
“Una mentalità semplificatrice”

Lo stile scientifico di Enrico Fermi *

Neither aesthetic nor other philosophical or quasi-metaphysical principles – except that of simplicity – could preoccupy or delay Fermi.

G. Holton

Vincenzo Barone

*DISIT, Università del Piemonte Orientale, Alessandria, Italy
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sez. di Torino, Torino, Italy*

Il principio di semplicità

Tutte le testimonianze su Enrico Fermi insistono su un punto: la sua dote fondamentale, come scienziato, come docente e come divulgatore, era la semplicità.

Scrive Enrico Persico, che fu suo amico sin dai tempi del liceo [2]:

“Se dovessi condensare in un solo tratto la fisionomia mentale, pur così complessa, di Enrico Fermi, direi che la sua caratteristica principale era una prodigiosa capacità di vedere subito l’essenziale in ogni cosa, e di puntare direttamente su di esso coi mezzi più semplici.”

*Questo articolo è tratto dall’introduzione del volume di Ref. [1]. Ringraziamo la casa editrice Bollati Boringhieri per aver gentilmente concesso l’uso del testo.

La semplicità fu per Fermi, al tempo stesso, metodo e stile, criterio euristico e canone espressivo. I due aspetti sono intimamente legati: l’affinità tra metodo di ricerca e stile comunicativo – entrambi improntati alla stessa “mentalità semplificatrice” (l’espressione è ancora di Persico) – è una delle caratteristiche peculiari e più visibili dell’opera del fisico romano. Il percorso di scoperta e la sua esposizione obbedivano a regole e meccanismi simili, cosicché molto spesso l’uno si rispecchiava fedelmente nell’altra. I due contesti arrivavano addirittura a coincidere: le elaborazioni teoriche di Fermi non di rado prendevano forma in pubblico, nel momento stesso in cui egli illustrava un certo argomento ai suoi studenti e collaboratori, ragionando ad alta voce, a cadenza costante, come ricordano tutti coloro che ebbero la fortuna di partecipare ai suoi seminari, [2, 3, 4].

Così, ad esempio, nacque la sua teoria quantistica della radiazione: dallo sforzo di capire e porre in una forma più familiare e più semplice alcuni precedenti tentativi di quantizzazione dell'elettrodinamica, e dal continuo impegno nell'affinare la presentazione dei risultati man mano ottenuti. L'esito finale di questo lungo itinerario di indagine e di chiarificazione – l'articolo *Quantum Theory of Radiation* del 1932 [5] – rappresentò per molti fisici la via d'accesso alla teoria quantistica dei campi ed è, per usare le parole di Hans Bethe, "un esempio insuperato di semplicità in una materia difficile" [6].

Lo stile scientifico di Fermi è ben riassunto da Giovanni Gentile jr., fisico teorico di formazione pisana (e figlio del filosofo), che frequentò assiduamente l'Istituto di via Panisperna [7]:

"Egli [Fermi] ha il grande pregio di sapere scoprire in un fenomeno fisico quali possano essere le linee principali per una possibile sua spiegazione teorica; e inoltre, per la sua capacità di valutare precisamente i vari fattori che concorrono a dare gli effetti osservati, sa porre il problema nei termini più semplici, per cui sia possibile arrivare quasi spontaneamente alla soluzione."

L'abilità semplificatrice di Fermi consisteva innanzi tutto nel riformulare i problemi fisici in modo tale da enuclearne gli aspetti fondamentali e renderli così più chiari e definiti, eventualmente riducendoli a una serie di problemi parziali di più facile risoluzione. A ciò si aggiungeva una straordinaria capacità di individuare sempre gli approcci più diretti e intuitivi, e di stimare approssimativamente i risultati prima ancora di avere la soluzione in forma definitiva. Questo modo di procedere ha lasciato una traccia in quelli che nel folklore della fisica vengono chiamati "problemi di Fermi". In un problema di Fermi [8].

