ottenendo allo stesso costo una macchina da 25 GeV.



In alto, Bruno Touschek nell'officina Magneti a Frascati negli anni Cinquanta (INFN). Sotto Wolfgang Panofsky con Emilio Segrè negli anni Ottanta.



Bruno Touschek era attratto in modo naturale dall'impresa appassionante dell'“elettrosincrotrone italiano” da 1.5 GeV; le macchine acceleratrici avevano rappresentato una parte importante della sua attività, prima e dopo la guerra. Tuttavia, quando la macchina andò in funzione nel 1959, Touschek era già insoddisfatto della fisica che si poteva fare con quel tipo di macchina, peraltro tra le più potenti del mondo, nel suo genere. A quell'epoca stava andando in funzione anche il protosincrotrone da 28 GeV del CERN e i fisici italiani erano tutti in fermento in attesa di utilizzare una macchina così potente. La maggior parte era infatti tentata dalle macchine per protoni, che avrebbero consentito di studiare le proprietà delle interazioni forti. Touschek si preoccupava invece del fatto che la fisica con protoni non desse risultati sufficientemente chiari dal punto di vista delle teorie fondamentali. Non gli piaceva il baccano generato da quella che definiva “teppaglia adronica”.

### La fisica $e^+ e^-$

Nell'autunno di quello stesso 1959, il fisico americano Wolfgang Panofsky tenne un seminario a Roma illustrando i programmi dell'Università di Stanford per la costruzione di nuove macchine acceleratrici. In particolare, parlò del progetto di realizzare collisioni tra due fasci di elettroni nella sezione retta di una macchina costituita da due anelli tangenti. Questa proposta, che aveva come obiettivo principale una verifica delle leggi dell'elettrodinamica quantistica (QED), certamente combinava due obiettivi: intensità e fasci collidenti, utilizzando un normale sincrotrone per accelerare le particelle e accumulandole in due anelli. Tuttavia, il potenziale fisico di questo tipo di macchina era limitato. Infatti, nell'incontro tra due fasci di elettroni entrano in gioco una serie di grandezze conservate, prima tra tutte la carica iniziale, e questo restringe molto il campo delle reazioni che si possono ottenere e quindi del tipo di processi che si possono osservare.

Nel corso degli anni Cinquanta era apparso chiaro che facendo collidere due fasci uno contro l'altro, tutta la loro energia si sarebbe resa disponibile all'atto della collisione, un concetto già espresso da Rolf Widerøe all'inizio degli anni Quaranta. Il vantaggio energetico degli anelli di collisione era del tutto scontato per Bruno Touschek, tanto che aveva sconsigliato a Widerøe di brevettare l'idea ai tempi della loro collaborazione. Tra i partecipanti al seminario di Panofsky, Touschek replicò subito che una fisica molto più interessante sarebbe invece scaturita realizzando collisioni tra elettroni e positroni. Per ragioni di simmetria i due fasci avreb-



Bruno Touschek e Edoardo Amaldi nei primi anni Cinquanta (cortesia famiglia Touschek).

bero potuto girare in un solo anello muovendosi lungo la stessa orbita, ma in direzione opposta. Inoltre, l'annichilazione particella-antiparticella avrebbe fornito condizioni iniziali più anonime possibile, cioè uno stato con carica totale zero, numero leptonic e barionico nulli, consentendo la realizzazione di una varietà di processi assai più significativi per lo studio della fisica delle particelle. Il sistema elettrone-positrone, ad alte energie avrebbe potuto diventare una sorgente di nuove particelle, particolarmente utile per studiare le interazioni forti e l'elettrodinamica quantistica.

