

[as] radici

Emmy Noether, simmetrie e leggi di conservazione.

di Silvio Bergia,

Fisico e storico della fisica

In fisica ci sono quantità, cioè grandezze fisiche, che si conservano, come l'energia, la quantità di moto e il momento angolare. Le leggi di conservazione per queste quantità sono nate come teoremi nel seno della meccanica classica, e sono state codificate come principi nelle sue estensioni. In questo quadro, il teorema di Noether segna una rivoluzione: i principi di conservazione della fisica derivano da proprietà di simmetria, o di invarianza, dei sistemi analizzati, o meglio delle leggi che li descrivono. La nostra storia inizia nel 1915 a Göttingen, in Germania, dove il famoso matematico David Hilbert, al corrente della formulazione della relatività generale da parte di Albert Einstein, era arrivato a ricavare la versione finale delle equazioni fondamentali della teoria derivandole, pressoché in contemporanea con Einstein, da un *principio d'azione*. Non tutti i problemi erano con questo chiariti, in particolare rimaneva irrisolta la questione della conservazione locale dell'energia. Ed è qui che entra in scena l'autore, anzi l'autrice, del teorema che oggi porta il suo nome. Figlia del matematico Max, Emmy Noether nacque nel 1882 nella città bavarese di Erlangen, dove compì gli studi di matematica, completandoli nel 1907 sotto la guida di Paul Gordan. Lavorò all'Istituto di Matematica di quella stessa università senza ricevere un soldo per i sette anni successivi (un destino duro, non tanto diverso da quello che affrontano oggi

anche in Italia i giovani indipendentemente dal sesso, ma allora riservato alle donne). Ma aveva acquisito una notevole reputazione, tant'è che, proprio in quel fatidico 1915, Hilbert chiese il suo aiuto per chiarire il problema cui si è appena accennato. La risposta di Noether fu presentata da Felix Klein in un incontro della Società delle Scienze di Göttingen nel 1918, per il buon motivo che – combinazione – Noether non era membro della Società. Neppure il titolo di *Privatdozent* ("docente privato"), ottenuto nel 1919, fu sufficiente, dato il sesso, a garantirle finalmente un posto di professore. Vi sarebbe alla fine riuscita grazie al forte appoggio di Hilbert. Espulsa dalla Germania, perché ebrea, dal governo nazista nel 1932, trovò asilo negli Stati Uniti, dove ottenne soltanto un posto di insegnante in un collegio femminile, il Bryn Mawr College in Pennsylvania. Morì a 53 anni nel 1935 e Albert Einstein, nella lettera inviata in tale circostanza al New York Times, scrisse tra l'altro: "Secondo il giudizio dei più competenti matematici viventi, Fräulein Noether è stata il genio creativo più importante da quando le donne hanno avuto accesso all'istruzione superiore". A ispirare queste sue parole pare sia stato il matematico tedesco Hermann Weyl, che scriveva a proposito di Noether: "Nei miei anni passati a Göttingen, dal 1930 al 1933, lei è stata senza dubbio il fulcro dell'attività matematica, sia dal punto di vista della fecondità del suo



a.



b.

a.
Il ritratto di una giovane Emmy Noether.

b.
Un'immagine storica dell'Università di Erlangen, dove Emmy Noether compì i suoi studi di matematica.

programma di ricerca scientifica, sia riguardo la sua influenza su una vasta cerchia di allievi". Ma torniamo al teorema. Proprietà di simmetria o di invarianza sono espressioni equivalenti, nel senso che ciò che descrive formalmente il sistema considerato possiede una proprietà di simmetria se risulta invariante sotto una classe di trasformazioni. E ora cominciamo a entrare nel merito: quali sono le classi di trasformazioni che garantiscono la conservazione dell'energia, dell'impulso e del momento angolare? Sono, rispettivamente, le traslazioni nel tempo, le traslazioni spaziali e le rotazioni. L'invarianza per traslazioni temporali o spaziali è necessaria, se si vuole che un esperimento dia gli stessi risultati se eseguito a distanza di tempo o in località distinte, mentre l'invarianza per rotazioni è necessaria, se si vuole che il risultato di una misurazione sia il medesimo, prima e dopo aver ruotato l'apparato sperimentale. Queste leggi sono appunto l'espressione dell'omogeneità del tempo, nonché dell'omogeneità e dell'isotropia dello spazio. Le prime idee circa la conservazione di energia meccanica e quantità di moto nascono da considerazioni sulle collisioni da parte di Cartesio, Leibniz e altri. Si dovrà aspettare Newton per avere un enunciato della legge di conservazione della quantità di moto in termini moderni. Metodi analitici per individuare grandezze conservate furono sviluppati con l'avvento della *meccanica lagrangiana* verso la fine del '700 e i primi del

'800, e della *meccanica hamiltoniana* nel corso dell'800. E così già alla fine di quel secolo era nota la circostanza che abbiamo già ricordato: dalle invarianze delle equazioni per traslazioni temporali, rotazioni e traslazioni spaziali derivano le leggi di conservazione, rispettivamente, dell'energia, del momento angolare e dell'impulso. Ciò però non era ancora stato generalizzato e formalizzato matematicamente. Questo ulteriore passo fu compiuto da Emmy Noether che, nel 1918, grazie al teorema che oggi porta il suo nome, descrisse la relazione che intercorre tra le proprietà di invarianza di un sistema fisico e le leggi di conservazione in casi ben più generali, non solo nei tre casi "classici" finora citati. Noether dimostrò infatti che se un sistema fisico è invariante sotto alcuni gruppi di trasformazioni continue, allora da ciascuna proprietà di simmetria segue la conservazione di una quantità fisica del sistema. Il teorema di Noether rappresenta un passo fondamentale nella comprensione della natura, associando alla nozione essenzialmente matematica di "simmetria" quella marcatamente fisica di "legge di conservazione". Questa connessione ha portato negli anni a risultati di fondamentale importanza, e trova applicazioni profonde in numerosi campi della fisica, dalla elettrodinamica (dove spiega, ad esempio, la conservazione della carica elettrica) alla relatività, dalla meccanica quantistica alla fisica delle particelle elementari.