"... a prima vista, non si ha la minima idea di quale possa essere la soluzione e sembra che manchino informazioni cruciali per scoprirla. Ma quando il problema viene scomposto in sottoproblemi, a ognuno dei quali si può dare risposta senza l'aiuto di esperti o di libri, si riesce a fornire una stima mentalmente o

con un semplice calcolo che si avvicina notevolmente alla soluzione esatta."

Fermi evitava, quanto più possibile, le astrazioni e le generalizzazioni e, pur padroneggiando perfettamente anche la matematica più difficile (come dimostrano alcuni suoi lavori), la considerava un mezzo e non un fine, e adoperava gli strumenti matematici con grande misura e in modo strettamente adeguato alla specifica situazione affrontata (mal tollerando l'uso e lo sfoggio di metodi sproporzionati rispetto ai problemi da risolvere). Laura Fermi ricorda, [9] p. 271, che quando Hans Bethe, futuro premio Nobel, trascorse un periodo di studio presso l'Istituto romano nel 1931, Fermi

"gli insegnò a ridurre i problemi ai loro elementi essenziali, a cercare in un primo tempo soluzioni parziali, a sostituire la matematica rigorosa con il buon senso e il ragionamento."

Questo metodo impressionò notevolmente il giovane Bethe, abituato allo stile scientifico del suo maestro Arnold Sommerfeld, basato su analisi matematiche complete dei problemi, che spesso lasciavano in ombra la sostanza fisica delle questioni. Molti anni dopo, Bethe dichiarerà [6] di avere imparato da Fermi più che da chiunque altro nella sua vita e ricorderà le volte in cui lui e i suoi colleghi si recavano da Fermi per avere un consiglio su qualche problema difficile:

"Gli spiegavamo la situazione e lui, dopo averci ascoltati attentamente per qualche minuto, rielaborava il problema in una forma completamente diversa. Ci dava la soluzione, o più frequentemente rendeva il problema così chiaro da permetterci di risolverlo, avendo nello stesso tempo il piacere di farlo da soli"

E anche quando affrontava problemi di cui aveva semplicemente sentito parlare di sfuggita in un seminario o in qualche conversazione, Fermi era capace di trovare delle soluzioni che risultavano immancabilmente più semplici e più comprensibili di quelle ottenute da chi aveva sollevato e studiato per primo la questione.

Maestro dell'analogia

La fisica di Fermi fu in larga misura orientata all'elaborazione di quelle che Einstein chiamava "teorie costruttive", teorie che descrivono un certo gruppo di fenomeni naturali a partire da elementi ipotetici relativamente semplici. Usando un'etichetta moderna possiamo dire che egli fu un "fenomenologo" [10]: le sue teorie nascevano per risolvere problemi fisici concreti e per interpretare e spiegare dei risultati sperimentali.

Segrè attribuisce questa predilezione per le questioni direttamente accessibili all'esperimento alla formazione da autodidatta di Fermi (tutta la fisica moderna l'aveva imparata da sé non essendoci in università alcun docente in grado di insegnargliela) e al conseguente "desiderio di verificare la bontà delle sue conclusioni col giudizio infallibile dell'esperienza" ([4] p. 22).

Per lo stesso motivo, Fermi non perseguì mai vaste sintesi teoriche preferendo affrontare problemi che richiedevano "l'applicazione recondita di principi noti, immaginazione e sottigliezza". La sua creatività si manifestava quindi nella capacità di costruire efficaci rappresentazioni mentali dei fenomeni e nel tradurle in modelli esplicativi e predittivi, rifuggendo tutte le astrattezze e i formalismi non strettamente necessari.

Uno degli strumenti fondamentali del fenomenologo è il ragionamento analogico, e Fermi fu indiscutibilmente un maestro dell'analogia [11]. Nel 1929 Fermi scriveva [12]

"L'ipotesi più naturale che si è indotti a fare quando ci si trova di fronte a qualche cosa di sconosciuto è che il suo comportamento sia analogo a quello di cose simili meglio note."

E che questo fosse il suo modo di procedere abituale è confermato dalla moglie Laura, che ribadisce come, nell'esplorare l'ignoto, Fermi avesse bisogno di "riportarsi a fatti conosciuti, di stabilire paragoni e analogie" ([9], p. 273).