Le discussioni seguite al seminario costituirono per Touschek un potente stimolo a immaginare che si potesse concretamente realizzare una macchina per fare quel tipo di fisica, mettendo in pratica nel senso più profondo l'idea di simmetria tra materia e antimateria. In effetti nessuno aveva mai ancora messo insieme un fascio di positroni di una intensità apprezzabile e lo aveva iniettato in un anello. Vale la pena ricordare che l'antimateria era a quei tempi qualcosa al limite dell'esotico, erano passati appena cinque anni dall'annuncio della scoperta dell'antiprotone da parte di Chamberlain, Segrè, Wiegand e Ypsilantis, che ebbero il premio Nobel per la fisica per una "manciata" di antiprotoni, mentre ora sarebbe stato necessario ottenere dei fasci altamente collimati, estremamente sottili, che avrebbero dovuto interagire in un sistema assai complesso. Per di più tali fasci avrebbero dovuto sopravvivere per ore nella camera da vuoto e avere un'alta densità per far sì che la probabilità di collisione fosse non trascurabile nei punti di incontro. Supponendo che si sarebbero incontrati, cosa che erano in molti a mettere in dubbio a quell'epoca. Touschek si infuriava e usando espressioni colorite ribadiva con forza che sarebbe di certo accaduto "grazie al teorema CPT".

L'economia dei collisori rispetto agli acceleratori a bersaglio fisso ha un prezzo: una bassa probabilità di eventi. È necessario iniettare molti impulsi di particelle nell'anello prima di farle interagire, da cui il nome originario per queste macchine: anelli di accumulazione. Questa denominazione stava a certificare che il primo problema da affrontare era quello di accumulare particelle nell'anello.

Ciò introduceva un nuovo cruciale parametro: la vita media dei fasci; era necessario riuscire a tenerli circolanti per lunghi periodi senza apprezzabile perdita di energia, il che introduceva, d'altra parte, esigenze inedite sulla qualità del vuoto e sulla stabilità della tensione nell'impianto di radiofrequenza destinato all'accelerazione delle particelle. Inoltre, la speciale geometria dei collider richiedeva soluzioni innovative nella progettazione dei rivelatori.

Le idee di Touschek su ciò che si sarebbe dovuto esplorare furono accolte immediatamente con favore dai teorici romani. Ne sono riprova una serie di lavori di Laurie Brown e Francesco Calogero, Raul Gatto e Nicola Cabibbo inviati già all'inizio del 1960 alla rivista *Physical Review Letters*. Tuttavia, a quell'epoca nessuno avrebbe osato pensare di far circolare e accumulare elettroni e positroni in uno stesso anello magnetico. Eppure il seme dell'idea stava già germogliando nella testa di Touschek, in attesa dell'opportunità di spuntare fuori come una proposta concreta.

## AdA, un'idea impensabile

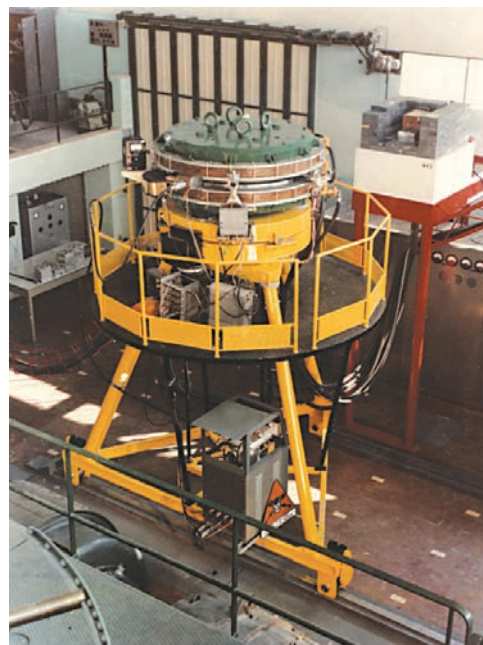
Nel corso di un incontro per la costituzione di un gruppo teorico avvenuto nei laboratori di Frascati il 17 febbraio 1960, Touschek lanciò la sua sfida: riconvertire l'elettrosincrotrone in un anello per elettroni e positroni. Giorgio Salvini, direttore dei laboratori, fu molto interessato all'idea di fondo, ma certamente contrario a una simile prospettiva. Giorgio Ghigo suggerì di costruire una macchina prototipo con cui realizzare il tipo di fisica proposto da Touschek. Il giorno dopo quest'ultimo inaugurò un quaderno sulla cui copertina compariva una grande sigla in rosso: SR. Sono le iniziali di Storage Ring, Anello di Accumulazione. Per diversi giorni Touschek fece calcoli esplorando la fattibilità teorica dell'idea.