Una magistrale prova di immaginazione analogica è rappresentata da un lavoro del 1925 sulla teoria dell'urto tra elettroni e atomi [13]. Nell'introduzione Fermi illustra con grande limpidezza l'idea di base:

"Quando un atomo, che si trovi nel suo stato normale, viene illuminato con

della luce di frequenza opportuna, esso può eccitarsi, vale a dire passare ad uno stato quantico di maggior energia, assorbendo un quanto di luce. Se il quanto della luce eccitante è maggiore dell'energia necessaria a ionizzare l'atomo, esso può ionizzarsi perdendo, secondo la frequenza della luce, un elettrone appartenente agli strati superficiali o a quelli profondi dell'atomo. [...] Dei fenomeni di natura assai simile a questi si presentano anche nell'eccitazione per urto. Se si bombardano infatti gli atomi di un gas con elettroni di velocità sufficiente essi possono eccitarsi o ionizzarsi, e possono perdere anche, se la velocità degli elettroni eccitanti è molto grande, degli elettroni appartenenti a strati profondi dell'atomo. Lo scopo del presente lavoro è di precisare ulteriormente le analogie esistenti tra queste due classi di fenomeni, e precisamente di dedurre quantitativamente i fenomeni dell'eccitazione per urto da quelli dell'assorbimento ottico."

Il metodo proposto da Fermi consisteva nel sostituire il campo elettromagnetico prodotto dagli elettroni nelle vicinanze di un atomo con uno spettro equivalente di radiazione, e nel calcolare a partire da questo con metodi ordinari la probabilità di eccitazione o di ionizzazione dell'atomo. L'approccio venne contestato da Bohr, una critica che ferì non poco il giovane Fermi, ma anni dopo fu posto su solide basi quantomeccaniche da Weizsäcker e Williams, e da allora ha trovato numerose applicazioni.

Fermi era affezionato all'idea della radiazione equivalente e la utilizzò in vari modi. Ciò è indicativo di un'altra caratteristica distintiva del suo stile di ricerca: la tendenza a organizzare le informazioni, i metodi e le conoscenze in un insieme di pochi casi paradigmatici, un repertorio di situazioni e meccanismi fisici fondamentali cui fare riferimento di fronte a un nuovo problema.

Era sua abitudine applicare uno stesso modello o una stessa idea in contesti molto diversi, ma simili per qualche aspetto (naturalmente, come precisa Segrè, il legame che in tal modo veniva instaurato tra problemi differenti, per quanto appa-

risse evidente a posteriori, era all'inizio tutt'altro che facile da individuare).

Il catalogo di idee e tecniche predilette da Fermi includeva, tra l'altro, i metodi statistici per i sistemi di molte particelle, la teoria delle perturbazioni (con le famose "regole d'oro", termine diventato poi di uso corrente), l'accoppiamento spin-orbita. Egli adoperò questa personale "cassetta degli attrezzi" prima nell'ambito della fisica atomica e della spettroscopia, poi nell'ambito della fisica nucleare e subnucleare. Secondo lo storico Gerald Holton, questo atteggiamento rifletteva la convinzione di Fermi che "la Natura stessa fosse assemblata nel modo più parsimonioso possibile" [14].

Un caso notevole di applicazione di un modello a un problema diverso da quello per il quale era stato originariamente sviluppato riguardò, nell'ottobre 1934, la scoperta dell'effetto dei neutroni lenti sulla radioattività artificiale. Per interpretare questo fenomeno Fermi riprese uno schema teorico che aveva inventato qualche mese prima per spiegare lo spostamento delle righe spettrali di vapori alcalini in presenza di gas estranei, osservato da Segrè e Amaldi. Ipotizzando che tale spostamento fosse dovuto alla diffusione degli elettroni esterni delle sostanze alcaline da parte degli atomi del gas perturbatore, Fermi aveva costruito una teoria quantistica dell'urto di elettroni di bassa velocità su centri di potenziale e introdotto il concetto di "lunghezza di diffusione" (ancora oggi di fondamentale importanza nella teoria dell'urto) [15].

Quando, nel corso degli esperimenti sulla radioattività indotta da bombardamento di neutroni, il gruppo di via Panisperna scoprì che l'interposizione di sostanze idrogenate che rallentavano i neutroni amplificava l'attivazione del bersaglio, Fermi riprese lo stesso modello per descrivere questa volta l'interazione tra neutroni lenti e nuclei, e per spiegare l'aumento della probabilità di cattura dei neutroni al decrescere della loro velocità. Il grafico della funzione d'onda degli elettroni o dei neutroni, la figura è la stessa nei due casi, diventò una sorta di marchio di fabbrica di Fermi, ricomparendo nel corso degli anni in numerosi articoli.

La strategia comunicativa

Con i suoi scritti, le sue conferenze e le sue lezioni, Fermi coprì tutti i domini della comunicazione scientifica. La sua opera comprende infatti, oltre agli articoli di ricerca, una lunga serie di testi didattici (manuali universitari e scolastici), un cospicuo numero di saggi interspecialistici e di sintesi (destinati prevalentemente a colleghi di altre discipline e a insegnanti) e alcuni lavori divulgativi in senso stretto (cioè indirizzati a un vasto pubblico).

Di solito, in questi quattro generi di testo gli autori adottano modalità di presentazione molto diverse [16]. Per esempio, il discorso analogico, le rappresentazioni iconiche e i ragionamenti qualitativi, che sono molto diffusi nelle opere rivolte al pubblico comune, sono rari o pressoché assenti nei documenti più tecnici. Nel caso di Fermi ciò che sorprende è, al contrario, l'omogeneità formale e stilistica dei suoi scritti. Che si tratti di un articolo di ricerca o di un saggio divulgativo, egli adotta sempre la stessa "strategia comunicativa" [17], alla cui base vi sono alcuni elementi costanti:

- i)* una trattazione autoconsistente, in cui l'argomento è affrontato dal principio e al lettore sono fornite tutte le informazioni necessarie;
- ii)* alcuni punti di partenza dati per scontati (evidenze sperimentali e assunzioni ragionevolmente certe);
- iii)* un'enunciazione precisa dei problemi, che vengono spogliati da tutte le complicazioni e riformulati in termini più chiari ed elementari;
- iv)* un percorso graduale di avvicinamento alla soluzione, guidato dall'intuizione fisica;
- v)* un'assoluta economia di mezzi tecnici e di formalismi matematici;
- vi)* un ampio uso di esempi concreti, di modelli e rappresentazioni visualizzabili;
- vii)* una certa cautela nei confronti delle novità non ancora consolidate.

Fermi attribuiva una grande importanza alla chiarezza di linguaggio e alla trasparenza dei testi. Racconta Bruno Pontecorvo [18] che, avendo sottoposto un articolo per l'Enciclopedia Italiana, di cui Fermi era direttore della sezione di fisica, questi, dopo averne letto l'inizio, gli fece seccamente notare che non ci capiva niente, e gli spiegò come bisognava scriverlo:

“Almeno la prima parte (diciamo il dieci per cento o le prime due frasi, se l’articolo è breve) deve essere comprensibile per qualsiasi persona colta”.

Gli scritti di Fermi rispettano universalmente questa regola, cosicché, anche nel caso degli articoli di ricerca, non occorre essere specialisti della materia per apprezzare e comprendere le prime pagine e il senso essenziale del lavoro.

Uno splendido esempio in proposito è offerto da uno degli articoli più famosi di Fermi, quello sul decadimento beta [19]. Nell’analisi di questo processo sembrava ovvio assumere che l’elettrone emesso pre-esistesse all’interno del nucleo. E tuttavia non vi era alcuna teoria in grado di descrivere il legame tra questi fantomatici elettroni nucleari e le altre particelle presenti nei nuclei.