Il 7 marzo, a Frascati, ebbe luogo un seminario, rimasto mitico nell'immaginario collettivo di tutti coloro che vi parteciparono, in cui Touschek illustrava le potenzialità dei processi di annichilazione elettrone-positrone. Il pubblico pen-

## Fascio contro fascio

Nella collisione di due particelle ( $W$  è l'energia nel centro di massa,  $E = E_1 + E_2$  è l'energia totale;  $\mathbf{p}_{1,2}$  è l'impulso) l'energia disponibile nel centro di massa (quella che interessa lo sperimentatore per la produzione di nuovi eventi), è data da:  $W^2 = (E_1 + E_2)^2 - (\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2)^2$ . Negli acceleratori convenzionali, dove le particelle accelerate a una certa energia collidono contro un bersaglio fisso ( $E_2 = m_2$  e  $\mathbf{p}_2 = 0$ ),  $W^2 = (E_1 + m_2)^2 - (\mathbf{p}_1)^2 = 2E_1 m_2 + (m_1)^2 + (m_2)^2$ . Nelle collisioni fascio contro fascio ( $\mathbf{p}_1 = -\mathbf{p}_2$ ), quindi  $W = (E_1 + E_2) = E$ .  $[(\mathbf{p}_1)^2 = (E_1)^2 - (m_1)^2]$ , quindi  $W^2 / E^2 = 1 - (\mathbf{p}_1)^2 / (E_1 + m_2)^2 > 1$ . La differenza tra l'energia totale,  $E$ , e l'energia nel centro di massa,  $W$ , viene "sprecata": è l'energia cinetica del centro di massa (proiettile + particella ferma nel bersaglio), che si conserva nelle reazioni. Tutta la fisica dipende invece dall'energia disponibile nel centro di massa, quella del moto relativo. La frazione utile è soltanto  $= (2m_2/E_1)^{1/2}$ , decrescente con  $E_1$ . La percentuale di spreco cresce con l'energia iniziale delle particelle in moto: per esempio, se  $E_1 = 100$  soltanto il 12% risulta utilizzabile, e addirittura per  $E_1 = 1000$ , la frazione utilizzabile scende al 4.5%. Il cosiddetto "vantaggio cinematico" consente dunque un grosso risparmio nell'impianto acceleratore.

L'anello di accumulazione AdA sul suo supporto mobile nei Laboratori Nazionali di Frascati, 1961 (LNF).