L’idea di Fermi è che gli elettroni prodotti nel decadimento beta non vengano estratti dai nuclei, bensì creati, assieme ai neutrini (ipotizzati da Wolfgang Pauli), nel momento in cui il processo ha luogo. Egli si lascia guidare dall’analogia con il fenomeno dell’emissione dei quanti di luce dagli atomi: un fotone emesso dall’atomo, infatti, non esiste in precedenza, ma viene prodotto all’atto dell’emissione. Il problema degli elettroni nucleari non si pone più, e il processo che avviene all’interno del nucleo che decade è la conversione di un neutrone in un protone con la concomitante creazione di un elettrone e di un neutrino, per descrivere la quale Fermi ricorre al formalismo della seconda quantizzazione. Il risultato finale è la prima teoria quantistica di campo di un’interazione fondamentale, quella che chiamiamo oggi “interazione debole”. L’introduzione dell’articolo *Tentativo di una teoria dei raggi β* è straordinariamente chiara e giova riportarla per intero:

“Nel tentativo di costruire una teoria degli elettroni nucleari e della emissione dei raggi β , si incontrano, come è noto, due difficoltà principali. La prima dipende dal fatto che i raggi β primari vengono emessi dai nuclei con una distribuzione continua di velocità. Se non si vuole abbandonare il principio di conservazione dell’energia, si deve ammettere perciò che una frazione del-

l’energia che si libera nel processo di disintegrazione β sfugga alle nostre attuali possibilità di osservazione. Secondo la proposta di Pauli si può per esempio ammettere l’esistenza di una nuova particella, il così detto “neutrino”, avente carica elettrica nulla e massa dell’ordine di grandezza di quella dell’elettrone o minore. Si ammette poi che in ogni processo β vengano emessi simultaneamente un elettrone, che si osserva come raggio β , e un neutrino che sfugge all’osservazione portando seco una parte dell’energia. Nella presente teoria ci baseremo sopra l’ipotesi del neutrino. Una seconda difficoltà per la teoria degli elettroni nucleari dipende dal fatto che le attuali teorie relativistiche delle particelle leggere (elettroni o neutrini) non danno una soddisfacente spiegazione della possibilità che tali particelle vengano legate in orbite di dimensioni nucleari. Sembra per conseguenza più appropriato ammettere con Heisenberg che tutti i nuclei consistano soltanto di particelle pesanti, protoni e neutroni. Per comprendere tuttavia la possibilità dell’emissione dei raggi β , noi tenteremo di costruire una teoria dell’emissione delle particelle leggere da un nucleo in analogia alla teoria dell’emissione di un quanto di luce da un atomo eccitato nell’ordinario processo della irradiazione. Nella teoria dell’irradiazione, il numero totale dei quanti di luce non è costante; i quanti vengono creati all’atto della loro emissione da un atomo eccitato, e spariscono invece quando sono assorbiti. In analogia a ciò cercheremo di fondare la teoria dei raggi β sopra le seguenti ipotesi:

a) Il numero totale degli elettroni e dei neutrini non è necessariamente costante. Elettroni (o neutrini) possono essere creati o distrutti [...]

b) Le particelle pesanti, neutrone e protone, possono considerarsi, secondo le vedute di Heisenberg, come due diversi stati quantici interni della particella pesante [...]

c) La funzione Hamiltoniana del sistema complessivo, costituito da particelle pesanti e leggere, deve scegliersi in modo che ogni transizione da neutrone a protone sia accompagnata dalla creazione di un elettrone e di un neutrino; e che il processo opposto, trasformazione di un protone in un neutrone, sia accompagnato dalla sparizione di un elettrone e di un neutrino. Si noti che con ciò resta assicurata la conservazione della carica elettrica.”

Sono qui presenti tutti gli elementi caratteristici dello stile scientifico e comunicativo di Fermi: la precisa formulazione dei problemi e delle ipotesi di partenza, che indica già un percorso risolutivo, l’uso di un’analogia in chiave euristica e di rappresentazione concreta del fenomeno. Nel resto del lavoro, Fermi evita accuratamente tutte le complicazioni, che avrebbero distratto tanti altri teorici al suo posto, e, quando si trova a dover scegliere tra diverse possibili Hamiltoniane, adotta, inutile dirlo, “il criterio della massima semplicità”.

Il lavoro sul decadimento beta fu respinto da *Nature* perché “troppo speculativo”. Robert Oppenheimer lo giudicò “affascinante ma eccentrico” [20], e così dovette apparire a molti contemporanei. Ma l’eleganza dell’idea di fondo e della teoria proposta, e il successo fenomenologico ottenuto sulla base delle assunzioni più semplici, erano, agli occhi di Fermi, argomenti decisivi per convincerlo, come ricorda Segrè, che “quello sarebbe stato il suo capolavoro, ricordato dalla posterità” ([4], p. 75).

L’eredità

Nel 1934, Fermi scrive [21]:

“ Il fatto che nel mondo atomico si incontrino frequentemente oggetti eguali ci incoraggia a pensare che la struttura dei corpuscoli atomici non sia estremamente complessa e che, una volta che si sia riusciti ad analizzare la natura dei corpuscoli atomici, nuclei ed elettroni, non ci si trovi semplicemente ad avere spostato il problema della struttura della materia un gradino più in basso

verso elementi più minuti, ma si sia per così dire raggiunto un pianerottolo che, se pur non rappresenti la base ultima su cui è costruito l’edificio materiale, e che forse non è raggiungibile dall’intelligenza umana, possa per lo meno considerarsi sufficiente per un tempo molto lungo. ”

Nella seconda metà degli anni trenta la conoscenza del mondo fisico sembrava in effetti aver raggiunto un solido “pianerottolo”, per dirla con Fermi. Il catalogo delle particelle elementari appariva definitivamente stabilito, con le tre particelle della materia ordinaria (elettrone, protone, neutrone), le corrispondenti antiparticelle (di cui si conosceva solo il positrone) e i tre mediatori delle forze (il fotone, il mesone di Yukawa e l’ipotetico gravitone). Uno schema elegante nella sua semplicità e simmetria, ma destinato a essere ben presto sconvolto da una serie di risultati sperimentali che cominciarono ad accumularsi già durante la guerra.

Quando, nell’ottobre 1949, Fermi tenne a Roma una conferenza su “Le particelle elementari”, queste si erano ormai moltiplicate oltre ogni previsione [22]. Il loro numero, continuamente crescente, rendeva sempre più probabile che almeno alcune di esse non fossero in realtà elementari. Fermi osservava che [23]:

“A questo punto, si presenta la necessità di fare una sistematica, per cui si riesca a capire per quale ragione alcune di queste particelle si osservano in natura, ed altre no.”

Davanti a questa situazione confusa il genio ordinatore e semplificatore di Fermi si manifestò al massimo livello, con due diversi programmi di ricerca, entrambi pionieristici. Il primo, concretizzatosi in uno dei suoi lavori più congetturali, scritto con Chen Ning Yang [24], si basava sull’idea che qualcuna delle particelle cosiddette “elementari” fosse in realtà composta da altre particelle note. Ciò che, in particolare, Fermi e Yang suggerivano era che il pione fosse uno stato legato di un nucleone (protone o neutrone) e di un antinucleone. Questo permetteva di spiegare alcune sue proprietà intrinseche e la sua esistenza in forma di tripletto di particelle di diversa

carica (pione positivo, pione negativo e pione neutro).

Come ricorda Yang, Fermi non si illudeva che la proposta contenuta nel lavoro fosse realistica, ma la ritenne degna di pubblicazione (“uno studente risolve problemi, un ricercatore pone domande”, disse a Yang [25]). Naturalmente oggi sappiamo che l’idea di Fermi e Yang era sbagliata, perché pioni, protoni e neutroni sono tutti oggetti non elementari; tuttavia, essa si rivelò feconda, perché attraverso le suggestioni che produsse e gli sviluppi che ne derivarono (ad esempio, l’estensione di Sakata alle particelle strane), portò infine alla descrizione corretta, il modello a quark di Murray Gell-Mann (giovane assistente all’Università di Chicago negli anni in cui vi lavorava Fermi).