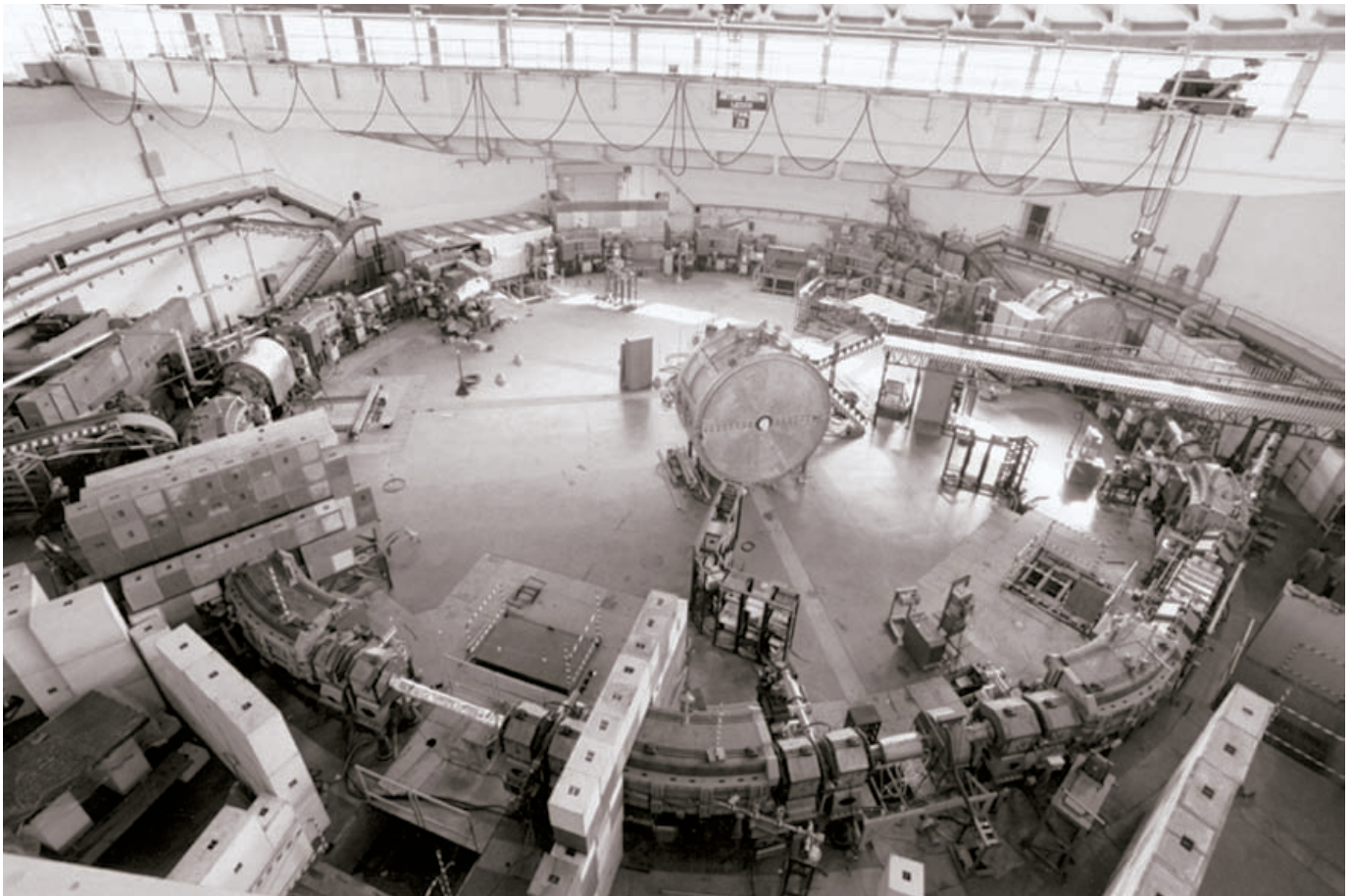
Sopra una caricatura realizzata da Touschek del fisico Tsung Dao Lee che allude alla scoperta della non conservazione della parità nelle interazioni deboli, 1956. In basso, il collisionatore  $e^+e^-$  ADONE durante il collaudo, prima dell'installazione dei rivelatori (LNF).

deva dalle sue labbra, conquistato dall'eleganza dei suoi ragionamenti. La speranza era che l'urto tra materia e antimateria elettronica a energie sufficientemente elevate, in base alla ben nota equivalenza relativistica tra massa ed energia, avrebbe generato energia elettromagnetica sufficiente alla rimaterializzazione di nuove particelle come una nuova coppia elettrone-positrone, ma anche un'altra qualsiasi coppia di particelle con carica elettrica opposta, per esempio coppie di mesoni  $\mu$  o  $\pi$  o  $K$ . È evidente che tale proposta scaturiva in modo del tutto naturale dal retroterra culturale di Touschek, profondamente diverso da quello che animava i "costruttori di macchine" dell'epoca. Poco tempo dopo, nel dattiloscritto *On the Storage Ring*, affermerà: «Preferisco considerarlo un esperimento, piuttosto che una macchina...come esperimento propongo di studiare le reazioni  $e^+e^- \rightarrow 2\gamma, \mu^+\mu^-, \pi^+\pi^-(2\pi^0)$ ».