L’altro programma di ricerca, più pratico, venne presentato da Fermi nella lezione di apertura dell’*International Conference on Nuclear Physics and the Fundamental Particles* del settembre 1951 [26], organizzata in occasione dell’entrata in funzione del grande sincrociclotrone di Chicago. In quella occasione Fermi affermò

“La ricerca in fisica teorica può procedere lungo due strade:

1. raccogliere dati sperimentali, studiarli, fare ipotesi, fare predizioni, e infine verificare;
2. tirare a indovinare; se la natura è benevola e il teorico è intelligente, la cosa può funzionare”.

Il programma che egli suggerì era vicino alla prima opzione e consisteva nello studiare gli urti nucleone-nucleone e pione-nucleone in modo da estrarre dai dati sperimentali le informazioni sull’interazione forte (la forza nucleare), agente a piccolissime distanze. Ecco in dettaglio la sua proposta:

“È auspicabile organizzare i dati sperimentali in modo tale che essi esibiscano nella maniera più chiara le caratteristiche delle interazioni tra particelle fondamentali che hanno luogo a “contatto”, cioè entro una regione di 10^{-13} cm. Ciò può essere fatto supponendo che la meccanica quantistica sia valida al di fuori di questa regione (sono abbastanza sicuro che sia così) e usandola

per rimuovere dall’analisi quei fenomeni che non dipendono da ciò che accade nella zona di contatto. Il risultato è un’espressione compressa dei risultati sperimentali, in cui la natura delle interazioni fondamentali tra le particelle può essere più facilmente evidenziabile.”

L’idea, in altri termini, è di separare nei dati il contributo calcolabile sulla base della meccanica quantistica (o comunque della fisica nota) da quello che racchiude ciò che non si sa della dinamica del processo. È un ulteriore esempio del tipico approccio fenomenologico fermiano (né puramente speculativo né ingenuamente empirico) ai problemi della fisica fondamentale. Nei suoi ultimi anni Fermi perseguì tenacemente e con successo questa strategia, che da allora è entrata stabilmente nel bagaglio metodologico della fisica delle particelle.

Nell’estate del 1954 Fermi tornò ancora in Italia per tenere a Varenna, sul lago di Como, un corso, rimasto memorabile, sulla fisica dei pioni e dei nucleoni. Bernard Feld, suo collaboratore, ricorda così quelle lezioni [27]:

“C’era Fermi al culmine delle sue capacità: Fermi che metteva ordine e semplicità nella confusione, che scopriva relazioni tra fenomeni apparentemente scollegati; acume e saggezza fluivano dalle sue labbra, come al solito imbiancate dal gesso, con quella voce chiara e sonora che non aveva mai perso l’accento dolce delle vocali italiane nella sua fluente dizione americana.”

La morte prematura, sopraggiunta di lì a poco, il 29 novembre 1954, impedì a Fermi di attraversare da protagonista, come certamente avrebbe fatto, il periodo d’oro della fisica delle particelle. Ma la sua eredità scientifica e metodologica è viva, e i fisici si muovono ancora oggi sulle sue orme.



[1] E. Fermi *Atomi Nuclei Particelle*, a cura di V. Barone, Bollati Boringhieri, Torino (2009).