Il progetto venne varato nel giro di pochi giorni con il nome AdA (Anello di Accumulazione). Al disegno e alla costruzione della macchina si dedicarono Carlo Bernardini, Gianfranco Corazza (figura chiave per le soluzioni di difficili problemi del vuoto), Giorgio Ghigo, nonché i servizi tecnici dei Laboratori Nazionali di Frascati e, naturalmente, lo stesso Touschek, assai soddisfatto perché AdA era il nome di sua zia. L'idea era di costruire una macchina da circa 250 MeV per fascio, in modo da avere la soglia energetica sufficiente per produrre reazioni del tipo proposto.

Nell'autunno del 1960 Gatto propose a Cabibbo di studiare in dettaglio la fisica delle collisioni elettrone-positrone. Un universo fisico completamente nuovo stava per essere esplorato, le cui potenzialità sarebbero state mostrate dai due fisici in un famoso articolo pubblicato nel '61 su *Physical Review*, e soprannominato la "Bibbia" nei circoli di Frascati.

Il 27 febbraio del 1961, a distanza di un solo anno dal seminario in cui Touschek aveva proposto l'idea di AdA, i primi elettroni erano stati accumulati nella macchina. A causa di quello che più tardi sarebbe divenuto noto come "Effetto Touschek", l'anello non riuscì mai a raggiungere la luminosità sperata per osservare reazioni di annichilazione, con produzione di nuove particelle. Tuttavia, la prova definitiva dell'esistenza di condizioni per le quali i due fasci potevano essere fatti incontrare fu fornita dall'osservazione del processo  $e^+ + e^- \rightarrow e^+ + e^- + \gamma$ . Per alcuni anni gli unici lavori teorici sulla fisica  $e^+e^-$  furono quelli prodotti a Roma o a Frascati.



## L'eredità

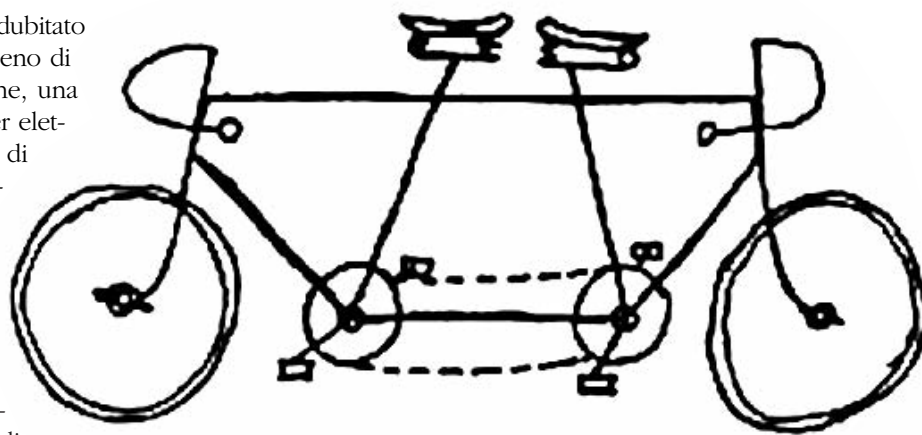
La comunità di Frascati non aveva mai dubitato del peso delle idee di Touschek. In meno di un anno fu varato il progetto di Adone, una macchina da 1.500 MeV. Altri anelli per elettroni e positroni seguirono e gli anelli di collisione a elettroni e positroni divennero uno dei più potenti strumenti della moderna fisica delle alte energie. Una linea culminata alla fine degli anni Ottanta, con la macchina LEP, il grande anello di collisione elettrone-positrone del CERN, realizzato in un tunnel sotterraneo di 27 km di circonferenza, uno strumento scientifico di grande potenza e precisione che ha confermato l'esistenza di tre famiglie di quark e leptoni.