- [2] E. Persico: *Souvenir de Enrico Fermi*, Scientia, 49 (1955) 316. Trad. it. in *Conoscere Fermi*, a cura di C. Bernardini e L. Bonolis, Edizioni Scientifiche SIF, Bologna (2001) 37.
- [3] F. Rasetti: *Enrico Fermi e la fisica italiana*, Celebrazioni Lincee 12, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma (1968).
- [4] E. Segrè: *Enrico Fermi, fisico*, Zanichelli, Bologna (1971).
- [5] E. Fermi: *Quantum Theory of Radiation*, Reviews of Modern Physics, 4 (1932) 87.
- [6] H. Bethe: *Memorial Symposium held in Honor of Enrico Fermi at the Washington Meeting of the American Physical Society (April 29, 1955)*, Reviews of Modern Physics, 27 (1955) 253.
- [7] G. Gentile jr.: Recensione di E. Fermi, *Molecole e cristalli* (Zanichelli, Bologna 1934), in *Scritti minori di scienza, filosofia e letteratura*, Firenze (1943), 194.
- [8] H. C. von Baeyer: *The Fermi Solution*, Dover, Mineola, NY (2001).
- [9] L. Fermi: *Atomi in famiglia*, Mondadori, Milano (1954).
- [10] C. Bernardini: *La fisica di un eccezionale fenomenologo: Enrico Fermi*, in *Enrico Fermi. Significato di una scoperta*, AIN-ENEA, Roma (2001), 92.
- [11] G. Holton: *On the Art of Scientific Imagination*, Daedalus, 125 (1996) 183.
- [12] E. Fermi: *I fondamenti sperimentali della nuova meccanica atomica*, Periodico di Matematiche, 10 (1930) 71. Rist. in [1], 42.
- [13] E. Fermi: *Sulla teoria dell'urto tra atomi e corpuscoli elettrici*, Nuovo Cimento, 2 (1925) 143.
- [14] G. Holton: *The Birth and Early Days of the Fermi Group in Rome*, in Proceedings of the International Conference "Enrico Fermi and the Universe of Physics" (Roma 2001), ENEA, Roma (2003), 60.
- [15] E. Fermi: *Sopra lo spostamento per pressione delle righe elevate delle serie spettrali*, Nuovo Cimento, 11 (1934) 157.
- [16] M. Cloître e T. Shinn: *Expository Practice*, in T. Shinn e R. Whitley (a cura di), *Expository Science: Forms and Functions of Popularisation*, Reidel, Dordrecht (1985), 31.
- [17] S. D'Agostino e A. Rossi: *Introduzione*, in *Enrico Fermi e l'Enciclopedia Italiana*, Istituto della Enciclopedia Italiana, Roma (2001), XX.
- [18] B. Pontecorvo: *Enrico Fermi*, Studio Tesi, Pordenone (1993).
- [19] E. Fermi: *Tentativo di una teoria dei raggi β* , Nuovo Cimento, 11 (1934) 1.
- [20] Lettera a George Uhlenbeck (marzo 1934), in *Robert Oppenheimer. Letters and Recollections*, a cura di A. Kimball Smith e C. Weiner, Stanford University Press, (1995), 176.
- [21] E. Fermi: *Le ultime particelle costitutive della materia*, Scientia, 55 (1934) 21. Rist. in [1], 110.
- [22] L. M. Brown, M. Dresden e L. Hoddeson (a cura di): *Pions to Quarks*, Cambridge University Press, Cambridge, UK (1989).
C.N. Yang: *La scoperta delle particelle elementari*, Boringhieri, Torino (1969).
- [23] E. Fermi: *Le particelle elementari (prima parte)*, in *Conferenze di fisica atomica*, Fondazione Donegani e Accademia Nazionale dei Lincei, Roma (1950), 5. Rist. in [1] 135.
- [24] E. Fermi, C. N. Yang: *Are Mesons Elementary Particles?*, Physical Review, 76 (1949) 1739.
- [25] C. N. Yang, in E. Fermi, *Note e memorie*, vol. II, Accademia Nazionale dei Lincei e University of Chicago Press, Roma (1965), 674.
- [26] E. Fermi, *Fundamental Particles*, in Proceedings of the International Conference on Nuclear Physics and the Physics of Fundamental Particles, Chicago 1951.
- [27] B. Feld, in E. Fermi, *Note e memorie*, vol. II, Accademia Nazionale dei Lincei e University of Chicago Press, Roma (1965), 1004.



Vincenzo Barone: insegna fisica teorica all'Università del Piemonte Orientale ed è associato all'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare. Alla ricerca nel campo della fisica adronica ha affiancato, nel corso degli anni, un'intensa attività divulgativa, partecipando ai principali festival scientifici, curando mostre e scrivendo una decina di libri. Di Fermi ha curato l'antologia *Atomi Nuclei Particelle* (Bollati Boringhieri, 2009).