Il trionfo delle macchine  $e^+e^-$  si era andato nel frattempo evolvendo verso una importante estensione del concetto di collisione materia-antimateria, con la costruzione di collisori per protoni. Nel 1971, il CERN aveva realizzato il primo anello di collisione con fasci di protoni (Intersecting Storage Ring, ISR). Ma già nei tardi anni Sessanta Carlo Rubbia aveva discusso queste idee con Touschek e Ghigo e con grande tenacia continuò a cercare sostegno per la realizzazione di un collider protone-antiprotone.

Nel 1981 il Super Proto Sincrotrone del CERN venne infine adattato per realizzare un anello di collisione protone-antiprotone, la macchina con cui furono osservati per la prima volta i mediatori delle interazioni deboli, le particelle W e Z<sup>0</sup>. Una realizzazione che è stata riconosciuta con il premio Nobel a Carlo Rubbia e Simon Van der Meer, nel 1983.

A quell'epoca Bruno Touschek era già scomparso e non poté avere la soddisfazione di assistere alla piena realizzazione della rivoluzione culturale da lui innescata.

Oggi la sfida delle alte energie è ancora aperta. Con il Large Hadron Collider (LHC) che sta andando in fuozione al CERN, una macchina da 7 TeV per fascio, i fisici sperano di raggiungere una serie di nuovi obiettivi, tra cui i principali sono la ricerca del bosone di Higgs e di segnali concreti dell'esistenza di una fisica oltre il Modello standard, come le particelle supersimmetriche. ●



PROBARE ET REPROBARE !

## BIBLIOGRAFIA

**AMALDI E.**, «L'eredità di Bruno Touschek (Vienna 1921 - Innsbruck 1978)», *Quaderni del Giornale di Fisica*, vol. 5, 1982.

**BATTIMELLI G., DE MARIA M., PAOLONI G.**, «Le carte di Bruno Touschek», *Archivi degli scienziati dell'Università di Roma «La Sapienza»*, Vol. I.

**BERNARDINI C.**, «Storia dell'anello AdA», *Il Nuovo Saggiatore*, vol. 6, 1986, pp. 23-33.; «AdA: The First Electron-Positron Collider», *Physics in Perspective*, vol. 6, 2004, pp. 156-183.

**ISIDORI G.** (a cura di), «Bruno Touschek and the birth of  $e^+e^-$  physics», *Frascati Physics Series*, Frascati 1999.

**VALENTE V.** (a cura di), «ADONE a milestone on the particle way», *Frascati Physics Series*, 1997, vol. VIII.

**GRECO M. e PANCHERI G.** (a cura di), «Bruno Touschek Memorial Lectures», *Frascati Physics Series*, maggio 11 1987, vol. XXXIII, 2004.

**BONOLIS L.**, «Bruno Touschek vs Machine Builders. AdA, the first matter-antimatter collider», *La Rivista del Nuovo Cimento*, vol. 11, 2005.

**BERNARDINI C., BONOLIS L. e PANCHERI G.**, *Dossier su Bruno Touschek*, Analysis, 2005, vol. 4.

**AA.VV.**, «50 anni dei Laboratori Nazionali di Frascati», *Analysis*, vol. 3-4, 2008.

**DE MARIA M., GRILLI M., SEBASTIANI F.** (a cura di), *The Restructuring of physical sciences in Europe and the United States, 1945-1960*, World Scientific, Singapore 1989.

## LUISA BONOLIS

svolge ricerche sulla storia della fisica italiana del Novecento.